

Министерство образования и науки Российской Федерации
Калужский филиал
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский университет)»
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

В.В. Гришакова, С.Н. Никулина

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Учебно - методическое пособие

- 1 Правила устройства электроустановок: СПб: ДЕАН, 2003, - 304 с.
- 2 Долин П.А. Справочник по технике безопасности. М.: Энергоиздат, 1984.
- 3 ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
- 4 ГОСТ 12.1.038 – 82. ССБТ. Предельно-допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 3.11. ЭЛЕКТРООПАСНОСТЬ НА ПРОИЗВОДСТВЕ
Стр153
Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб.пособие для вузов/П.П. Кукин, В .Л. Лапин, Н .Л. Пономарев и др

Калуга, 2018

УДК
ББК
Г85

Рецензент:

Главный инженер ООО «ФУКС ОЙЛ» «Завод по производству смазочных и сопутствующих материалов концерна ФУКС (FUCHS) Ермаков Р.С.

Утверждено методической комиссией КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
(протокол № от)

Гришакова В.В., Никулина С.Н.

Электробезопасность: учебно - методическое пособие / В.В. Гришакова, С.Н.Никулина. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

Учебно - методическое пособие предназначено для проведения практических занятий по изучению электробезопасности.

Учебно - методическое пособие содержит теоретическую часть о действии электрического тока на человека и практические расчеты заземления, зануления, защитного отключения и предназначено для практических занятий и самостоятельной работы студентов всех направлений КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности».

Учебно - методическое пособие может быть использовано студентами всех специальностей при рассмотрении вопросов безопасности жизнедеятельности для более глубокого усвоения соответствующего раздела дисциплины.

© Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018
© Гришакова В.В.
© Никулина С.Н

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Краткая теоретическая часть.....	4
2. Действие электрического тока на человека	4
3. Классификация электроустановок и помещений по опасности поражения электрическим током.....	9
4. Классификация электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током.....	10
5. Анализ опасности поражения электрическим током в зависимости от схем включения человека в сеть.....	11
6. Мероприятия по защите от поражения электрическим током.....	15
7. Защитное заземление.....	17
8. Зануление.....	21
9. Защитное отключение.....	23
10. Примеры решения задач.....	25
11. Расчет заземления.....	26-27
12. Примеры расчета.....	30
13. Контрольные вопросы.....	31
14. Литература.....	32

ВВЕДЕНИЕ

1. КРАТКАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для обеспечения электробезопасности применяют отдельно или в сочетании следующие технические способы и средства защиты: недоступность токоведущих частей, находящихся под напряжением; электрическое разделение сети; малые напряжения; двойную изоляцию; выравнивание потенциалов; защитное заземление; зануление; защитное отключение и др.

К техническим способам и средствам также относятся предупредительная сигнализация, знаки безопасности, средства индивидуальной и коллективной защиты, предохранительные приспособления и др.

2. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЧЕЛОВЕКА

Действие электрического тока на человека носит многообразный характер. Проходя через тело человека, электрический ток вызывает **термическое, электролитическое, а также биологическое действия.**

При **термическом** действии тока возможны ожоги отдельных участков тела, нагрев до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока выражается в распаде молекул крови и лимфы на ионы. Изменяется физико-химический состав этих жидкостей, что приводит к нарушению жизненного процесса.

Биологическое действие тока проявляется как раздражение и возбуждение живых тканей организма, что сопровождается произвольными судорожными сокращениями мышц, в том числе легких и сердца. В результате могут возникнуть различные нарушения и даже полное прекращение деятельности органов кровообращения и дыхания.

Это многообразие действий электрического тока может привести к двум видам поражения: электрическим травмам и электрическим ударам.

Электротравмы: местные (электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения), вызывающие локальное повреждение организма; общие, когда поражается весь организм из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Электрический ожог — самая распространенная электротравма. В зависимости от условий возникновения возможны два основных вида ожога: токовый (или контактный), возникающий при прохождении тока непосредственно через тело человека в результате контакта с токоведущими частями; дуговой, обусловленный воздействием на тело электрической дуги.

Контактный ожог чаще всего возникает при эксплуатации электроустановок с напряжением не более 2000 В. Максимальное количество теплоты выделяется в месте контакта провода с кожей, вызывая ее ожог. С увеличением силы тока начинают поражаться подкожные ткани. Токи высокой частоты больше повреждают внутренние органы при незначительных повреждениях кожного покрова.

Дуговой ожог наблюдают при использовании электроустановок различных напряжений. В этом случае дуга нередко поражает человека (особенно в установках более высоких напряжений), в результате чего через него проходит ток в несколько десятков или даже сотен ампер. В этом случае возможен летальный исход.

Электрические знаки представляют собой резко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности тела человека, подвергшегося действию тока.

Металлизация кожи возникает в случае проникновения в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги.

Электроофтальмией называют воспаление наружных оболочек глаза из-за воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей, которые испускаются при наличии электрической дуги. Электроофтальмия развивается через 4...8 ч после облучения и продолжается в течение нескольких дней.

Механические повреждения — следствие резких непроизвольных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело. При этом возможны разрывы сухожилий, кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани; иногда возникают вывихи суставов и даже переломы костей.

Электрический удар, который относят к общим электротравмам, можно условно разделить на четыре степени:

I — судорожное сокращение мышц;

II — судорожное сокращение мышц с потерей сознания;

III — потеря сознания с нарушением функций дыхания и сердечной деятельности (или того и другого вместе);

IV — клиническая смерть.

Длительность клинической смерти определяют временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели клеток головного мозга. Этот отрезок времени составляет 4...6 мин, но иногда может быть и 7...8 мин. Если вовремя не оказать пострадавшему соответствующую помощь, то наступает биологическая смерть — необратимое явление, характеризующееся прекращением биологических процессов в клетках и тканях и распадом белковых структур.

Исход поражения электрическим током определяют следующими факторами: электрическим сопротивлением тела человека, силой протекающего через тело тока, временем воздействия тока, путем протекания тока, частотой и родом тока, индивидуальными особенностями организма человека.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково. Наибольшее сопротивление электрическому току оказывает кожа, поэтому сопротивление тела человека определяется главным образом сопротивлением кожи.

Кожа состоит из двух основных слоев: наружного — эпидермиса и внутреннего — дермы. Наружный слой — эпидермис в свою очередь, имеет несколько слоев, из которых самый толстый верхний слой называется роговым. Роговой слой в сухом и незагрязненном состоянии можно рассматривать как диэлектрик: его удельное объемное сопротивление достигает $10^5 - 10^6$ Ом·м, что в тысячи раз превышает сопротивление других слоев кожи, сопротивление дермы незначительно: оно во много раз меньше рогового слоя. Например, при токе частотой 50 Гц удельное объемное сопротивление, Ом, составляет: для сухой кожи — 3000...20000; кости (без надкостницы) — 10000...2000000; жировой ткани — 30...60; мышечной ткани — 1,5...3; крови — 1...2; спинномозговой жидкости — 0,5...0,6.

Сопротивление кожи, в свою очередь, снижается (иногда значительно) при повреждении ее рогового слоя; увлажнении, в том

числе вследствие потовыделения; загрязнении различными веществами, в особенности токопроводящими; увеличении площади поверхности и плотности контакта, силы проходящего тока и продолжительности его действия; приложенного напряжения. Так, при напряжении 10...38 В начинается пробой верхнего рогового слоя кожи, а при напряжении 127...220 В и выше кожа почти не влияет на сопротивление тела.

Основной поражающий фактор электрического тока — сила тока, проходящего через тело человека. Переменный ток частотой 50 Гц и силой 0,5...1,5 мА вызывает при прохождении через организм ощутимые раздражения в виде слабого "зуда" и легких покалываний.

Указанные значения тока — это граница, или порог, с которого начинается область ощутимых токов, поэтому ток, являющийся наименее ощутимым, называют **пороговым ощутимым током**.

Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник, называют **неотпускающим током**, а его наименьшее значение — **пороговым неотпускающим током**.

Значения пороговых неотпускающих токов у разных людей неодинаковы. Они различны также для мужчин, женщин, детей и в среднем при частоте тока 50 Гц равны соответственно 16, 11 и 8 мА. При их превышении действие тока распространяется на мышцы туловища, затрудняя дыхание и работу сердца, что приводит к потере сознания через некоторое время.

Прохождение тока через организм может вызвать фибрилляцию сердца — хаотические разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых прекращается кровообращение. Наименьшее значение такого тока (100 мА при частоте 50 Гц) называют **пороговым фибрилляционным током**. Опасность возникновения фибрилляции возрастает при прохождении тока через сердце во время Т-фазы кардиоцикла, когда заканчивается сокращение желудочков и они переходят в расслабленное состояние.

С увеличением длительности протекания тока сопротивление организма заметно снижается, что связано с происходящим под действием тока усилением кровоснабжения участков кожи под электродами, потоотделением и т. п.

Опасность поражения электрическим током сильно увеличивается при прохождении его через жизненно важные органы: сердце, легкие, головной мозг. Однако рефлекторное воздействие тока на них происходит и при иных путях его прохождения, хотя опасность поражения при этом резко снижается. К наиболее опасным таким путям относят петли "голова—руки" и "голова—ноги", к наименее — петля "нога—нога".

С увеличением частоты переменного тока от 0 до 50 Гц опасность поражения возрастает, тогда как с дальнейшим ростом частоты тока опасность поражения снижается и полностью исчезает при частоте 450...500 кГц, хотя такие токи вызывают ожоги при возникновении электрической дуги и прохождении непосредственно через человека. Постоянный ток безопаснее переменного с частотой 50 Гц примерно на одну ступень шкалы номинальных напряжений, т. е. постоянный ток напряжением 380 В действует на человека приблизительно так же, как переменный напряжением 220 В, а действие постоянного тока напряжением 220 В приблизительно равно действию переменного тока напряжением 127 В и т. д. Такое соотношение сохраняется до напряжения 500 В, при более высоких напряжениях постоянный ток становится опаснее переменного с частотой 50 Гц.

Большое значение для исхода поражения имеет психическое состояние человека. Электрические удары легче переносятся здоровыми и физически крепкими людьми. Опасность поражения увеличивается при наличии заболеваний сердца, органов дыхания и нервной системы, а также в состоянии алкогольного или наркотического опьянения.

Установлено, что опасное действие электрического тока тем меньше, чем больше живая масса животного. Однако сопротивление их организма гораздо меньше, чем сопротивление организма человека, поэтому при одном и том же напряжении через организм животного проходит гораздо больший ток, чем через организм человека. Например, сопротивление организма крупного рогатого скота между передними и задними ногами составляет в среднем 400...600 Ом, а при падении животного снижается до 50...100 Ом в зависимости от влажности шерсти. Поэтому действие тока напряжением 25...30 Вв течение 5 с поражает животных.

Наименее опасен для животных путь тока от одной задней конечности к другой. Установлено, что собаки остаются живыми при прохождении по этой петле тока напряжением 900 Вв течение 12с.

3.КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ПОМЕЩЕНИЙ ПО ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В и свыше 1000 В.

Безопасность обслуживания электрооборудования зависит от факторов окружающей его среды. С учетом этих факторов, а также их наличия или отсутствия все помещения по опасности поражения электрическим током делят на три класса:

- **первый**– помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют признаки помещений двух других классов;

- **второй** – помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся хотя бы одним из перечисленных признаков: относительной влажностью воздуха, длительно превышающей 75 %; наличием токопроводящей пыли и токопроводящих полов (земляных, металлических, сырых деревянных и т. п.); высокой температурой воздуха, длительно превышающей 30 °С, или периодически (более одних суток) 35 °С, или более 40 °С кратковременно; возможностью одновременного прикосновения человека к металлическим корпусам электрооборудования с одной стороны и к соединенным с землей металлоконструкциям с другой;

- **третий**– помещения особо опасные, характеризующиеся следующими признаками: относительной влажностью воздуха, близкой к 100 % (визуально определяют наличием конденсата на внутренней поверхности строительных конструкций зданий и помещений); химически агрессивной средой; наличием одновременно двух или более признаков помещений с повышенной опасностью.

К первому классу относят сухие отапливаемые помещения, в которых электроприборы установлены достаточно далеко от металлических частей систем отопления, канализации и водопровода (рабочие кабинеты, комнаты отдыха, цыплатники, инкубатории и т. п.);

ко второму — животноводческие помещения с регулируемым микроклиматом, склады с земляными полами и т.п.;

к третьему — кормоцехи, теплицы, склады пестицидов и удобрений, моченные, животноводческие помещения без устройств регулирования микроклимата.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПО СПОСОБУ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Электротехнические изделия по способу защиты человека от поражения электрическим током делят на пять классов: 0, 0I, I, II, III.

К классу 0 относят изделия с номинальным напряжением более 42 В с рабочей изоляцией и не имеющих приспособлений для заземления (зануления). Такие изделия используют в качестве встроенных в другие, корпус которых заземлен. Бытовые приборы изготавливают по классу 0, так как они предназначены для работы в помещениях без повышенной опасности.

Класс 0I включает в себя изделия с рабочей изоляцией, элементом заземления (винт, болт). У провода для присоединения к источнику питания нет заземляющей жилы. В качестве элемента заземления нельзя использовать винты, болты или шпильки, предназначенные для крепления изделия или его составных частей.

Класс I включает в себя изделия с рабочей изоляцией, элементом для заземления и проводом питания с заземляющей (зануляющей) жилой и штепсельной вилкой с заземляющим контактом.

К классу II относят изделия, имеющие у всех доступных прикосновению частей двойную или усиленную изоляцию относительно частей, нормально находящихся под напряжением, и не имеющие элементов для заземления. Усиленной называют такую однослойную изоляцию, которая обеспечивает ту же степень защиты, что и двойная. Такую изоляцию применяют в тех случаях, когда использование двойной изоляции по каким-либо причинам затруднено.

Класс III представляет собой изделия без внутренних и внешних электрических цепей с напряжением выше 42 В. При питании от внешнего источника изделия относят к классу III только в случаях, если их присоединяют непосредственно к источнику питания с напряжением не выше 42 В, у которого на холостом ходу оно не превышает 50 В, или если при питании через трансформатор или

преобразователь частоты его входная и выходная обмотки не имеют между собой гальванической связи, а имеют двойную или усиленную изоляцию.

5. АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В СЕТЬ

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара — следствие прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует разность потенциалов. Опасность такого прикосновения во многом зависит от особенностей электрической сети и схемы включения в нее человека. Определив силу тока, проходящего через человека с учетом этих факторов, можно выбрать соответствующие защитные меры для снижения опасности поражения.

Двухфазное включение человека в цепь тока (рис. 1, а). Оно происходит довольно редко, но более опасно по сравнению с однофазным, так как к телу прикладывается наибольшее в данной сети напряжение — линейное, а сила тока, I , проходящего через человека, не зависит от схемы сети, режима ее нейтрали и других факторов, т. е.

$$I = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}}} = \sqrt{3} \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{л}}$ и $U_{\text{ф}}$ — линейное и фазное напряжение, В; $R_{\text{ч}}$ — сопротивление тела человека, Ом (согласно Правилам устройства электроустановок в расчетах $R_{\text{ч}}$ принимают равным 1000 Ом ток через человека будет равен $I = 1,73 \cdot 220 / 1000 = 380 / 1000 = 0,38$ А).

Этот ток для человека смертельно опасен, так как почти в 4 раза превышает пороговый фибрилляционный ток, который в 5% случаев приводит к летальному исходу.

При двухфазном прикосновении ток, проходящий через человека, практически не зависит от режима нейтрали сети. Опасность прикосновения не уменьшается и в том случае, если человек будет надежно изолирован от земли.

Случаи двухфазного прикосновения могут произойти при работе с электрооборудованием без снятия напряжения, например, при замене сгоревшего предохранителя на вводе в здание, применении

диэлектрических перчаток с разрывами резины, присоединении кабеля к незащищенным зажимам сварочного трансформатора и т. п.

Однофазное включение. На ток, проходящий через человека, влияют различные факторы, что снижает опасность поражения по сравнению с двухфазным прикосновением.

В однофазной двухпроводной сети, изолированной от земли, силу тока, I , проходящего через человека, при равенстве сопротивлений изоляции проводов относительно земли $r_1 = r_2 = r$, определяют по формуле:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U}{(2R_{\text{ч}} + r)}, \quad (2)$$

где U — напряжение сети, В; r — сопротивление изоляции, Ом.

В трехпроводной сети с изолированной нейтралью при $r_1 = r_2 = r_3 = r$ ток пойдет от места контакта через тело человека, обувь, пол и несовершенную изоляцию к другим фазам (рис. 1, б). Тогда

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{(R_0 + \frac{r}{3})}, \quad (3)$$

где R_0 — общее сопротивление, Ом; $R_0 = R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}}$; $R_{\text{об}}$ — сопротивление обуви, см: для резиновой обуви $R_{\text{об}} \geq 50\,000$ Ом; $R_{\text{п}}$ — сопротивление пола, Ом: для сухого деревянного пола, $R_{\text{п}} = 60\,000$ Ом; r — сопротивление изоляции проводов, Ом (согласно ПУЭ должно быть не менее 0,5 МОм на фазу участка сети напряжением до 1000 В).

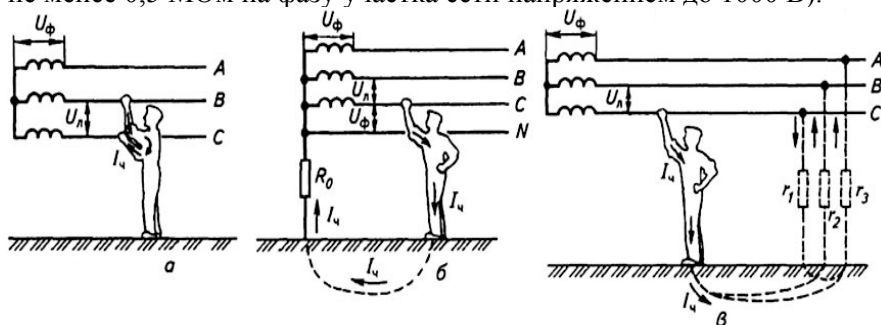


Рис. 1. Схемы возможного включения человека в сеть трехфазного тока:

a — двухфазное прикосновение; *б* — однофазное прикосновение в сети с заземленной нейтралью; *в* — однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью

В трехфазных четырехпроводных сетях ток пойдет через человека, его обувь, пол, заземление нейтрали источника и нулевой провод (рис. 1, в). Сила тока, $I_ч$, проходящего через человека,

$$I_ч = U_ф \cdot (R_0 + R_H), \quad (4)$$

где R_H — сопротивление заземления нейтрали, Ом. Пренебрегая сопротивлением R_H , получим:

$$I_ч \approx \frac{U_ф}{R_0}, \quad (5)$$

На предприятиях сельского хозяйства в основном применяют четырехпроводные электрические сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В. Их преимущество состоит в том, что посредством их можно получить два рабочих напряжения: линейное $U_л = 380$ В и фазное $U_ф = 220$ В. К таким сетям не предъявляют высоких требований к качеству изоляции проводов и их применяют при большой разветвленности сети. Несколько реже используют трехпроводную сеть с изолированной нейтралью при напряжении до 1000 В — более безопасную, если сопротивление изоляции проводов поддерживается на высоком уровне.

Напряжение прикосновения. Оно возникает в результате касания находящихся под напряжением электроустановок или металлических частей оборудования.

Если электрический ток течет через стержневой заземлитель, погруженный в землю так, что его верхний конец расположен на уровне земли, то напряжение прикосновения, V ,

, (6)

где $I_з$ — сила тока замыкания на землю, А; ρ — удельное сопротивление основания (грунта, пола и т. д.), на котором находится человек, Ом*м; l и d — длина и диаметр заземлителя, м; x — расстояние от человека до центра заземлителя, м; a — коэффициент напряжения прикосновения.

Тогда

$$\alpha = \frac{R_ч}{(R_ч + R_0 + R_H)} = \frac{R_ч}{R_0}, \quad (7)$$

Пренебрегая сопротивлением обуви (когда она мокрая или при ее отсутствии), можно записать для следующих случаев: ступни ног удалены одна относительно другой на расстоянии шага

$$\alpha = \frac{1}{\left(1 + \frac{1,5\rho}{R_{\text{ч}}}\right)}, \quad (8)$$

ступни ног находятся рядом

$$\alpha = \frac{1}{\left(1 + \frac{2\rho}{R_{\text{ч}}}\right)}, \quad (9)$$

Шаговое напряжение. Это напряжение $U_{\text{ш}}$ на теле человека при положении ног в точках поля растекания тока с заземлителя или от упавшего на землю провода, где находятся ступни, когда человек идет в направлении заземлителя (провода) или от него (рис. 2).

Если одна нога находится на расстоянии x от центра заземлителя, то другая — на расстоянии $x + a$, где a — длина шага. Обычно в расчетах принимают $a = 0,8$ м.

Максимальное напряжение в этом случае возникает в точке замыкания тока на землю, а по мере удаления от нее оно снижается по закону гиперболы. Считают, что на расстоянии 20 м от места замыкания потенциал земли равен нулю.

Шаговое напряжение, В:

$$U_{\text{ш}} = \frac{I_3 \rho a}{2\pi x(x + a)}, \quad (10)$$

Даже при небольшом шаговом напряжении (50...80 В) может возникнуть непроизвольное судорожное сокращение мышц ног и, как следствие этого — падение человека на землю. При этом он одновременно касается земли руками и ногами, расстояние между которыми больше, чем длина шага, поэтому действующее напряжение увеличивается. Кроме того, в таком положении человека образуется новый путь прохождения тока, затрагивающий жизненно важные органы. При этом создается реальная угроза смертельного поражения.

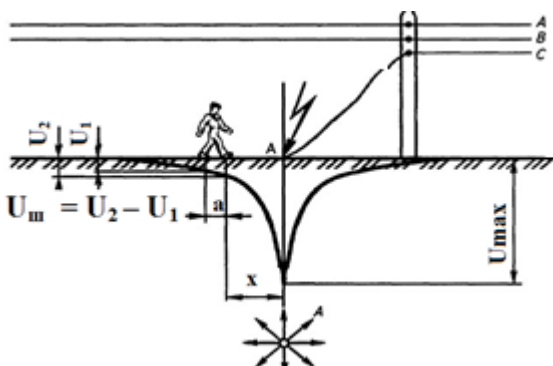


Рис. 2. Схема возникновения шагового напряжения

При уменьшении длины шага шаговое напряжение снижается. Поэтому, для того чтобы выбраться из зоны действия шагового напряжения, следует передвигаться прыжками на одной ноге или на двух сомкнутых ногах или как можно более короткими шагами (в последнем случае допустимым считают напряжение не более 40 В).

6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Все существующие мероприятия, обеспечивающие безопасность использования электроэнергии, можно условно разделить на три группы.

Организационные мероприятия.

Они включают в себя:

- правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида);
- обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктажей по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);
- назначение ответственных за электрохозяйство лиц;
- контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;

- проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта;
- контроль за надежностью СИЗ от поражения электрическим током.

Технические мероприятия. К ним относят:

- применение устройств (предохранителей, отключающих реле и т. п.) защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий;
- защиту людей и животных от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством применения глухого ограждения высоковольтного оборудования и размещения его в отдельных зданиях, изоляции токоведущих частей электрооборудования, установки защитных ограждений, расположения электроприборов на недоступной для людей и животных (более 2 м) высоте;
- защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления; зануление электроустановок в сетях с глухозаземленной нейтралью; применение защитного отключения; использование электрооборудования с малым (менее 42 В) напряжением; выравнивание потенциалов электрооборудования и земли в местах нахождения людей и животных; изоляция электроустановок и электродвигателей от корпусов рабочих машин; применение диэлектрических настилов и изолирующих площадок.

Применение индивидуальных электрозащитных средств. Их подразделяют на основные и дополнительные изолирующие защитные средства, а также на вспомогательные приспособления.

Основные изолирующие защитные средства имеют изоляцию, способную длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки, обеспечивая безопасность человека при контакте с токоведущими частями. К таким средствам относят:

- в электроустановках с напряжением до 1000 В — диэлектрические перчатки, изолирующие штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, а также указатели напряжения;

– в электроустановках с напряжением свыше 1000 В — изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения.

Дополнительные защитные средства могут самостоятельно защитить человека от поражения электрическим током, но при совместном использовании они усиливают изолирующее действие основных защитных средств. К дополнительным средствам защиты при работе в электроустановках до 1000 В относят диэлектрические галоши, коврики, подставки и площадки; в электроустановках свыше 1000 В — диэлектрические перчатки, боты и коврики, а также диэлектрические основания.

Необходимо отметить, что при отсутствии какого-либо дополнительного средства защиты (например, диэлектрического коврика) нельзя применять ни одно из основных.

Вспомогательные приспособления предназначены для защиты людей от сопутствующих опасных и вредных производственных факторов при работе с электрооборудованием и, кроме того, от падения с высоты. К ним относят экранирующие комплекты и устройства для защиты от воздействия электрического поля, противогазы, защитные каски, страховочные канаты, монтерские когти, предохранительные монтерские пояса и т. п.

7. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Защитным заземлением называют преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением.

Заземляют все электроустановки, работающие при номинальном напряжении переменного тока более 50 В, постоянного и выпрямленного тока более 120 В (кроме светильников, подвешенных в помещениях без повышенной опасности поражения электрическим током на высоте не менее 2 м при условии изоляции крючка для подвески светильника пластмассовой трубкой).

Область применения защитного заземления:

– сети напряжением до 1000 В – трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью, однофазные двухпроводные,

изолированные от земли, а также двухпроводные постоянного тока с изолированной средней точкой обмоток источника тока;

– сети переменного и постоянного тока с любым режимом нейтральной или средней точки обмоток источников тока напряжением свыше 1000 В.

Заземляющее устройство (рис. 3) состоит из заземлителя и проводника, соединяющего металлические части электроустановок с заземлителем. В качестве искусственных заземлителей применяют заглубляемые в землю стальные трубы, уголки, штыри или полосы; естественных — уложенные в земле водопроводные или канализационные трубы, кабели с металлической оболочкой (кроме алюминиевой), обсадные трубы артезианских колодцев и т. п.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага в случае появления электрического потенциала вследствие замыкания тока на металлические корпуса электрооборудования, разряда молнии или других причин.

Так как сопротивление тела человека $R_{\text{ч}}$ значительно больше сопротивления заземляющего устройства $R_{\text{з}}$, то сила тока $I_{\text{ч}}$, протекающего через человека, оказывается намного меньшей, чем сила тока $I_{\text{з}}$, стекающего на землю через заземлитель. Однако в этом случае полностью опасность поражения током не исключают, что относят к первому недостатку защитного заземления. Вторым недостатком — значительное увеличение опасности поражения током при обрыве в цепи заземляющего устройства или ослаблении крепления заземляющего проводника. Третий недостаток проявляется в трехфазных сетях с изолированной нейтралью при хорошем состоянии изоляции двух фаз электроустановки и пробое изоляции третьей. В этом случае напряжение первых двух фаз относительно земли возрастает с фазного до линейного, что может вызвать повреждение изоляции в другой электроустановке со своим защитным заземлением. Возникает большой ток замыкания на землю, близкий по значению к току короткого замыкания двух фаз. Напряжение на корпусах обеих электроустановок зависит от линейного напряжения и приводит к появлению опасности поражения током даже при нормативных значениях сопротивления заземляющих устройств.

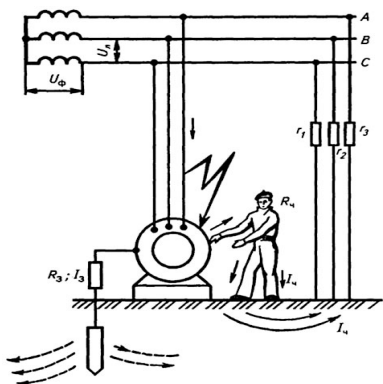


Рис. 3. Принципиальная схема защитного заземления

Каждую электроустановку следует присоединять к заземляющей магистрали отдельным проводником. Последовательное соединение заземляемых частей не допускается. Соединения должны быть надежными, обычно их выполняют сваркой или с помощью болтов. Не разрешается прокладывать в земле неизолированные алюминиевые проводники из-за их быстрой коррозии. С целью защиты от нее заземляющие проводники в сырых помещениях устраивают на расстоянии не ближе 10 мм от стен.

Наибольшие допустимые значения сопротивления заземляющего устройства R_z для электроустановок с напряжением до 1000 В составляют:

- 10 Ом при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих данную сеть, не более 100 кВ·А;
- 4 Ом во всех остальных случаях.

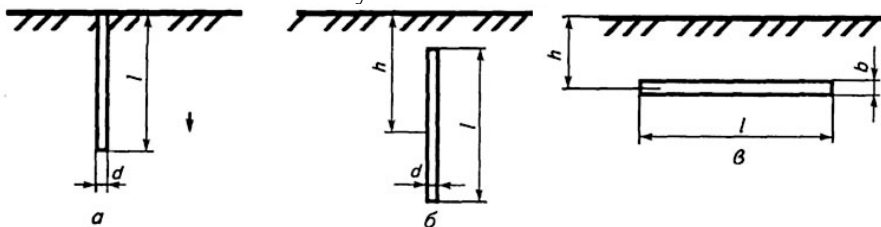


Рис.4. Схемы заземлителей:

a — стержневого вертикального круглого сечения у поверхности земли; *б* — стержневого круглого сечения, вертикально заглубленного в землю; *в* — горизонтальной полосы, заглубленной в землю

Сопротивление заземляющего устройства можно определять двумя методами: расчетным (теоретическим) и практическим.

Сопротивление, Ом, стержневого вертикального заземлителя с диаметром округлого сечения у поверхности земли (рис. 4, а):

$$R_3 = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{bh}, \quad (11)$$

где ρ — удельное сопротивление грунта; Ом·м; l и b — длина и ширина заземлителя, м; h — расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м.

Значения ρ могут быть от 1 (морская вода) до 10^6 (граниты). При колебаниях влажности грунтов сильно изменяется их удельное сопротивление, например, при снижении влажности красной глины с 20 до 10 % оно возрастает в 13 раз. Значительно увеличивается ρ в случае промерзания грунта. Вот почему стержневые заземлители рекомендуют забивать на глубину, большую глубины промерзания, и по возможности ниже уровня грунтовых вод.

Сопротивление, Ом, стержневого вертикально заглубленного заземлителя круглого сечения (рис. 4, б):

$$R_3 = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (12)$$

Сопротивление заземлителя, Ом, выполненного в виде горизонтальной полосы (рис. 8.4, в), заглубленной в землю,

$$R_3 = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{bh}, \quad (13)$$

Число стержней n_3 в контуре заземления:

$$n_3 = \frac{R_3 k_c}{R_{н.з.} \eta_3}, \quad (14)$$

где k_c — коэффициент сезонности (для средней полосы России $k_c=1,8$), $R_{н.з.}$ — нормативное сопротивление заземлителя, Ом; η_3 — коэффициент экранирования, зависящий от формы и длины заземлителей, их числа в контуре, расстояния между ними; при снижении числа заземлителей от 20 до 2 коэффициент η_3 изменяется от 0,09 до 0,94.

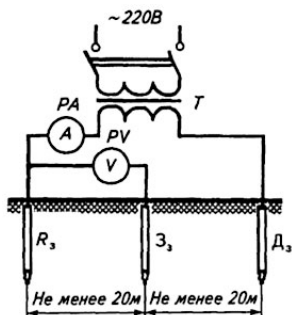


Рис. 5. Схема измерения сопротивления заземления с помощью вольтметра и амперметра

Сопротивление заземления проверяют специальными приборами-измерителями М-416, МС-08 и др. Если его контролируют не в период максимального промерзания грунта, то показания прибора следует умножить на коэффициент сезонности.

При отсутствии специальных приборов можно использовать вольтметр и амперметр. В этом случае в качестве источника тока служит трансформатор (обычный сварочный) мощностью около 5 кВт со вторичным напряжением 36...120 В, который может обеспечить достаточно большую силу тока ($I = 15...20$ А), так как при малых значениях I не достигают необходимой точности замеров.

Для измерения забивают дополнительный заземлитель $Д_3$ и зонд $З_3$ (рис. 5). Сопротивление заземлителя определяют по закону Ома:

$$R_3 = \frac{U}{I}, \quad (15)$$

С помощью омметров М-372 обычно измеряют сопротивление цепи "оборудование — заземлитель". Сопротивление контура вместе с сопротивлением проводника и есть полное сопротивление заземляющего устройства.

Сопротивление заземляющих устройств измеряют не реже 1 раза в год. Внешний осмотр проводят не реже 1 раза в 6 мес, а в помещениях с повышенной опасностью поражения электрическим током и особо опасных — не реже 1 раза в 3 мес.

8. ЗАНУЛЕНИЕ

Зануление — это преднамеренное соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей

электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением. Зануление применяют в трехфазных четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом (сети напряжением 380/220 В, 220/127 В и 660/380 В). Эквивалентом нейтральной точки источника тока могут служить: средняя точка источника постоянного тока, заземленный вывод источника однофазного тока и т. п.

Принцип действия защитного зануления заключается в превращении замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (между фазным и нулевым защитным проводниками) с целью создания большого тока, способного обеспечить срабатывание защиты и отключение поврежденной электроустановки от питающей ее сети (рис. 6). Такой защитой могут служить предохранители, магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, максимальные расцепители автоматических выключателей, срабатывающие при коротком замыкании в цепи тока, и т. п. Так как оказавшиеся под напряжением нетоковедущие металлические части оборудования заземлены через нулевой защитный проводник, то до момента отключения поврежденной электроустановки от сети их напряжение относительно

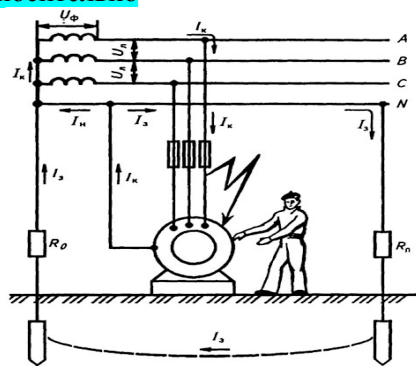


Рис. 6. Принципиальная схема зануления:

R_0 — сопротивление заземления нейтрали источника тока; R_n — сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника; I_k — ток короткого замыкания; I_n — часть тока короткого замыкания, протекающая через нулевой проводник; I_z — часть тока короткого замыкания, протекающая через землю; U_ϕ и U_x — фазное и линейное напряжения электросети земли снижается. Сечение и

материал нулевого защитного проводника выбирают из условия, чтобы его проводимость была не менее 50 % полной проводимости фазного провода.

Для обеспечения автоматического отключения аварийного оборудования сопротивление цепи короткого замыкания должно быть достаточно малым. Сопротивление петли "фаза — нуль" следует проверять ежегодно, и оно не должно превышать 2 Ом.

Также необходимо правильно подобрать плавкие вставки предохранителей. Например, при их подборе по номинальному току электроустановки во время пуска электродвигателей предохранители сработают, так как значение пускового тока электродвигателей в 5...7 раз превышает их номинальный ток.

Сила пускового тока электродвигателя, А:

$$I_{\text{п}} = \frac{100k_{\text{п}}P_{\text{э}}}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cos \varphi \eta_{\text{э}}}, \quad (16)$$

где $k_{\text{п}}$ — коэффициент кратности пускового тока: для трехфазных асинхронных электродвигателей $k_{\text{п}} = 5...7$; $P_{\text{э}}$ — мощность электродвигателя, кВт; $U_{\text{л}}$ — фазное напряжение электросети, В; $\cos \varphi$ и $\eta_{\text{э}}$ — коэффициенты мощности и полезного действия электродвигателя (в расчетах $\cos \varphi = 0,8$; значения $\eta_{\text{э}}$ определяют по паспорту электродвигателя).

Сила расчетного тока предохранителей, А:

$$I_{\text{р.п.}} = 0,4I_{\text{п}}, \quad (17)$$

При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключится, если ток однофазного короткого замыкания $I_{\text{к}}$, удовлетворяет условию:

$$I_{\text{к}} \geq k_{\text{т}}I_{\text{н}}, \quad (18)$$

где $k_{\text{т}}$ — коэффициент кратности тока: при защите автоматическим выключателем, срабатывающим без выдержки времени, $k_{\text{т}} = 1,25...1,4$; при защите предохранителями $K_{\text{т}} \geq 3$ (во взрывоопасных помещениях $k_{\text{т}} \geq 4$); при защите автоматическим выключателем с обратной зависимостью от тока характеристикой $km \geq 3$ (во взрывоопасных помещениях $k_{\text{т}} \geq 6$); $I_{\text{н}}$ — номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автоматического выключателя.

К недостаткам зануления относят лишение при обрыве нулевого провода защиты электропотребителей, находящихся за точкой обрыва. При пробое изоляции за этой точкой на всех электроустановках будет

фазное напряжение. Поэтому нулевой провод надо прокладывать так же тщательно, как и фазные, у него должна быть одинаковая изоляция. На животноводческих фермах и птицефабриках, а также на линиях со стальными проводами нулевой провод должен быть равного с фазными сечения. Не допускается установка на нулевом проводе предохранителей или однополюсных выключателей. На случай обрыва нулевой провод заземляют на воздушных линиях через каждые 200 м, на концах магистралей, а также перед вводом в здание. От электроприемников, расположенных вне здания и подлежащих занулению, до ближайшего повторного заземления или до заземления нейтрали не должно быть более 100м.

9. ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

Защитным отключением называют быстродействующую защиту, обеспечивающую автоматическое отключение электроустановки напряжением до 1000В при возникновении в ней опасности поражения электрическим током. Такая опасность может возникнуть при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции ниже определенного значения и в случае прикосновения человека к находящейся под напряжением токоведущей части. В таких ситуациях мерой защиты может быть лишь быстрое отключение соответствующего участка электросети в целях разрыва цепи тока через человека.

Время срабатывания современных устройств защитного отключения (УЗО) не превышает 0,03...0,04 с. При уменьшении времени протекания тока через человека снижается опасность поражения. Так, в бытовых электроустановках переменного тока частотой 50 Гц напряжением до 1000В практически безопасным можно считать действие напряжения прикосновения 100, 200 и 220 В соответственно в течение 0,2, 0,1 и 0,01...0,03 с.

Устройства защитного отключения применяют в сетях любого напряжения и с любым режимом нейтрали, хотя наиболее они распространены в сетях до 1000 В. В сетях с заземленной нейтралью УЗО обеспечивают безопасность при замыкании фазы на корпус и при снижении сопротивления изоляции сети ниже некоторого значения, а в сетях с изолированной нейтралью — еще и безопасность прикосновения человека к находящейся под напряжением

токоведущей части электроустановки. Однако эти свойства также зависят от типа устройства защитного отключения и параметров электроустановки.

Различают несколько типов УЗО в зависимости от входных величин, на которые они реагируют. К таким величинам относят: потенциал корпуса электроустановки, ток замыкания на землю, напряжение нулевой последовательности, ток нулевой последовательности, напряжение фазы относительно земли, оперативный ток.

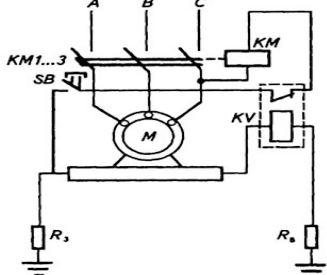


Рис. 7. Схема УЗО, реагирующего на напряжение корпуса электроустановки относительно земли: R_z — сопротивление заземлителя; M — электродвигатель

На рисунке 7 приведена принципиальная схема УЗО, реагирующего на напряжение корпуса относительно земли. Преобразователем служит реле максимального напряжения KV , включенное между защищаемым корпусом электроустановки и вспомогательным заземлителем R_b .

Электроды вспомогательного заземлителя размещают в зоне нулевого потенциала на расстоянии не ближе 15...20м от заземлителей корпуса или нулевого провода. При пробое фазы на корпус на нем появляется напряжение относительно земли. Если оно превысит 12...24 В, то срабатывает реле напряжения KV и разрывает цепь катушки управления KM . Сердечник катушки освобождается и размыкает контакты $KM1...3$ магнитного пускателя. Кнопка SB служит для контроля исправности УЗО (при включении его в работу, а также периодически не реже одного раза в квартал). Защитное отключение эффективно в любых электроустановках, но особенно в случаях, когда по каким-либо причинам трудно выполнить заземление или зануление или при высокой вероятности случайного прикосновения к токоведущим частям (во время эксплуатации передвижных

электроустановок, а также стационарных, расположенных в районах с плохо проводящими грунтами и т. п.).

10. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1

Определите величину тока, которой пройдёт через тело человека при однофазном его подключении в трёхфазную электрическую сеть с изолированной нейтралью, напряжением $U_{\text{л}} = 380$ В. Сопротивление тела человека воздействию электрического тока $R_{\text{ч}}$, Ом; сопротивление изоляции $R_{\text{из}}$, Ом. Начертите схему и сделайте вывод об исходной электротравматизма и от какого фактора он зависит.

Таблица 1.

Варианты расчета

№ варианта	1	2	3	4	5
$R_{\text{ч}}$	1000	10000	2000	45000	5000
$R_{\text{из}}$	500000	350000	500000	30000	400000

Решение:

При однофазном подключении человека в электрическую сеть с изолированной нейтралью ток, проходящий через него, определяют по формуле:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}, \quad (19)$$

, (20)

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В; $R_{\text{ч}}$ – сопротивление организма человека воздействию электротока, Ом; $R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции, Ом.

Задача 2

Одной из причин поражения током является напряжение шага. Начертите схему распределения потенциалов по земной поверхности и определите исход воздействия их на человека ($R_{\text{ч}} = 1000$ Ом), попавшего в зону замыкания проводника на землю. Ширина шага человека a , м; расстояние его до точки замыкания x , м; удельное сопротивление грунта ρ , Ом•м. Ток замыкания на землю $I_3 = 10$ А.

Таблица 2.

Варианты расчета

№ варианта	ρ , Ом•м	a , м	x , м
1	$0,5 \cdot 10^2$	0,9	20

2	$1,0 \cdot 10^2$	0,7	1
3	$0,8 \cdot 10^2$	0,8	2
4	$2,0 \cdot 10^2$	0,6	4
5	$7,0 \cdot 10^2$	0,4	10

Решение:

Силу тока в электрической цепи напряжения шага определяют по формуле:

$$I_k = \frac{I_3 \rho}{2\pi R_k} \cdot \frac{a}{x(x+a)}, \quad (21)$$

I_3 – ток замыкания на землю, А; ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м; R_k – сопротивление человека воздействию электрического тока, Ом; a – ширина шага, м; x – расстояние человека до точки замыкания электрического тока на землю, м.

11. РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

На основании схемы заземлителя и имеющихся данных об удельном сопротивлении грунта вычисляется расчетное сопротивление R_z этого заземлителя в следующем порядке:

1. По схеме заземлителя определяется суммарная длина горизонтального электрода l –и количество вертикальных электродов n .

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром 3-5 см и угловая сталь от 40х40 до 60х60 мм длиной 2,5-3 м, стальные прутки диаметром 12-16 мм и длиной до 10 м.

2. Для заземлителей, расположенных ниже уровня земли ($h = 0,7$ м), по формуле (22) определяется расчетное значение удельного сопротивления грунта ρ для вертикального и горизонтального заземлителей соответственно:

$$\rho, \text{ (Ом}\cdot\text{м)}, (22)$$

где $\rho_{гр}$ – удельное электрическое сопротивление грунта (Табл. 3);

K_p – повышающие коэффициенты, учитывающие изменения сопротивления грунта в зависимости от климатических зон РФ, для вертикального и горизонтального заземлителей соответственно (Табл.4).

Таблица 3.

Удельное сопротивление грунта, Ом·м

Грунт	Удельное сопротивление грунта, Ом·м
-------	-------------------------------------

Торф	20
Почва (чернозем и др.)	50
Глина	60
Суглинок	130
Супесь	150
Песок при грунтовых водах до 5 м	500
Песок при грунтовых водах глубже 5 м	1000

Таблица 4.

Значение сезонного климатического коэффициента сопротивления грунта

Тип заземляющих электродов	Климатическая зона			
	I Ψ	II	III	IV
Стержневой (вертикальный)	$1.8 \div 2$	$1.5 \div 1.8$	$1.4 \div 1.6$	$1.2 \div 1.4$
Полосовой (горизонтальный)	$4.5 \div 7$	$3.5 \div 4.5$	$2 \div 2.5$	1.5
	Климатические признаки зон			
Средняя многолетняя низшая температура (январь)	от $-20+15$ $^{\circ}\text{C}$	от $-20+15$ $^{\circ}\text{C}$	от $-20+15$ $^{\circ}\text{C}$	от $-20+15$ $^{\circ}\text{C}$

Примечание: Коэффициенты сезонности Ψ

Климатические зоны:

I зона (Архангельская, Кировская области, Карелия)

II зона (Ленинградская, Вологодская, Московская области)

III зона (Смоленская, Курская области)

IV зона (Ставропольский, Краснодарский края)|

3. По формуле (23) вычисляется расчетное сопротивление одиночного вертикального заземлителя R_v (стержня или трубы диаметром d), заглубленного в землю, верхний край которого находится на поверхности земли (Рис. 1а):

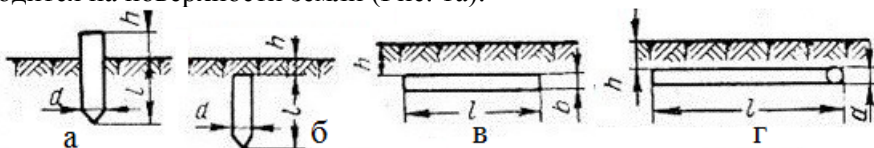


Рис.1 Размещение заземлителей

а – стержневой вертикальный у поверхности земли; б – стержневой вертикальный, заглубленный в землю; в – стержневой горизонтальный у поверхности земли; г – стержневой горизонтальный, заглубленный в землю

$$R_{\text{В}} = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l} \cdot \lg \frac{4l}{d}, [\text{Ом}], (23)$$

Если вертикальный заземлитель имеет форму уголка с шириной полки b , то следует считать $d=0,95 b$.

3.1. Для стержней или труб диаметром d , заглубленных в землю на $h=0,7\text{м}$ (Рис.4б), сопротивление одиночного вертикального заземлителя $R_{\text{В}}$ определяется по формуле (24):

$$R_{\text{В}} = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + 0,51 \cdot \lg \frac{4h_{1+l}}{4h_{1-l}} \right), [\text{Ом}], (24)$$

Для уголка с шириной полки b следует считать $d=0,95b$.

3.2. Расчетное значение сопротивления горизонтального электрода $R_{\text{Г}}$, расположенного на поверхности земли (Рис.4в) и имеющего форму стержня, либо трубы, определяется по формуле (25):

$$R_{\text{Г}} = 0,183 \frac{\rho}{l_{\text{Г}}} \cdot \lg \frac{2l_{\text{Г}}}{d}, [\text{Ом}], (25)$$

Для полосы шириной b следует считать $d=0,5b$.

3.3. Для горизонтально расположенного электрода в виде стержня или трубы, заглубленного в землю на $h=0,7\text{м}$ (Рис.4г), сопротивление $R_{\text{Г}}$ определяется по формуле (26):

$$R_{\text{Г}} = 0,366 \frac{\rho}{l_{\text{Г}}} \cdot \lg \frac{l_{\text{Г}}^2}{dh}, [\text{Ом}], (26)$$

Для полосы шириной b следует считать $d=0,5b$.

3.4. По Табл. 3 и Табл.4 Приложения находятся коэффициенты использования для вертикальных $\eta_{\text{В}}$ и горизонтальных $\eta_{\text{Г}}$ электродов и по формуле (6) вычисляется расчетное сопротивление заземлителя $R_{\text{З}}$:

$$R_{\text{З}} = \frac{R_{\text{В}} R_{\text{Г}}}{R_{\text{Г}} \eta_{\text{Г}} - R_{\text{Г}} \eta_{\text{В}} n}, [\text{Ом}], (27)$$

где n – количество вертикальных электродов.

Если расчетное сопротивление заземлителя $R_{\text{З}}$ совпадает или меньше допустимого значения $R_{\text{П}}$, это свидетельствует о том, что все основные параметры принятого нами заземлителя (форма, размеры, размещение электродов в земле и относительно друг друга) выбраны правильно и следовательно, напряжения прикосновения и шага находятся в допустимых пределах.

При значительных расхождениях в значениях R_3 и R_0 необходимо внести поправки в предварительную схему заземлителя – изменить количество и размещение электродов, а иногда их размеры, площадь, занимаемую заземлителем и т.п., - и вновь произвести вычисление R_3 .

Таблица 5.

Коэффициенты использования для вертикальных Π_B электродов
*Коэффициент использования вертикальных электродов из угловой стали или труб
 (без учета влияния полосы связи)*

Число электродов	Отношение расстояния между электродами к длине электрода, а/л		
	1	2	3
Трубы размещены в ряд			
2	0.84-0.87	0.90-0.92	0.93-0.95
3	0.76-0.80	0.85-0.88	0.90-0.92
5	0.67-0.72	0.79-0.83	0.85-0.88
10	0.56-0.62	0.72-0.77	0.79-0.83
15	0.51-0.56	0.66-0.73	0.76-0.80
20	0.47-0.50	0.65-0.70	0.74-0.79
Трубы размещены по контуру			
4	0.66-0.72	0.76-0.80	0.84-0.86
6	0.58-0.65	0.71-0.75	0.78-0.82
10	0.52-0.58	0.66-0.71	0.74-0.78
20	0.44-0.50	0.61-0.66	0.68-0.73
40	0.38-0.44	0.55-0.61	0.64-0.69
60	0.36-0.42	0.52-0.58	0.62-0.67
100	0.33-0.39	0.49-0.55	0.59-0.65

Таблица 6.

Коэффициенты использования для горизонтальных Π_G электродов

Число электродов	Отношение расстояния между электродами к длине электрода, а/л		
	1	2	3
Трубы размещены по контуру			
4	0,45	0,55	0,65
5	0,4	0,48	0,64
8	0,36	0,43	0,6

10	0,34	0,4	0,56
20	0,27	0,32	0,45
30	0,24	0,3	0,41
Трубы размещены в ряд			
4	0,77	0,89	0,92
5	0,74	0,86	0,9
8	0,67	0,79	0,85
10	0,62	0,75	0,82
20	0,42	0,56	0,68
30	0,31	0,46	0,58
50	0,21	0,36	0,49

Коэффициенты использования заземлителей

Для горизонтальных заземлителей				Для вертикальных заземлителей			
Число электродов	По контуру			Число электродов	По контуру		
	Отношение расстояния между электродами к их длине a/L				Отношение расстояния между электродами к их длине a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0.45	0.55	0.65	4	0.69	0.78	0.85
5	0.4	0.48	0.64	6	0.62	0.73	0.8
8	0.36	0.43	0.6	10	0.55	0.69	0.76
10	0.34	0.4	0.56	20	0.47	0.64	0.71
20	0.27	0.32	0.45	40	0.41	0.58	0.67
30	0.24	0.3	0.41	60	0.39	0.55	0.65
50	0.21	0.28	0.37	100	0.36	0.52	0.62
70	0.2	0.26	0.35	-	-	-	-
100	0.19	0.24	0.33	-	-	-	-
Число электродов	В ряд			Число электродов	В ряд		
	Отношение расстояния между электродами к их длине a/L				Отношение расстояния между электродами к их длине a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0.77	0.89	0.92	2	0.86	0.91	0.94
5	0.74	0.86	0.9	3	0.78	0.87	0.91
8	0.67	0.79	0.85	5	0.7	0.81	0.87
10	0.62	0.75	0.82	10	0.59	0.75	0.81
20	0.42	0.56	0.68	15	0.54	0.71	0.78
30	0.31	0.46	0.58	20	0.49	0.68	0.77
50	0.21	0.36	0.49	-	-	-	-
65	0.2	0.34	0.47	-	-	-	-

4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Требуется выполнить расчет защитного заземления. Расчет выполняется в следующем порядке:

1. Исходные данные для расчета следующие:

- напряжение электроустановки- 360В;
- мощность источника питания сети – свыше 100 кВА;

- сеть с заземленной нейтралью;
- форма вертикальных электродов – уголок с шириной полки $b = 4\text{см}$;
- длина вертикального электрода $l = 2\text{м}$;
- глубина размещения вертикальных электродов $h = 0.7\text{м}$;
- отношение расстояний между заземлителями к их длине составляет $a/l = 2$;
- размеры контура заземления $L_1 = 24\text{м}, L_2 = 8\text{м}$;
- форма горизонтального электрода – полоса шириной $b = 12\text{мм}$;
- грунт торф;
- характеристика климатической зоны: Средняя многолетняя высшая температура $+15\text{ }^\circ\text{C}$.

2. В соответствии с **Примечанием к Табл.2** ток замыкания на землю $I_3 = 500\text{ А}$.

3. Для установок с напряжением до 1000В и мощностью источника питания сети свыше 100кВА допустимое сопротивление растеканию тока $R_d = 4\text{ Ом}$.

4. Тип заземляющего устройства – контурный (размер контура 24×8).

5. Рассчитаем параметры заземлителя.

5.1. Суммарная длина горизонтального электрода $l_\Gamma = 2(24 + 8) = 64\text{м}$. Исходя из рекомендаций Раздела 2 настоящего пособия (расстояние между вертикальными электродами принимают не менее $2,5\text{--}3,0\text{ м}$), примем количество вертикальных электродов $n = 10$ шт.

5.2. Расчетное значение удельного сопротивление грунта для вертикального заземлителя:

$$\rho = \rho_{\text{гр}} \cdot K_n = 20 \cdot 2 = 40, [\text{Ом} \cdot \text{м}]$$

для горизонтального заземлителя:

$$\rho = \rho_{\text{гр}} \cdot K_n = 20 \cdot 7 = 140 \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}]$$

5.3. Сопротивление одиночного вертикального заземлителя R_B определяется по формуле (3):

5.4. Сопротивление вертикального заземлителя R_{Γ} определяется по формуле (5):

$$R_{\Gamma} = 0,366 \frac{140}{64} \cdot \lg \frac{64^2}{0,5 \cdot 0,012 \cdot 0,7} = 4,7 \text{ [Ом]}$$

5.5. Расчетное сопротивление заземлителя R_{Σ} вычисляется по формуле (6):

Поскольку выполняется условие $R_{\Sigma} \leq R_{\Pi}$,
Таблица 5. Варианты задания

напряжение электроустановки, В	Форма вертикальных электродов	ширина полки b, см;	l, м;	h, м	грунт
380	уголок	4	2	0,5	Торф
380			2,5	0,6	Почва
380			3	0,8	Глина
		5	2,7	0,65	

13. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте понятие «электробезопасность».
2. Назовите и охарактеризуйте, виды действия электрического тока на организм человека.
3. Назовите два вида поражений электрическим током. Виды электротравм и степени электроударов.
4. Перечислите факторы, влияющие на исход поражения электрическим током.
5. Назовите основные реакции организма на прохождение тока и соответствующие им значения токов.
6. Назовите влияние сопротивления тела человека на исход поражения током.

7. Приведите анализ поражения током при различных схемах включения человека в трехфазную электрическую сеть. Какой из рассмотренных случаев является наиболее опасным?

8. Что такое напряжение прикосновения и напряжение шага

9. Назовите классы помещений по опасности поражения электрическим током

10. Назовите средства обеспечения электробезопасности: общетехнические и специальные.

11. Назовите средства индивидуальной защиты, используемые в электроустановках: основные и дополнительные.

12. Первая помощь при поражениях электрическим током.

13. В чем состоит защитное действие заземления?

14. Как нормируется защитное заземление по допустимой величине

сопротивления растеканию электрического тока?

15. Назовите от чего зависит величина сопротивления растеканию одиночных заземлителей?

16. Как рассчитать сопротивление растеканию горизонтальной полосы, вертикального уголка, трубы?

17. Что такое удельное сопротивление грунта ρ ? От чего оно зависит, в каких единицах измеряется?

18. Для чего нужны коэффициенты сезонности Ψ ?

19. Что учитывается коэффициентами использования η ? От чего зависит их величина?

14. ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок: СПб: ДЕАН, 2003, - 304 с.

2. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. М.: Энергоиздат, 1984.

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

4 ГОСТ 12.1.038 – 82. ССБТ. Предельно-допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

3.11. ЭЛЕКТРООПАСНОСТЬ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Стр153

Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологий
40 ческих процессов и производств (Охрана труда): Учеб. пособие
для вузов/П.П. Кукин, В .Л. Лапин, Н .Л. Поиомарев и др

1. Хван, Т.А. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие / Т.А. Хван, П.А. Хван. - 11-е изд. - Ростов-н/Д : Феникс, 2014. - 448 с. : ил., табл. - (Высшее образование). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-222-22237-9; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271593](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271593)

2. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие / под ред. Л.А. Муравей. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Юнити-Дана, 2015. - 431 с. - ISBN 5-238-00352-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=119542](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=119542)

3. Безопасность жизнедеятельности : учебник / Э.А. Арустамов, А.Е. Волощенко, Г.В. Гуськов и др. ; под ред. Э.А. Арустамова. - 19-е изд., перераб. и доп. - М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2015. - 448 с. : табл., ил., граф., схемы - (Учебные издания для бакалавров). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-394-02494-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=375807](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=375807)

4. Производственная безопасность. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Под ред. А.А. Попова. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 432 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/12937>.

5. Приказ Госгортехнадзора России «Перечень федеральных норм и правил промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 декабря 1999 г. № 266.

6. Постановление Госгортехнадзора России «Об утверждении Положения о порядке технического расследования причин аварий на опасных производственных объектах» от 8 июня 1999 г. № 40.

7. ГОСТ 12.1.009-76. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.

8. ГОСТ 12.1.019-79. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

9. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

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

9. Задача. Определить величину шагового напряжения на расстоянии $x_1 = 2$ м от точки замыкания, если ток замыкания на землю $I_3 = 50$ А. Ширину шага принять $a = 1$ м, удельное сопротивление грунта $\rho = 100$ Ом·м. Чему равен в этом случае ток через человека? Чему будет равно шаговое напряжение на расстоянии 10 м при заданных условиях?

На рисунке объект обозначен серым квадратом в центре, а контур заземления — толстыми красными линиями:

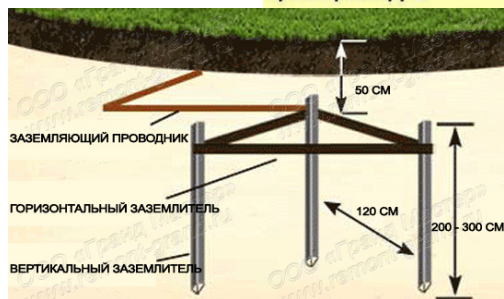
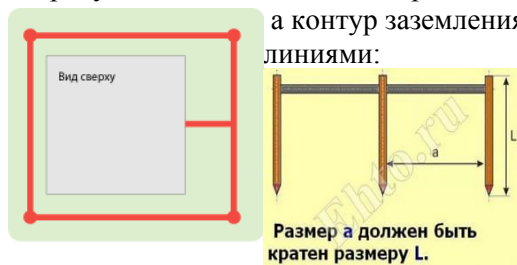
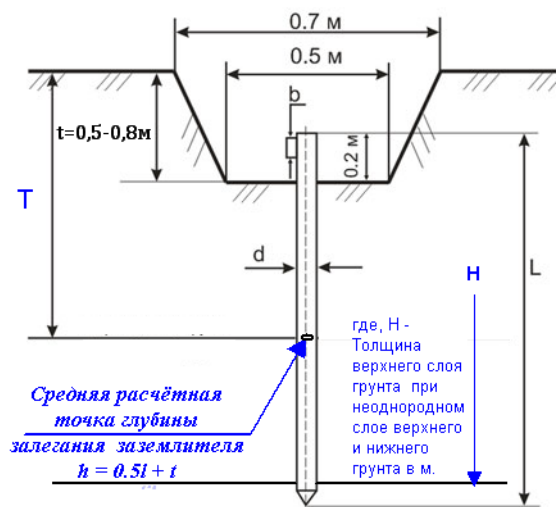


Таблица №2. «Значения сезонного климатического коэффициента сопротивления грунта»

Тип заземляющих электродов	Климатическая зона			
	I	II	III	IV
Горизонтальный	1.8 + 2	1.5 + 1.8	1.4 + 1.6	1.2 + 1.4
Вертикальный	4.5 + 7	3.5 + 4.5	2 + 2.5	1.5
Климатические признаки зон				
Средняя многолетняя низшая температура (январь)	от -20+15 по С	от -14+10 по С	от -10 до 0 по С	от 0 до +5 по С
Средняя многолетняя высшая температура (июль)	от +16 до +18 по С	от +18 до +22 по С	от +22 до +24 по С	от +24 до +26 по С



**Коэффициент использования вертикальных электродов из угловой стали или труб
(без учета влияния полосы связи)**

Число электродов	Отношение расстояния между электродами к длине электрода		
	1	2	3
Трубы размещены в ряд			
2	0,84-0,87	0,9-0,92	0,93-0,95
3	0,76-0,8	0,85-0,88	0,9-0,92
5	0,67-0,72	0,79-0,83	0,85-0,88
10	0,56-0,62	0,72-0,77	0,79-0,83
15	0,51-0,56	0,66-0,73	0,76-0,8
20	0,47-0,5	0,65-0,7	0,74-0,79
Трубы размещены по контуру			
4	0,66-0,72	0,76-0,8	0,84-0,86
6	0,58-0,65	0,72-0,75	0,79-0,82
10	0,52-0,58	0,66-0,71	0,74-0,78
20	0,44-0,5	0,61-0,66	0,68-0,73
40	0,38-0,44	0,55-0,61	0,64-0,69
60	0,36-0,42	0,52-0,58	0,62-0,67
100	0,33-0,39	0,49-0,55	0,59-0,65

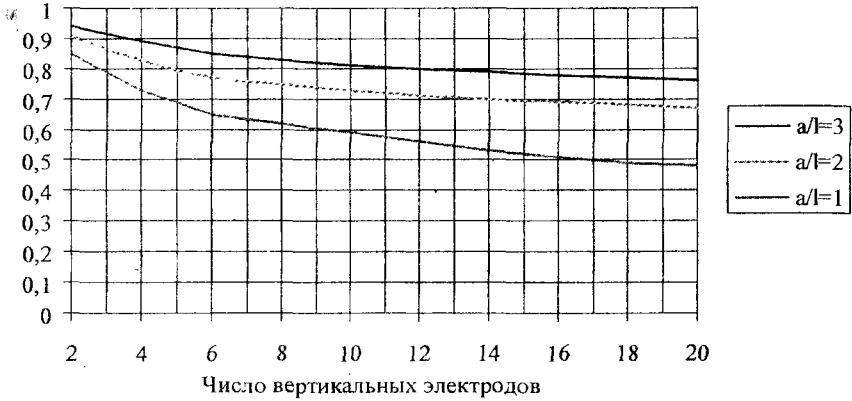
Коэффициенты использования заземлителей

Для горизонтальных заземлителей				Для вертикальных заземлителей			
Число электродов	По контуру			Число электродов	По контуру		
	Отношение расстояния между электродами к их длине a/L				Отношение расстояния между электродами к их длине a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0.45	0.55	0.65	4	0.69	0.78	0.85
5	0.4	0.48	0.64	6	0.62	0.73	0.8
8	0.36	0.43	0.6	10	0.55	0.69	0.76
10	0.34	0.4	0.56	20	0.47	0.64	0.71
20	0.27	0.32	0.45	40	0.41	0.58	0.67
30	0.24	0.3	0.41	60	0.39	0.55	0.65
50	0.21	0.28	0.37	100	0.36	0.52	0.62
70	0.2	0.26	0.35	-	-	-	-
100	0.19	0.24	0.33	-	-	-	-
Число электродов	В ряд			Число электродов	В ряд		
	Отношение расстояния между электродами к их длине a/L				Отношение расстояния между электродами к их длине a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0.77	0.89	0.92	2	0.86	0.91	0.94
5	0.74	0.86	0.9	3	0.78	0.87	0.91
8	0.67	0.79	0.85	5	0.7	0.81	0.87
10	0.62	0.75	0.82	10	0.59	0.75	0.81
20	0.42	0.56	0.68	15	0.54	0.71	0.78
30	0.31	0.46	0.58	20	0.49	0.68	0.77
50	0.21	0.36	0.49	-	-	-	-
65	0.2	0.34	0.47	-	-	-	-

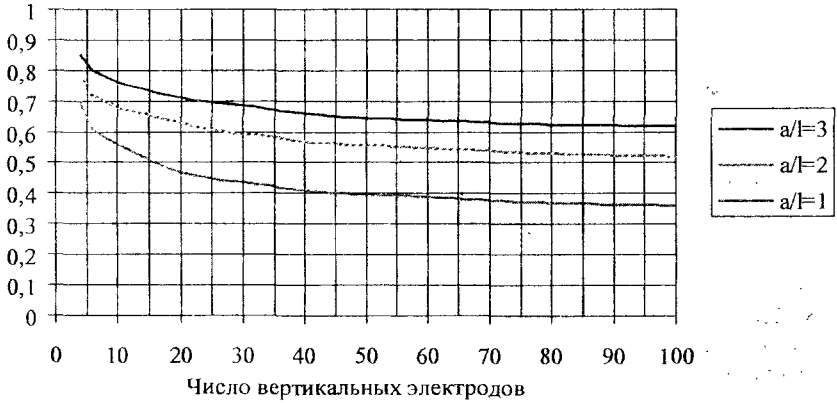
ПРИЛОЖЕНИЕ 100

Коэффициенты использования η_v вертикальных электродов группового заземления (труб, уголков и т.п.) без учета влияния полосы связи

Электроды размещены в ряд



Электроды размещены по контуру



Расположение электродов	Приближённые формулы для вычисления коэффициента использования вертикальных электродов η_v при отношении расстояния между электродами к их длине a/l		
	3	2	1
в ряд	$\eta_v = n^{-0,092}$	$\eta_v = 0,99 \cdot n^{-0,132}$	$\eta_v = 1,02 \cdot n^{-2,46}$
по контуру	$\eta_a = \frac{1,5}{n} + 0,61$	$\eta_a = \frac{1,824}{n} + 0,51$	$\eta_a = \frac{2,02}{n} + 0,346$

Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов в контуре								
	4	6	8	10	20	30	50	70	100
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35	0,33

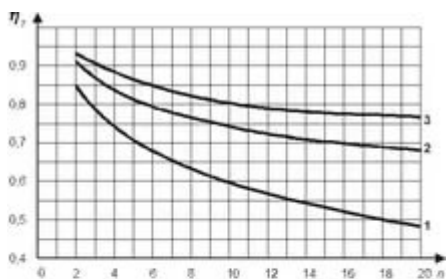


Рис. 1 Значение коэффициента использования вертикальных электродов η_F , расположенных в ряд
1 - $A/L = 1$; 2 - $A/L = 2$; 3 - $A/L = 3$.

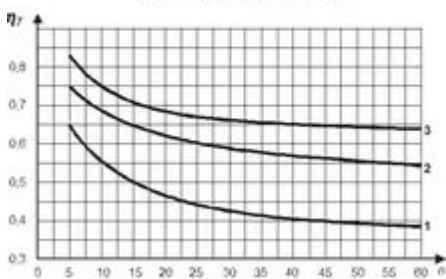


Рис. 2 Значение коэффициента использования вертикальных электродов η_F , расположенных по контуру
1 - $A/L = 1$; 2 - $A/L = 2$; 3 - $A/L = 3$.



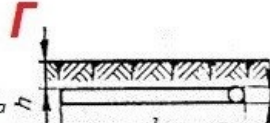
труба, стержень у поверхности земли (l - длина электрода, d - диаметр)



труба, стержень на глубине заложения h (l - длина, d - диаметр)



протяженный заземлитель (полоса, арматура, труба на глубине h , длина l , ширина b , диаметр d)



кольцевой заземлитель (полоса, труба на глубине h , длина l , ширина b , диаметр d)

сопротивление растеканию с применением		примечание
натуральных логарифмов	десятичных логарифмов	
А $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}$	$l \geq d$
Б $R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$	$l \geq d$ $h' = \frac{l}{2} + h$
В $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh}$	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{bh}$	$l \geq \frac{b}{2}$; $\frac{l}{2h} \geq 2,5$
Г $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2,6 l^2}{bh}$	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2,6 l^2}{bh}$	$\frac{l}{\pi} \geq \frac{b}{2}$; $h \leq \frac{l}{2\pi}$