

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологический институт

Кафедра безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии

Панова Т.В., Панов М.В.

Основы электробезопасности

Методические указания для выполнения практических работ
для студентов всех направлений подготовки (бакалавриат)

Брянская область

2018

УДК 621.3:331.45 (076)

ББК 31.29 н

П 16

Панова, Т. В. Основы электробезопасности: методические указания для выполнения практических работ для студентов всех направлений подготовки (бакалавриат) / Т. В. Панова, М. В. Панов. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. - 60 с.

Методические указания для выполнения практических работ для студентов всех направлений подготовки (бакалавриат) составлены в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования для студентов всех направлений подготовки и содержат указания к расчету технических средств электробезопасности с примерами задач и их решением.

Рецензент:

заведующий кафедрой электроэнергетики и автоматики Безик Валерий Александрович.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского ГАУ, от «21» февраля 2018 г. протокол № 7.

© Брянский ГАУ, 2018

© Т.В. Панова, 2018

© М.В. Панов, 2018

Содержание

Введение	4
1 Виды электрического тока	6
2 Схемы возможного включения в сеть и расчет тока через тело человека	7
2.1 Однофазное включение человека в сеть	8
2.2 Двухфазное включение человека в сеть	12
2.3 Включение в сеть при аварийном режиме	11
2.4 Включение под напряжение шага	13
2.5 Напряжение прикосновения	16
3 Меры защиты от электропоражений	21
3.1 Назначение и принцип действия заземления и зануления	23
3.2 Расчет защитного заземления	25
3.3 Расчет защитного зануления	31
3.4 Расчет и выбор плавких вставок	38
3.5 Применение малых напряжений	39
4 Средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током	40
Задачи	42
Литература	49
Приложения	50

Введение

Электробезопасность - это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного электрического тока и статистического электричества.

Проходя через организм человека (рис. 1), электрический ток оказывает механическое (разрыв тканей, сосудов), термическое (нагрев тканей, ожоги), электролитическое (разложение жидкостей, нарушение их физико-химического состава) и биологическое действие (судороги, паралич).

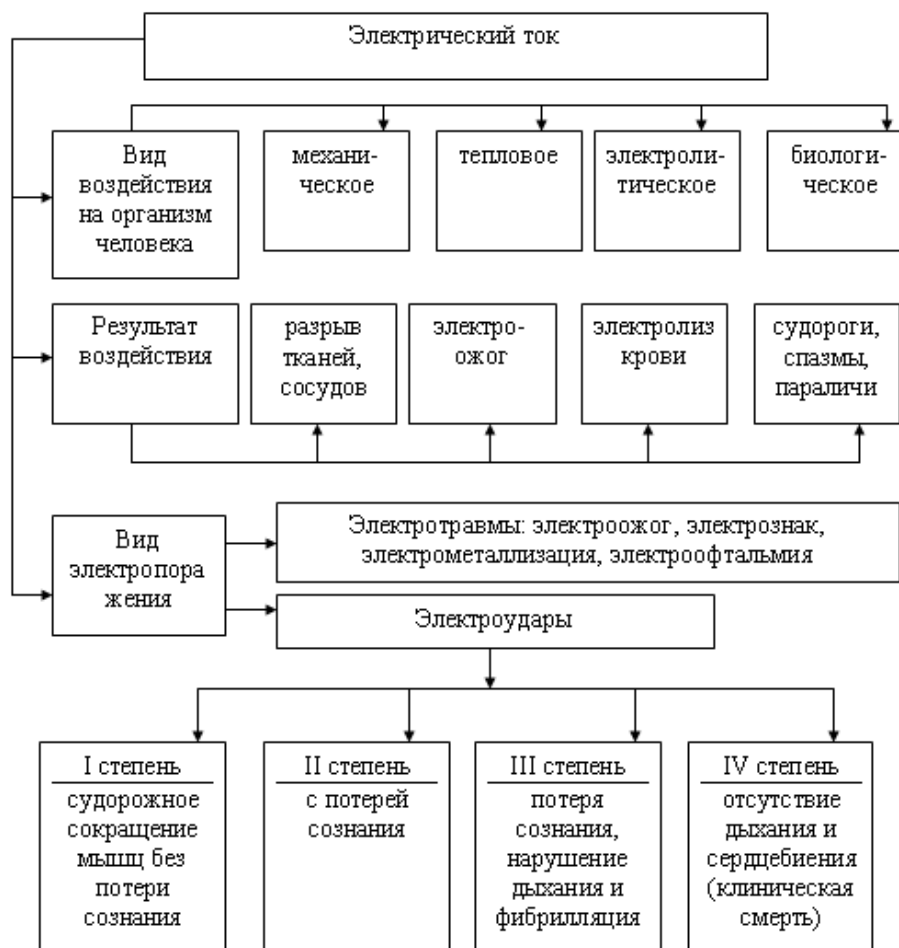


Рисунок 1 - Действие электрического тока на человека

Одним из главных факторов, влияющих на исход поражения электрическим током, является величина тока через человека. Чем больше ток, тем опаснее его действие.

Длительность протекания тока через тело человека также влияет на исход поражения, так как со временем резко возрастает ток за счет уменьшения сопротивления тела.

Для того, что бы исключить опасное воздействие электрического тока на организм человека необходимо иметь знания, которые предоставляется в результате изучения дисциплины «Основы электробезопасности».

Изучение дисциплины «Основы электробезопасности» сформированы следующими компетенциями:

ПК-3 - способностью оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемой техники;

ПК-23 - способностью применять на практике навыки проведения и описания исследований, в том числе экспериментальных.

1 Виды электрического тока

Среди видов электрического тока, применяемых в производственной практике и для бытовых целей, различают:

- постоянный ток (–) (DC - Direct Current – постоянный ток);
- переменный ток (~) (AC - Alternating Current – переменный ток).

В качестве технического направления тока принято, что он течёт от контакта со знаком «+» к контакту со знаком «–».

В случае переменного тока (~) различают однофазный переменный ток, трёхфазный переменный ток и высокочастотные токи.

В сетях переменного тока электрический ток постоянно изменяет свою величину (как правило, по синусоидальному закону) и своё направление. В западноевропейской энергосети ток за секунду меняет своё направление 50 раз. Частота изменения колебаний в секунду называется частотой тока. Единица частоты – герц (Гц).

Весь диапазон переменного тока по использованию разбит на поддиапазоны:

1. Ток промышленной частоты - 50...400 Гц, используется в системах производственного и бытового энергоснабжения, в авиационной промышленности, в специальных приводах с регулируемой частотой.

2. Ток низкой частоты - 3...300 кГц, широко применяется в радиовещании, при термообработке металлов.

3. Ток средней частоты - 0,3...3,0 МГц, используется в радиовещании, для индуктивного нагрева металлов и токопроводящих композитов.

4. Ток высокой частоты - 3,0...30 МГц, применяется в радио- и телевизионном вещании, в медицинской аппаратуре, при высокочастотной сварке полимеров.

5. Ток очень высокой частоты - 30...300 МГц, находит применение в системах спутникового радиовещания и телевидения, в медицине, для сварки полимеров.

6. Ток ультравысокой частоты - $0,3 \dots 3,0$ ГГц, наиболее широко в силу ряда преимуществ используется в радиолокации, многоканальной радиосвязи, радиоастрономии, радиоспектроскопии, радионавигации, телекоммуникации, дефектоскопии, геодезии, физиотерапии.

7. Ток сверхвысокой частоты - $3 \dots 30$ ГГц, широко используется в системах спутникового телевидения, для телеметрической связи с искусственными спутниками Земли и другими космическими объектами.

8. Ток крайне высокой частоты, $30 \dots 300$ ГГц, воздействует на определённые центры головного мозга и применяется в медицинских целях.

2 Схемы возможного включения в сеть и расчет тока через тело человека

Поражения электрическим током возникают при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует искрение. Анализ опасности такого прикосновения сводится к определению значения I (А) в цепи тела человека, зависящей от схемы его включения в сеть, схемы сети, режима работы, качества изоляции токоведущих частей и условий эксплуатации электроустановки.

Основные схемы включения:

- однофазное (однополюсное), когда человек имеет электрическую связь с землей и касается одной фазы электроустановки;
- двухфазное (двухполюсное), когда человек касается двух неизолированных фаз (полюсов) электроустановки;
- прикосновение к нетоковедущим частям электроустановки, оказавшихся под напряжением в результате повреждения изоляции (равноценно однофазному включению);
- включение между двумя точками земли в поле растекания тока, находящимися под разными потенциалами (включение под напряжением шага).

В АПК в основном применяются трехфазные сети четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью.

Нейтраль (нейтральная точка обмотки источника или потребителя энергии) – это точка, напряжение которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаково по абсолютному значению.

Сети с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень изоляции проводов, а емкость сети относительно земли незначительна. К ним относятся малоразветвленные сети, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором персонала.

Сеть с заземленной нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (из-за высокой влажности, агрессивной среды и пр.), когда нельзя быстро найти или устранить повреждение изоляции, либо когда емкостные токи сети из-за значительной ее разветвленности достигают больших значений, опасных для человека.

Наибольшее число электротравм связано с однофазным включением, при котором на протекающий через человека ток влияют режим нейтрали сети, качество изоляции проводов сети, ее протяженности и ряд других параметров.

2.1 Однофазное включение человека в сеть

При прикосновении к одной фазе в трехпроводной сети с изолированной нейтралью сила тока (рис. 2), протекающего через человека, будет определяться величиной действующего на него напряжения, сопротивления изоляции проводов ($r_{из}$), которая в соответствии с ПУЭ не должна быть менее 0,5 МОм, а также электрическим сопротивлением цепи человека ($R_ч$), состоящих из последовательно соединенных сопротивлений тела человека ($r_{м.ч}$), обуви ($r_{об}$) и опорной поверхности ног (r_n)

$$I_ч = \frac{U_ф}{R_ч + \frac{r_{из}}{3}} \quad (2.1)$$

где U_ϕ – фазное напряжение, В (в сетях 220/380 $U_\phi = 220В$);

$R_\text{ч}$ – сопротивление человека, Ом;

$r_\text{из}$ – сопротивление изоляции проводов, Ом.

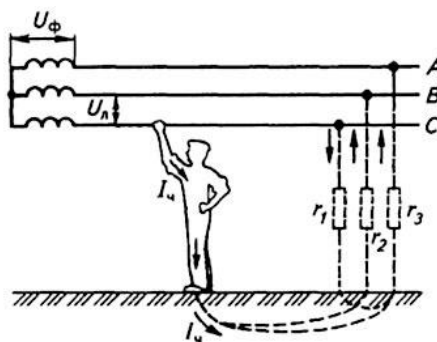


Рисунок 2 - Однофазное включение человека в сеть с изолированной нейтралью

При однофазном включении человека в четырехпроводную сеть с глухозаземленной нейтралью (рис. 3) проходящий через него ток определяется величиной фазного напряжения установки (U_ϕ), электрическим сопротивлением цепи человека ($R_\text{ч}$) и сопротивлением заземления нейтрали (R_0) источника тока

$$I_\text{ч} = \frac{U_\phi}{R_\text{ч} + R_0} = \frac{U_\phi}{r_{\text{м.ч}} + r_{\text{об}} + r_n + R_0} \quad (2.2)$$

где $r_{\text{м.ч}}$ - сопротивление тела человека, Ом;

$r_{\text{об}}$ - сопротивление обуви, Ом;

r_n - сопротивление опорной поверхности ног, Ом.

Так как $R_\text{ч} \gg R_0$, то в формуле (2) R_0 можно не учитывать.

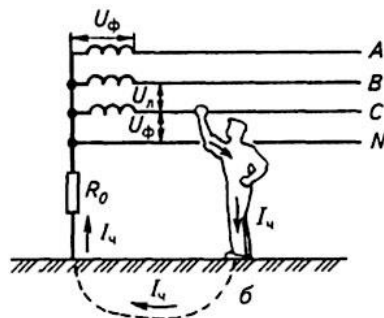


Рисунок 3 – Однофазное включение человека в сеть с глухозаземленной нейтралью

Пример 1. Определить силу тока, проходящего через человека при неблагоприятной и благоприятной ситуациях в случаях однофазного включения в трехпроводную трехфазную сеть напряжением $U_{\text{л}} = 380$ В с изолированной нейтралью (рис. 2).

а) Неблагоприятные условия: человек прикоснулся к одной фазе, стоит на токопроводящем железобетонном полу, обувь сырая. Сопротивления: тела человека $r_{\text{м.ч}} = 1000$ Ом, обуви $r_{\text{об}} = 0$ Ом, опорной поверхности ног (сопротивление пола) $r_{\text{п}} = 0$ Ом, изоляции $r_{\text{из}} = 70000$ Ом.

б) Благоприятные условия: человек стоит на нетокопроводящем полу, покрытом линолеумом ($r_{\text{п}} = 1500000$ Ом), обувь сухая, материал подошвы резина ($r_{\text{об}} = 500000$ Ом).

Решение. Определим ток через человека (мА) по формуле (2.1) для неблагоприятных условий

$$I_{\text{ч}} = \frac{220}{1000 + \frac{70000}{3}} = 0,009\text{А} = 9\text{мА}.$$

Определим силу тока, проходящего через человека (мА) для благоприятных условий

$$I_{\text{ч}} = \frac{220}{1000 + 150000 + 500000 + \frac{70000}{3}} = 0,0001\text{А} = 0,1\text{мА}$$

Выводы. Сравниваем полученные значения тока через человека с пороговыми значениями тока (приложение А, табл. 1): в первом случае (при неблагоприятных условиях) ток близок к порогу неотпускающего тока и представляет опасность; во втором случае (при благоприятных условиях) ток, проходящий через человека, не представляет опасности.

Пример 2. Определить силу тока, проходящего через человека при одно-

фазном включении в трехфазную четырехпроводную электрическую сеть напряжением $U_{л} = 380$ В с заземленной нейтралью.

а) Неблагоприятные условия: человек стоит на токопроводящем железобетонном полу в сырой обуви. Сопротивление тела человека $r_{m.ч} = 1000$ Ом; пола $r_{п} = 0$, обуви $r_{об} = 0$; заземление нейтрали $R_0 = 4$ Ом (допускаем $R_0 = 0$ ввиду незначительной величины по сравнению с сопротивлением тела человека).

б) Благоприятные условия: человек находится на сухом паркетном полу $r_{п} = 30000$ Ом, обувь нетокопроводящая сухая (резиновая подошва) $r_{об} = 500000$ Ом.

Решение. Определяем по формуле (2.2) ток через человека (мА) для неблагоприятных условий

$$I_{ч} = \frac{220}{1000 + 0 + 0} = 0,22 A = 220 \text{ мА}$$

Определяем ток через человека (мА) для благоприятных условий

$$I_{ч} = \frac{220}{1000 + 30000 + 500000} = 0,4 \text{ мА}$$

Выводы. Сравнивая полученный результат с пороговыми значениями тока, заключаем, что в первом случае ток является опасным для жизни (порог смертельного тока 100 мА); а во втором случае ток является безопасной для человека.

2.2 Двухфазное включение человека в сеть

Наибольшую опасность представляет двухфазное включение (рис. 4), так как в этом случае человек оказывается под рабочим напряжением сети и проходящий через него ток (А) будет равен в однофазной сети

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{r_{\text{м.ч}}}, \quad (2.3)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети, В;

$r_{\text{м.ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом.

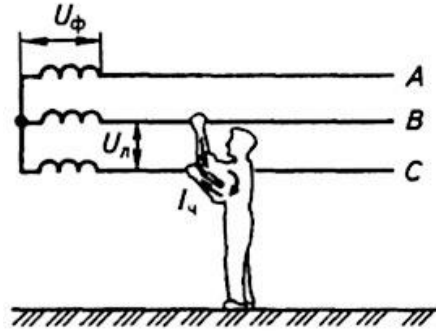


Рисунок 4 - Двухфазное включение человека в трехфазную сеть

Из сопоставления формул для расчета силы тока при одно- и двухфазном включении видно, что в последнем случае величина тока, действующего на человека, значительно выше, чем в первом, так как числитель в формуле для двухфазного включения возрастает, а знаменатель резко уменьшается, потому что сопротивления изоляции обуви и пола не оказывают защитного действия.

Пример 3. Определить силу тока, проходящего через человека при двухфазном включении в трехфазную электрическую сеть напряжением $U_{\text{л}} = 380$ В.

Решение. Определяем ток через человека по формуле (2.3)

$$I_{\text{ч}} = \frac{380}{1000_{\text{ч}}} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA}$$

Вывод. Величина такого тока является смертельно опасной для человека.

2.3 Включение в сеть при аварийном режиме

При аварийных режимах сети, например, когда одна из фаз замкнута на землю через относительно малое активное сопротивление $r_{\text{зМ}}$, величина тока,

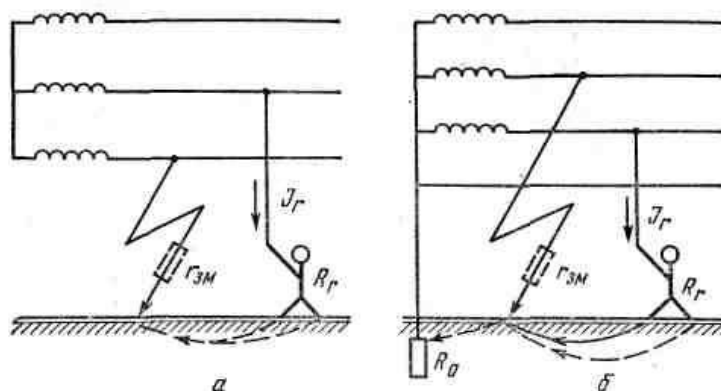
проходящего через человека при однофазном включении в сеть с изолированной нейтралью (рис. 5, а), будет

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}} + r_{\text{зм}}}, \quad (2.4)$$

а в сеть с заземленной нейтралью (рис. 5, б)

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}}}, \quad (2.5)$$

где $U_{\text{ч}}$ – напряжение, под которым оказывается человек, подключившийся к исправному фазному проводу аварийной трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, В.



а - сеть с изолированной нейтралью; б - сеть с глухозаземленной нейтралью

Рисунок 5 - Однофазное включение человека в сеть при аварийном режиме

Анализ формул позволяет сделать вывод, что включение человека в аварийную сеть более опасно, чем работающую в нормальном режиме.

2.4 Включение под напряжение шага

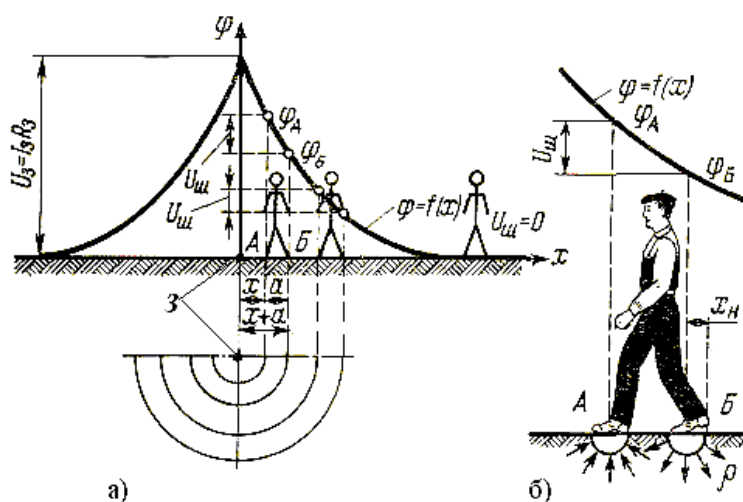
При эксплуатации электрических сетей и электроустановок возможно случайное электрическое соединение токоведущей части непосредственно с

землей, нетоковедущими проводящими конструкциями или предметами, не изолированными от земли, называемое электрическим замыканием на землю. Замыкание сопровождается протеканием через нее тока. Земля становится участком электрической цепи, в зоне растекания тока, на которой из-за сопротивления земли падает напряжение и появляется разность потенциалов между отдельными точками ее поверхности.

Характер растекания тока в зоне из-за разных электрических свойств грунта описывается сложной зависимостью.

В однофазном грунте от одиночного полусферического заземлителя (рис. б) падение напряжения на поверхности земли в зоне растекания тока гиперболическому закону. При этом падение напряжения на расстоянии 1 м от заземлителя составляет 68 %, на расстоянии 10 м– 92 %, а на расстоянии 20 м потенциалы точек практически могут быть приняты равными нулю.

Шаговое напряжение представляет собой разность потенциалов между двумя точками в зоне растекания тока, находящимися на расстоянии шага 0,8 м.



а) – общая схема; б) – растекание тока с опорной поверхности ног человека.

А, Б – опорные точки ног человека; З – точка замыкания на землю; $U_з$ – напряжение замыкания; $U_ш$ – напряжение шага; а – ширина шага; φ – электрический потенциал; x – радиальное расстояние от точки замыкания на землю.

Рисунок 6 - Распределение потенциала на поверхности земли в зоне растекания тока

Попав в зону растекания, человек может оказаться под разностью потенциалов с напряжением шага (В)

$$U_{ш} = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right), \quad (2.6)$$

где I_3 – ток замыкания на землю (стекающий через заземлитель), А;

ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м (табл. 1);

x – расстояние от центра заземлителя до человека, м;

a – расстояние шага, м.

Анализ формулы (6) показывает, что чем шире шаг, тем больше напряжение шага.

Таблица 1 - Удельное сопротивление грунта ρ

Характер грунта	Сопротивление грунта, ρ , Ом·м
Торф	40
Садовая земля	40
Глина	70...80
Каменистая глина	100
Суглинок	150
Известняк, щебень, глина	150
Чернозем	200
Супесь	100...400
Песчаная почва	700...900
Известняк, мергель	14000
Скальный грунт	3000

Ток, протекающий через человека, попавшего под шаговое напряжение (А)

$$I_{ч} = \frac{U_{ш}}{R_{ч}} \quad (2.7)$$

Пример 4. Произошел обрыв на землю высоковольтного провода, ток замыкания равен 6А. Человек находится в поле растекания потенциалов на расстоянии 1 м от упавшего провода. Ширина шага 0,8 м, грунт - супесь. Найти напряжение шага и оценить опасность поражения.

Решение. Шаговое напряжение определяется как разность потенциалов между одной и второй ногой человека. Для нашего случая напряжение шага можно определить по формуле (2.6)

$$U_{ш} = \frac{6 \cdot 100}{2 \cdot 3,14} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{1+0,8} \right) = 52 \text{ В}$$

Чтобы оценить опасность поражения шаговым напряжением, надо рассчитать ток через человека по формуле (2.7)

$$I_{ч} = \frac{52}{100} = 52 \text{ мА}$$

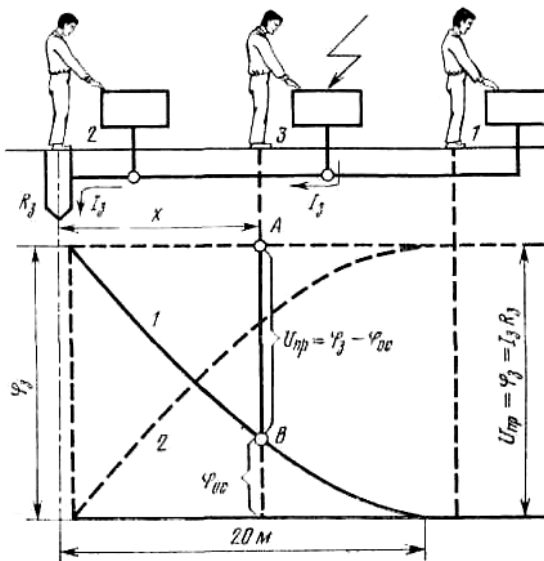
Вывод. Ток 52 мА вызывает фибрилляцию и может привести к смерти при протекании более 20 с.

2.5 Напряжение прикосновения

При стекании тока в землю через проводник, находящийся в непосредственном контакте с землей происходит резкое снижение потенциала заземлившейся токоведущей части до значения φ_3 , (В), равного произведению тока, стекающего в землю I_3 (А), на сопротивление, которое этот ток встречает на своем пути R_3 (Ом)

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3, \quad (2.8)$$

Рассмотрим напряжение прикосновения при одиночном заземлителе. Пусть мы имеем оборудование, например электродвигатели, корпуса которых заземлены с помощью одиночного заземлителя (рис. 7).



1 – потенциальная кривая;

2 - кривая, характеризующая изменение напряжения прикосновения при изменении расстояния от заземлителя

Рисунок 7 - Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе

При замыкании на корпус одного из этих двигателей на заземлителе и всех присоединенных к нему металлических частях, в том числе на корпусах двигателей, появится потенциал φ_3 . Поверхность земли вокруг заземлителя также будет иметь потенциал, изменяющийся по кривой, зависящей от формы заземлителя. Форму кривой учитывает коэффициент напряжения прикосновения α .

Напряжение прикосновения характеризуется отрезком AB и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния x между человеком, прикасающимся к заземленному оборудованию, и заземлителем: чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше U_{np} , и наоборот.

Так, при наибольшем расстоянии, т. е. при $x = \infty$, а практически при $x = 20$ м (точка 1 на рис. 7) напряжение прикосновения имеет наибольшее значение: $U_{np} = \varphi_3$, при этом коэффициент напряжения прикосновения $\alpha = 1$. Это наиболее опасный случай прикосновения.

При наименьшем значении x , когда человек стоит непосредственно на заземлителе (точка 2), $U_{np} = 0$ и $\alpha = 0$. Это безопасный случай — человек не подвергается воздействию напряжения, хотя он и находится под потенциалом φ_3 .

При других значениях x в пределах от 0 до 20 м (точка 3) U_{np} плавно возрастает от 0 до φ_3 , а α — от 0 до 1.

Напряжение прикосновения в общем виде можно определить по формуле

$$U_{np} = \varphi_p - \varphi_n = U_k - \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi x}, \quad (2.9)$$

где φ_p, φ_n — потенциал рук и ног, В;

U_k — напряжение на корпусе, В;

I_3 — ток замыкания на землю, А;

x — расстояние от заземлителя до человека, м;

ρ — удельное сопротивление грунта, Ом·м.

Напряжение на корпусе рассчитывается по формуле

$$U_k = I_3 \cdot R_3 \quad (2.10)$$

где R_3 — сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, Ом.

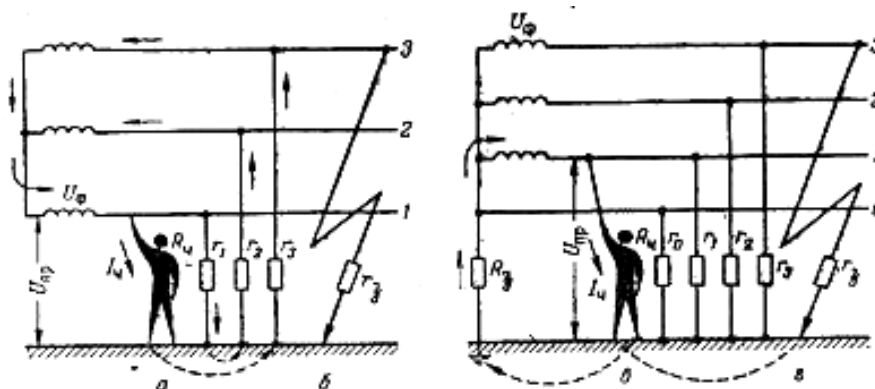
Напряжение прикосновения в сетях с изолированной нейтралью в нормальном режиме работы (рис. 8,а) определяется сопротивлением проводов r и человека и рассчитывается по формуле

$$U_{np} = U_\phi \frac{3R_q}{R_q + r/3} \quad (2.11)$$

Если человек прикоснется к проводу в сети с изолированной нейтралью, находящейся в аварийном режиме (рис. 8,б), то он окажется почти под линейным напряжением.

В сети с заземленной нейтралью, находящейся в нормальном режиме (рис. 8,в) напряжение прикосновения определяется из выражения

$$U_{пр} = U_{\phi} \frac{R_q}{R_q + R_3} \quad (12)$$



a, б — трехпроводная сеть с изолированной нейтралью, нормальный и аварийный режим;

в, г — четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью, нормальный и аварийный режим

Рисунок 8 - Схемы возможных прикосновений человека к трехфазной сети

Длительно допустимое напряжение прикосновения рассчитывается по формуле

$$U_{прд} = I_{чд} \cdot R_q, \quad (2.13)$$

где $I_{чд}$ — длительно допустимый ток через чело человека, (мА), $I_{чд} = 10\text{мА}$.

При гигиеническом нормировании ГОСТ 12.1.038 устанавливает предельно допустимые напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека (рука-рука, нога-нога) при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановок производственного и непромышленного назначения (приложение А, табл. 3).

Пример 5. Нарушена изоляция обмотки электродвигателя, установленного на токарном станке. Напряжение в сети 220/380 В. Нейтраль сети заземлена, сопротивление заземления нейтрали 12 Ом. Сопротивление защитного заземления 3 Ом. Определить величину тока, который пройдет через тело рабочего, если он прикоснется к станку. Сопротивление тела человека принять равным 1000 Ом.

Решение. Составим эквивалентную схему электрической цепи и найдем эквивалентное сопротивление цепи R_3 по формуле

$$R_3 = R_0 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}, \quad (2.14)$$

где R_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом;

R_3 – сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, Ом;

R_4 – сопротивлением тела человека, Ом.

$$R_3 = 12 + \frac{3 \cdot 1000}{3 + 1000} = 14,99 \text{ Ом}$$

Определим величину общего тока $I_{об}$ в эквивалентной цепи по формуле

$$I_{об} = \frac{U_\phi}{R_3}, \quad (2.15)$$

где U_ϕ – фазное напряжение, В (в сетях 220/380 $U_\phi = 220 \text{ В}$);

R_3 – эквивалентное сопротивление цепи, Ом.

$$I_{об} = \frac{220}{14,99} = 14,67 \text{ А}$$

Токи в параллельных ветвях распределяются обратно пропорционально их сопротивлениям

$$\frac{I_3}{I_4} = \frac{R_4}{R_3}, \text{ или } I_3 \cdot R_3 = I_4 \cdot R_4, \quad (2.16)$$

Кроме того,

$$I_{об} = I_3 + I_4, \text{ или } I_3 = I_{об} - I_4, \quad (2.17)$$

Тогда $I_3 = 14,67 - I_4$, затем подставим значение I_3 в выражение (2.16)

$$(14,67 - I_4) \cdot R_3 = I_4 \cdot R_4,$$

Тем самым найдем ток через человека I_4 по формуле (2.16)

$$14,67 \cdot R_3 = I_4 \cdot (1000 + R_3),$$

$$I_4 = \frac{14,67 \cdot R_3}{1000 + R_3} = 0,044 \text{ A}$$

Вывод. Ток 0,044 А может нанести тяжелую травму и вызвать смерть.

3 Меры защиты от электропоражений

Электробезопасность в производственных условиях обеспечивается соответствующей конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями представленными на рисунке 9.

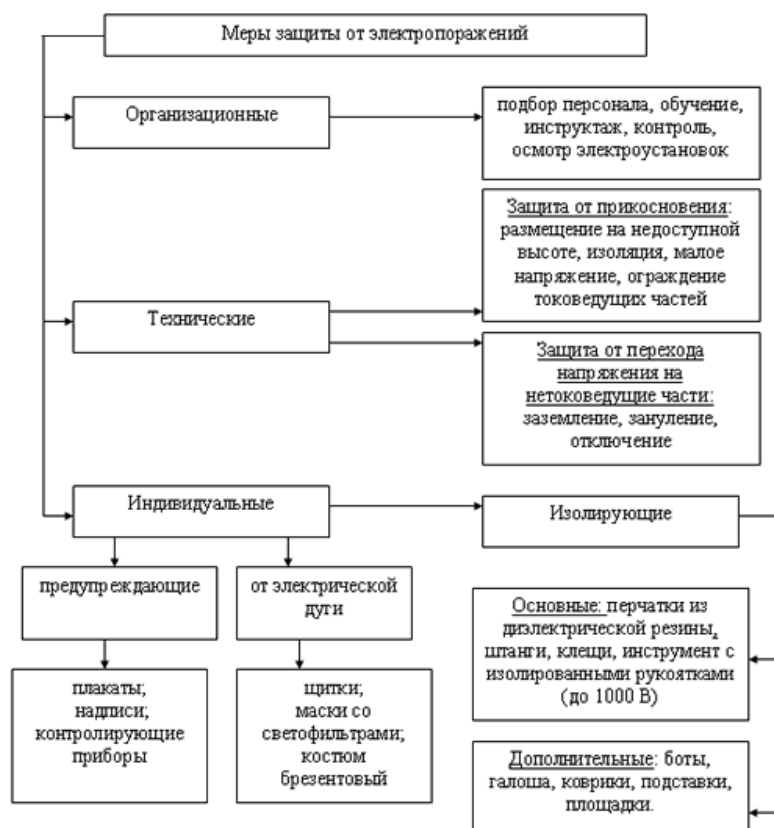


Рисунок 9 - Меры защиты от электропоражений

От случайного прикосновения к токоведущим частям защищают следующие меры и технические средства:

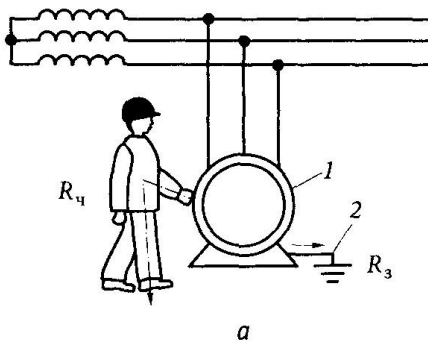
- защитные оболочки и ограждения;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляция рабочего места;
- предупреждающая сигнализация и знаки безопасности;
- изоляция (рабочая, двойная);
- блокировки (механические, электрические, фотоэлектрические) и пр.

Для защиты от прикосновения к нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением, служат следующие меры и технические средства:

- защитное заземление и зануление;
- защитное отключение;
- малое напряжение;
- средства индивидуальной защиты.

3.1 Назначение и принцип действия заземления и зануления

Защитным заземлением называется преднамеренное соединение с землей металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением (рис. 10).



1 – электроустановка; 2 - заземляющий проводник

Рисунок 10 – Защитное заземление электроустановки

Оно является эффективной мерой защиты в трехфазных сетях с изолированной нейтралью (трехпроводные сети) до 1000В и выше 1000В с любым режимом нейтрали. Защитное заземление снижает до безопасного уровня напряжение прикосновения и шага за счет уменьшения потенциала относительно земли из-за малого сопротивления заземления. Различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

Выносное заземляющее устройство (рис. 2, приложение В) характеризуется тем, что заземлитель вынесен за пределы площади, на которой размещено электрооборудование. Недостатком данного типа заземляющего устройства является то, что заземлитель отдален от оборудования и коэффициент прикосновения $\alpha = 1$. Достоинством является возможность выбора участка грунта с минимальным удельным сопротивлением (сырой, глинистый).

Контурное заземляющее устройство (рис. 3, приложение В) характеризуется тем, что его заземлители равномерно размещены по контуру площади, где размещено электрооборудование, при этом обеспечивается выравнивание потенциалов и снижение напряжений прикосновения и шага до допустимых величин.

Форма электродов. Для искусственных заземлителей применяют обычно

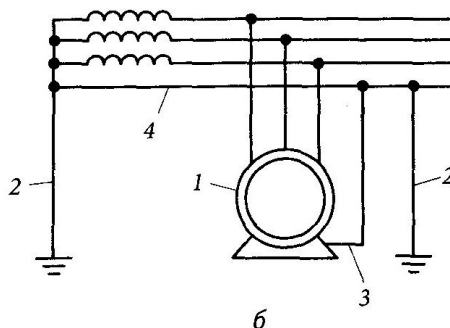
вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов используют стальные трубы диаметром 3 - 5 см и угловую сталь размером от 40x40 до 60x60 мм, длиной 2,5 - 3 м. Находят применение стальные прутки диаметром 10 - 12 мм и длиной до 10 м.

Для связи вертикальных электродов и как самостоятельный горизонтальный электрод применяется полосовая сталь сечением не менее 4x12 мм или сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Размещение электродов. Размещение электродов заземлителя производится с учетом выбранного типа заземлителя, площади участка, размещения на нем оборудования и других условий. Стержневые электроды располагают обычно на расстоянии 2 - 3 ж друг от друга на глубине 0,7 м (рис. 4-б, приложение В). Верхние концы погруженных в землю вертикальных электродов соединяют стальной полосой с помощью сварки.

Защитное зануление – это преднамеренное соединение металлических нетоковедущих частей электроустановки с нулевым защитным проводником N (рис. 11). Оно эффективно в сетях с глухозаземленной нейтралью. Защитный эффект состоит в уменьшении длительности замыкания на корпус и, следовательно, в снижении времени воздействия электрического тока на человека.

Замыкание на корпус превращается в однофазное короткое замыкание между фазным и нулевым защитным проводником с целью создания большого тока I_k , обеспечивающего срабатывание защиты и отключение поврежденного участка от сети. Принцип действия зануления приведен в приложении В на рис. 8.



1 – электроустановка; 2 - заземляющие проводники; 3 - проводники; 4 - нулевой провод

Рисунок 11 – Защитное зануление электроустановки

Применение повторного заземления нулевого провода R_n через каждые 20м обеспечивает снижение потенциала на корпусе оборудования при обрыве нулевого провода.

3.2 Расчет защитного заземления

Определяют расчетный ток замыкания на землю и нормативное значение сопротивления заземления по правилам устройства электроустановок (ПУЭ) в зависимости от напряжения, режима нейтрали.

Определяют сопротивление заземлителя, который выполнен в дополнение к естественному заземлителю, по формуле

$$R_{O3} = \frac{R_e \cdot R_d}{R_e + R_d}, \quad (3.1)$$

где R_d – допустимое сопротивление заземления, Ом ($R_d = 4$ Ом в установках до 1000 В, $R_d = 10$ Ом в установках выше 1000 В);

R_e – сопротивление растеканию тока естественных заземлителей, Ом.

Сопротивление естественных заземлителей выбирают по специальным номограммам.

Экспериментально установлено, что 100м обсадных труб артезианских скважин при $\rho = 1 \cdot 10^4$ Ом·м имеют сопротивление растеканию 0,6...0,8 Ом; 1 м² металлических конструкций, соприкасающихся с землей, – 20 Ом.

Определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатического коэффициента по формуле

$$\rho_{рас} = \rho \cdot \Psi, \quad (3.2)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·см (табл. 1);

Ψ – климатический коэффициент (табл. 2).

Таблица 2 – Значение расчетных климатических коэффициентов сопротивления грунта

Грунт	Глубина заложения, м	Ψ_1 (влажный грунт)	Ψ_2 (средней влажности)	Ψ_3 (сухой грунт)
Суглинок	0,8...3,8	2,0	1,5	1,4
Садовая земля до глубины 0,6м, ниже - слой глины	0...3,0	-	1,32	1,2
Гравий с примесью глины, ниже – глина	0...2,0	1,3	1,2	1,1
Известняк	0...2,0	2,5	1,51	1,2
Гравий с примесью песка	0...2,0	1,5	1,3	1,2
Торф	0...2,0	1,4	1,1	1,0
Песок	0...2,0	2,4	1,56	1,2
Глина	0...2,0	2,4	1,36	1,2

Рассчитывается сопротивление одиночного заземлителя в зависимости от схемы его расположения (см. приложение Г, табл. 2)

- трубчатый или стержневой у поверхности земли

$$R_{oz} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{0,366\rho}{l} \lg \frac{4l}{d} \quad (3.3)$$

- трубчатый или стержневой заглубленный на расстояние t от поверхности земли

$$R_{oz} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (3.4)$$

- протяженный, расположенный на поверхности земли (стержень, труба, полоса, кабель)

$$R_{noz} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{0,366 \cdot \rho}{l} \lg \frac{4l}{d} \quad (3.5)$$

- протяженный заглубленный на расстояние t от поверхности земли

$$R_{os} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \ln \frac{2l^2}{d \cdot t} = \frac{0,366 \cdot \rho}{l} \lg \frac{2l^2}{d \cdot t} \quad (3.6)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

l – длина заземлителя (провода, полосы, трубы), м;

d – диаметр заземлителя, м ($l \gg d$);

t – глубина заложения, м; $t_0 > 0,5$ м (см. схему в приложении В).

Следует учесть, что искусственные заземлители обычно выполняют из металлических труб диаметром 35...50 мм, толщиной стенок не менее 3,5 мм и длиной 2...3 м, или полосами сечением 48...100 мм².

Наименьшие размеры стальных искусственных заземлителей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Наименьшие размеры стальных искусственных заземлителей

Заземлители	Наименьшие размеры заземлителей в различных условиях		
	в зданиях	в наружных установках	в земле
Круглые (диаметр, мм)	5	6	6
Прямоугольные:			
- сечение, мм ²	24	48	48
- толщина, мм	3	4	4
Угловая сталь (толщина полок, мм)	2	2,5	4
Стальные газопроводные трубы (толщина стенок, мм)	1,5	2,5	3,5
Стальные тонкостенные трубы (толщина стенок, мм)	1,5	Не допускается	

Определяется количество стержней в очаге заземления по формуле

$$n = \frac{R_{оз} \eta_{сез}}{R_{д} \eta_{ст}}, \quad (3.7)$$

где $\eta_{сез}$ – коэффициент сезонности (для северных районов $\eta_{сез} = 2,3$, для средней полосы $\eta_{сез} = 1,6$, для южных районов $\eta_{сез} = 1,5$);
 $\eta_{ст}$ – коэффициент использования заземлителей, (таблица 4);
 $R_{оз}$ – сопротивление одиночного заземлителя, Ом;
 $R_{д}$ – допустимое сопротивление заземления, Ом (приложение Г, табл. 1).

Рассчитывается сопротивление растекания тока стержнями очага заземления по формуле

$$R_{ст.оч} = \frac{R_{оз}}{n \cdot \eta_{ст}}, \quad (3.8)$$

Рассчитывается длина соединительной полосы по формуле

$$l_n = 1,05 \cdot a \cdot n, \quad (3.9)$$

где a – расстояние между стержнями, м ($a = 2,5 \dots 3$ м, иногда до 6 м).

Таблица 4 – Коэффициенты использования заземлителей из труб или уголков (без учета влияния полосы связи)

Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине	При размещении в ряд		При размещении по контуру	
	число труб (уголков)	$\eta_{ст}$	число труб (уголков)	$\eta_{ст}$
1	2	0,84-0,87	4	0,66-0,72
	3	0,76-0,80	6	0,58-0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52-0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44-0,50
	15	0,51-0,56	40	0,38-0,44
	20	0,47-0,50	60	0,36-0,42

Продолжение таблицы 4

2	2	0,90-0,92	4	0,76-0,80
	3	0,85-0,88	6	0,71-0,75
	5	0,79-0,83	10	0,66-0,71
	10	0,72-0,77	20	0,61-0,66
	15	0,66-0,75	40	0,55-0,61
	20	0,65-0,70	60	0,52-0,58
3	2	0,93-0,95	4	0,84-0,86
	3	0,90-0,92	6	0,78-0,82
	5	0,85-0,88	10	0,74-0,75
	10	0,79-0,83	20	0,68-0,73
	15	0,76-0,80	40	0,64-0,69
	20	0,74-0,79	60	0,62-0,67

Рассчитывается сопротивление растеканию тока соединительной полосы по формулам (19, 20) для горизонтально расположенного одиночного заземлителя на поверхности земли или заглубленного (см. схему в табл. 2, приложение Г).

Проводится корректировка сопротивления растеканию тока полосы очага заземления с учетом коэффициентов и сезонности по формуле

$$R_{н.оч} = \frac{R_n \eta_{сез}}{\eta_n}, \quad (3.10)$$

где η_n – коэффициент использования полосы (таблица 5).

Результирующее сопротивление заземляющего устройства из вертикальных стержней и соединительной полосы находят из выражения

$$R_{общ} = \frac{R_{ст.оч} \cdot R_{н.оч}}{R_{ст.оч} + R_{н.оч}}, \quad (3.11)$$

Таблица 5 – Коэффициент использования соединительной полосы

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число труб (уголков) заземлителя						
	4	8	10	20	30	50	60
При расположении полосы в ряду труб или уголков							
1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,20
2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,27
3	0,92	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,36
При расположении полосы по контуру труб (уголков)							
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,27
3	0,70	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,36

Пример 6. Рассчитайте количество заземлителей в контуре заземления, выполненном в суглинистом грунте. Сопротивление растекания тока с контура заземления должно быть менее 10 Ом. Удельное сопротивление грунта равно 4000 Ом·см.

В наличии имеются металлические диаметром $d = 5$ см, длиной $l = 250$ см, и металлическая полоса шириной $b = 5$ см, а глубина заложения труб $t_0 = 80$ см.

Решение: Схема размещения заземлителя приведена на рисунке 12.

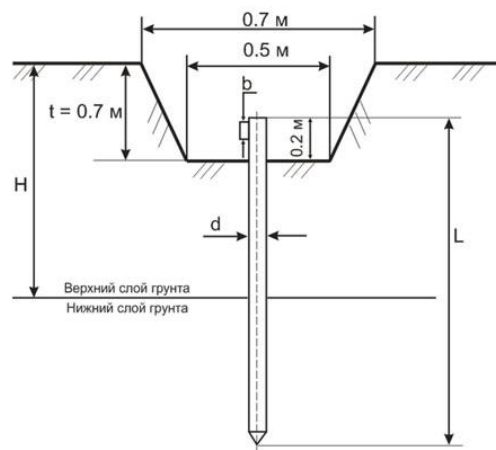


Рисунок 12 – Схема размещения одиночного заземлителя

Так как заземлители заглублены, то сопротивление одиночного заземлителя рассчитывается по формуле (3.4)

$$R_{oz} = \frac{4000}{2 \cdot 3,14 \cdot 250} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 250}{5} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 205 + 250}{4 \cdot 205 - 250} \right) = 11,9 \text{ Ом}$$

Количество стержней в контуре заземления определим по формуле (3.7), приняв коэффициент сезонности $\eta_{сез} = 1,6$; допустимое сопротивление $R_d = 4$ Ом; коэффициент экранирования $\eta_{ст} = 1$

$$n = \frac{11,9 \cdot 1,6}{4 \cdot 1} = 5 \text{ шт}$$

Сопротивление соединительной полосы определим, в зависимости от схемы размещения по формуле (3.6), предварительно рассчитав длину полосы по формуле (3.9)

$$l = 1,05 \cdot 2,5 \cdot 5 = 13,1 \text{ м}$$

$$R_{оз} = \frac{4000}{2 \cdot 3,14 \cdot 13,1} \ln \frac{13,1^2}{5 \cdot 82,5} = 6,4 \text{ Ом}$$

Сопротивление очага заземления определим по формуле (3.11)

$$R_{общ} = \frac{11,9 \cdot 6,4}{11,9 + 6,4} = 4,1 \text{ Ом}$$

Вывод. Заземляющий контур, состоящий из 5 стержней и соединительной полосы, имеет сопротивление 4,1 Ом.

3.3 Расчет защитного зануления

Условие надежного срабатывания защиты

$$I_{кз} = \kappa \cdot I_n, \quad (3.12)$$

где $I_{кз}$ – ток короткого замыкания, А;

I_n – номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автомата, А (приложение Д);

κ – коэффициент кратности защиты ($\kappa = 3$ – для плавких предохранителей; $\kappa = 1,25 \dots 1,4$ – для автоматов защиты; $\kappa = 4$ – для взрывоопасных помещений).

Активное сопротивление фазного и нулевого проводов определяют по формуле, задавшись сечением, длиной, материалом проводников

$$R_{ф,н} = \rho_{пр} \cdot \frac{l}{S}, \quad (3.13)$$

где l – длина провода, м;

S – сечение провода, мм²;

$\rho_{пр}$ – удельное сопротивление проводника, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

($\rho_{пр}=0,018$ - для медных проводников, $\rho_{пр}=0,028$ - для алюминия).

Диаметры голых стальных проводов, используемых для зануления, могут быть меньше, чем заземляющих проводников, но нулевые и фазные провода должны быть одинаковыми.

Для стальных проводов воздушных линий до 1000В допускается диаметр не менее 4мм, а на ответвлениях для ввода в дом не менее 3мм. В качестве зануляющих могут применяться проводники и из цветных металлов. Наименьшие допустимые их сечения указаны в таблице 6.

Таблица 6 – Наименьшее сечение зануляющих проводников

Зануляющие проводники	Медь, мм ²	Алюминий, мм ²
Неизолированные проводники при открытой проводке	4	6
Изолированные провода	1,5	2,5
Жилы кабелей или многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами	1	1,5

Зануляющие проводники должны иметь проводимость не менее 50% от проводимости фазных (а не 1/3 как для заземляющих). Тонкостенные стальные трубы, используемые в качестве зануляющего проводника, могут иметь нужную проводимость лишь при диаметрах 18-30 мм.

Сопротивление петли “фаза-ноль” ($Z_n = Z_\phi + Z_n$) определяют по формуле

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + X_n^2}, \quad (3.14)$$

где R_ϕ R_n – активное сопротивление фазного и нулевого проводов, Ом;

X_n – реактивное сопротивление петли “фаза-ноль”, Ом.

Если провода выполнены из цветных металлов, индуктивным сопротивлением можно пренебречь, ввиду его малой величины.

При отдельно проложенных нулевых проводах принимают $X_n = 0,6$ Ом на 1 км длины провода.

Для стальных проводов значения X_n определяется по таблице 7.

Таблица 7 - Активные/индуктивные сопротивления стальных проводников ($f = 50$ Гц)

Размер или диаметр, мм	Площадь сечения, мм	Активные и индуктивные сопротивления, Ом/км, при плотности тока, А/мм ²			
		0,5	1	1,5	2
Полоса прямоугольного сечения					
20×4	80	5,24/3,14	4,2/2,52	3,48/2,09	2,97/1,78
30×4	120	3,66/2,2	2,91/2,75	2,38/1,43	2,04/1,22
40×4	160	2,8/1,68	2,24/1,34	1,81/1,08	1,54/0,92
50×4	200	1,77/1,06	1,34/0,8	1,08/0,65	-
60×4	240	3,83/2,03	2,56/1,54	2,08/1,025	-
30×5	150	2,1/1,26	1,6/0,96	1,28/0,77	-
50×5	250	2,02/1,33	1,51/0,89	1,15/0,7	-
Проводник круглого сечения					
5	19,63	17/10,2	14,4/8,65	12,4/7,45	10,7/6,4
6	28,27	13,7/8,2	11,2/6,7	9,4/5,65	8/4,8
8	50,27	9,6/5,75	7,5/4,5	6,4/3,84	5,3/3,2
10	78,54	7,2/4,32	5,4/3,24	4,2/2,52	-
12	113,1	5,6/3,36	4/2,4	-	-
14	150,9	4,55/2,73	3,2/1,92	-	-
16	201,1	3,72/2,23	2,7/1,6	-	-

Расчетное значение тока короткого замыкания находят по формуле

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_{\phi} + Z_n}, \quad (3.15)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В; $U_{\phi} = 220\text{В}$;

Z_T – сопротивление обмоток трансформатора, Ом (таблица 8);

Z_{ϕ}, Z_n – сопротивление фазного и нулевого проводов, Ом, ($Z_{\phi} + Z_n = Z_n$)

Таблица 8 - Сопротивление силовых трансформаторов для однофазного замыкания

Мощность трансформатора, кВт	Активное сопротивление, R_T , Ом	Индуктивное сопротивление, X_T , Ом	Полное сопротивление, Z_T , Ом
25	0,652	0,81	1,036
40	0,376	0,53	0,649
63	0,202	0,358	0,411
100	0,106	0,237	0,259
160	0,061	0,150	0,162
250	0,038	0,096	0,103
400	0,022	0,061	0,065
630	0,012	0,041	0,0427
1000	0,0077	0,026	0,0271

При мощности трансформатора 1000 кВ·А и более величиной $Z_T/3$ пренебрегают.

По ожидаемому значению тока короткого замыкания из таблицы 9 (или таблицы 1 Приложения Д) подбираем предохранитель с номинальным током плавкой вставки таким образом, чтобы соблюдалось условие надежного срабатывания (3.12).

Таблица 9 - Значение I_n стандартных предохранителей для сетей напряжением 220 и 380В

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки I_n , А	Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки I_n , А
НПИ 15	6;10;15	ПН2-400	200;250;300;350;400
НПН 60М	20;25;35;45;60		
ПН2-100	30; 40;50;60;80;100	ПН2-600	300;400;500;600;
ПН-250	80;100;120;150;200;250	ПН2-1000	500;600;750;800;1000

Напряжение на корпусах зануленного оборудования относительно земли определяют по формуле

$$U_{зо} = I_{кз} \cdot R_n, \quad (3.16)$$

где R_n - сопротивление нулевого провода, Ом

Рассчитывают напряжение прикосновения на зануленном оборудовании по формуле

$$U_{пр} = I_{кз} \cdot R_n \cdot \frac{R_{пз}}{R_3 + R_{пз}} \quad (3.17)$$

где $R_{пз}$ – сопротивление повторного заземления, Ом;

R_3 – сопротивление рабочего заземления, Ом.

Повторное заземление нулевого провода выполняется для повышения безопасности. Согласно правилам устройства электроустановок(ПУЭ) сопротивление заземления нейтрали и всех повторных заземлений нулевого провода должно быть не более 8; 4; 2 Ом соответственно при линейных напряжениях 220, 380 и 660 В источника трехфазного тока или 127, 220, 380 В источника од-

нофазного тока. Расчеты рабочего и повторного заземления выполняются аналогично расчетам защитных заземлений электроустановок.

Напряжение зануленных корпусов при обрыве нулевого провода снизится до значения

$$U_n = I_3 \cdot R_{nz} = U_\phi \frac{R_{nz}}{R_0 + R_{nz}} \quad (3.18)$$

где R_{nz} - сопротивление повторного заземления, Ом;

R_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

Если сопротивление повторного заземления и сопротивление нулевого провода равны $R_{nz} = R_n$, то корпуса, присоединенные к нулевому проводу как до, так и после места обрыва, будут иметь одинаковое напряжение

$$U_n = U_0 = 0,5 U_\phi \quad (3.19)$$

Пример 7. Определить эффективность зануления, если защита электроустановки выполнена предохранителем с током плавкой вставки 25 А.

Сопротивление петли «фаза-нуль» равно 4 Ом.

Решение. Ток замыкания для надежного срабатывания защиты должен в 3 раза превышать ток плавкой вставки – это значит $I_{зам} = 3 \cdot 25 = 75$ А.

Определим ток замыкания для нашего случая по формуле

$$I_{кз} = \frac{U_\phi}{R_0 + R_3} = \frac{220}{4 + 4} = 27,5 \text{ А}$$

где U_ϕ – фазное напряжение, В; $U_\phi = 220$ В;

R_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом;

R_3 – сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, Ом

Вывод. Предохранитель с током плавкой вставки 25 А не сработает.

Пример 8. Воздушная линия, питающая ферму, выполнена проводом марки А-35, Нулевой провод имеет то же сечение и ту же марку, что и фазные провода. Расстояние от подстанции до фермы 0,5 км. На подстанции установлен трансформатор ТМ-100 мощностью 100 кВ·А. Определить ток однофазного короткого замыкания при замыкании фазного провода сети 380/220 В на корпус электродвигателя вакуумного насоса. Переходным сопротивлением в месте короткого замыкания пренебречь.

Решение. Активное сопротивление проводов R_n сечением S_n , равным 35 мм^2 , длиной 1000 м при удельном сопротивлении проводника $\rho_{np} = 0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, определенное по формуле (3.13), составит

$$R_{\phi,н} = 0,028 \cdot \frac{1000}{35} = 0,79 \text{ Ом}$$

Реактивное сопротивление составит 0,6 Ом.

Определим полное сопротивление петли «фаза-нуль» по формуле (3.14)

$$Z_n = \sqrt{0,79^2 + 0,6^2} = 1,06 \text{ Ом}$$

Сопротивление обмотки питающего трансформатора определим по таблице 8. Для трансформатора мощностью 100 кВ·А $Z_T = 0,259 \text{ Ом}$.

Ток однофазного короткого замыкания рассчитаем по формуле (3.15)

$$I_{кз} = \frac{220}{\frac{0,259}{3} + 1,06} = 191,9 \text{ А}$$

Вывод. Ток короткого замыкания равен 192 А.

Пример 9. В сети напряжением 380/220 В часть электроустановок заземлена через заземляющее устройство, не имеющее соединения с нулевым прово-

дом, а часть занулена (в нарушение ПУЭ). Сопротивление заземляющего устройства, не соединенного с нулевым проводом R_z составляет 2 Ом. Общее сопротивление заземляющего устройства на подстанции и повторного заземления R составляет 3 Ом. Сопротивление обмотки питающего трансформатора ($Z_T/3$) типа ТМ-100 равно 0,358 Ом. Полное сопротивление фазного провода Z_ϕ составляет 0,5 Ом. Пренебрежём переходным сопротивлением в месте замыкания пренебречь. Определить напряжение между корпусами зануленных электроустановок и землей.

Решение. Ток замыкания на землю рассчитаем по формуле (3.13)

$$I_{кз} = \frac{220}{0,358 + 0,5 + 2 + 3} = 37,5 \text{ A}$$

Напряжение на заземляющем устройстве при таком токе будет равно

$$U_z = 37,5 \cdot 3 = 112 \text{ В}$$

Вывод. Если пренебречь сопротивлением пола и обуви, то человек окажется под напряжением 112 В, что представляет опасность для жизни.

3.4 Расчет и выбор плавких вставок

Пусковой ток электродвигателя (А) определяют по формуле

$$I_n = \frac{\kappa \cdot P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_\partial \cdot \cos \varphi} \quad (3.20)$$

где P – мощность двигателя, кВт;

κ – коэффициент кратности пускового тока (для трехфазных двигателей переменного тока $\kappa = 5 \dots 7$);

U_n – линейное напряжение электросети, В;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности (можно принять $\cos \varphi = 0,8$);

η_∂ – к.п.д. электродвигателя (определяется по паспорту).

Ток предохранителей I_n (А) рассчитывают по формуле

$$I_n = \frac{I_n}{2,5} \quad (3.21)$$

Условие надежного срабатывания защиты представлено выражением (25).

Расчетное значение тока короткого замыкания находят по формуле

$$I_{кз} = \frac{U_l}{\sqrt{3}(R_\phi + R_n)}, \quad (3.22)$$

где U_l – линейное напряжение, В;

R_ϕ – сопротивление провода фазы при длине от трансформатора до места замыкания, Ом;

R_n – сопротивление нулевого провода той же длины, Ом.

По току короткого замыкания выбирается предохранитель с током плавкой вставки таким образом, чтобы выполнялось условие надежного срабатывания, определяемого по формуле (3.12).

3.5 Применение малых напряжений

Правила технической эксплуатации (ПТЭ) и правила техники безопасности (ПТБ) устанавливают ограничения напряжения ручных токоприемников для помещений различных категорий.

Для помещений особо опасных:

- ручной инструмент - напряжение 42 В;
- переносные светильники - напряжение 12 В;
- шахтерские лампы - напряжение 2,5 В.

Для помещений с повышенной опасностью:

- ручной инструмент - напряжение 42 В;

- светильники - напряжение 42 В.

При невозможности применять напряжение 42 В ПТБ разрешает использовать электроинструмент на $U = 220$ В при наличии устройства защитного отключения или надежного заземления корпуса электроинструмента с обязательным использованием защитных средств (перчатки, коврики).

В качестве источников малых напряжений используются трансформаторы. Для уменьшения опасности при переходе высшего напряжения в сеть низшего вторичная обмотка трансформатора заземляется. Применение автотрансформаторов в качестве источников малого напряжения для питания переносного электроинструмента запрещается.

4 Средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током

Средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током представлены на рисунке 13.



Рисунок 13 - Средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током

Изолирующие защитные средства по степени надежности делятся на основные и дополнительные. Основными считаются те, которые допускают непосредственное прикосновение ими к токоведущим частям под напряжением. Дополнительные служат только дополнительной гарантией на случай поврежде-

ния основных или появления напряжения на частях установки, нормально не находящихся под напряжением.

Основные изолирующие защитные средства — это рассчитанные на соответствующее напряжение штанги для операций под напряжением, наложения заземляющих проводников и измерений, изолирующие клещи для установки и снятия предохранителей, изолирующие вышки и некоторые другие приспособления для ремонта линий под напряжением.

Дополнительные изолирующие защитные средства — это диэлектрические подставки, диэлектрические резиновые коврики, диэлектрические боты и галоши, которые изготавливаются из специальной резины без лакового покрытия, а также диэлектрические сапоги, которые изготавливаются по ТУ-38-108 и в сельских условиях используются вместо галош. В установках напряжением до 1000В к основным изолирующим защитным средствам относятся еще и диэлектрические перчатки, а также монтерский инструмент с изолированными рукоятками. В установках напряжением выше 1000В перчатки - лишь дополнительное средство.

Изолирующие защитные средства, а также указатели напряжения при приемке в эксплуатацию испытываются напряжением, а при эксплуатации подвергаются периодическому испытанию и осмотру в установленные сроки (Приложение Е).

Диэлектрические перчатки, галоши, боты и инструмент испытывают повышенным напряжением в специальных установках. Для испытания защитные изделия погружают в ванну с водой. Уровень воды снаружи и внутри должен быть на 5 см ниже верхнего края перчаток или верхнего отворота бот, а для галош уровень воды не должен доходить до верхнего края на 2 см.

После окончания испытания напряжение снижают, трансформатор отключают и заземляют, а изделия высушивают и ставят клеймо, в котором указывают порядковый номер изделия по журналу регистрации испытаний, допустимое напряжение для работы и дату испытания.

Задачи

1. Заземление электрооборудования в линии электропередач с глухозаземленной нейтралью выполнено с грубым нарушением ПУЭ: часть оборудования занулена, часть - заземлена. Сопротивление нулевой точки трансформатора равно сопротивлению заземления зануленного оборудования и равно 4 Ом. Линейное напряжение в сети равно 380 В, сопротивлением фазного и нулевого провода пренебрегаем. Рассчитайте величину тока, протекающего через человека, прикоснувшегося к зануленному оборудованию при пробое изоляции заземленного оборудования, если известно, что сопротивление человека 1000 Ом. Оцените степень опасности.

2. В момент включения ПЭВМ бухгалтер была поражена электрическим током вследствие пробоя фазы на корпус. Определите ток через человека и оцените опасность поражения при условиях: а) человек стоит на деревянном полу; б) в момент включения касается трубы отопления. Сопротивление тела человека 1000 Ом, сопротивление обуви 50000 Ом, пола 100000 Ом.

3. Дать заключение об опасности поражения электрическим током при касании к электрической установке с пробоем изоляции на корпусе, если человек: стоит на земле; стоит на деревянном полу; одновременно касается трубы отопления. Сопротивление тела человека - 1000 Ом, пола- 10^5 , обуви - $6 \cdot 10^4$ Ом.

4. Произошел обрыв на землю высоковольтного провода, ток замыкания равен 6А. Человек находится в поле растекания потенциалов на расстоянии 1 м от упавшего провода. Ширина шага 0,8 м, грунт - супесь. Найти напряжение шага и оценить опасность поражения.

5. Работница прикоснулась к ножу рубильника при включении электроустановки. Напряжение в сети 200/380 В. Нейтраль сети заземлена, сопротивление заземления $R_3 = 18$ Ом. Сопротивление тела человека $R_ч = 1500$ Ом, обуви $R_о = 350$ Ом, пола $R_п = 80$ Ом. Определить величину напряжения прикосновения и оценить опасность поражения.

6. Определить, сработает ли предохранитель с номинальным током плавкой

вставки 35А, если сопротивление заземления нейтрали и сопротивление защитного заземления равны 4 Ом.

7. Найти сопротивление одиночного заземлителя, количество заземлителей, длину соединительной полосы, сопротивление заземляющего контура, если в наличие имеются стержни диаметром 5 см, длиной 2 м, полоса шириной 6 см, расстояние между стержнями 2.5 м. Допустимое сопротивление принять равным 10 Ом.

8. Определить сопротивление вертикального одиночного заземлителя, выполненного из угловой стали 50-50-5 мм, длиной 3 м, забитого вровень с поверхностью земли. Удельное электрическое сопротивление грунта составляет 40 Ом · м (глина). Грунт средней влажности.

9. Определить сопротивление вертикального одиночного заземлителя, выполненного из угловой стали 50x50x5 мм, длиной 3 м, заземлитель забит в грунт на глубину от поверхности земли до верхнего конца заземлителя 0,8 м.

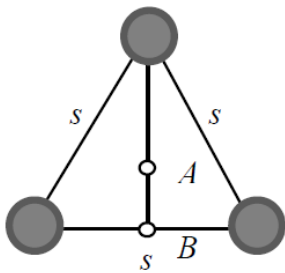
10. Определить необходимое количество уголков n для выполнения заземляющего устройства (при расположении заземлителей в ряд) сопротивлением $R_3 = 4$ Ом. Заземлитель выполнен из угловой стали 50x50x5 мм, длиной 3 м, забит в грунт на глубину от поверхности земли до верхнего конца заземлителя 0,8 м.

11. Определить сопротивление заземляющего устройства. Заземлители выполнены из угловой стали 50x50x5 мм, длиной 3 м и приварены к соединительной полосе с поперечным сечением 40x4 мм ($B = 40$ мм = 0,04 м), проложенной в грунте от поверхности земли до середины ширины полосы на глубине $t = 0,5$ м.

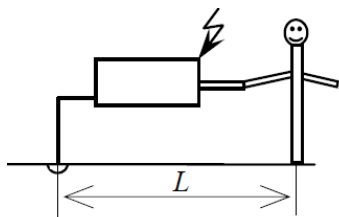
12. Рассчитать повторное заземление у конца воздушной линии напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью. Мощность питающего трансформатора – 100 кВА, грунт – чернозем; климатическая зона – III.

13. Определите шаговое напряжение для человека, находящегося в зоне растекания тока от трёх одиночных электродов. Человек касается грунта в точках А и В. Токи, стекающие в землю: $I_1 = 20$ А; $I_2 = 20$ А; $I_3 = 10$ А. Удельное сопротивление грунта $\rho = 200$ Ом·м. Радиусы полушаровых электродов: $r_1 = 10$

см; $r_2 = 10$ см; $r_3 = 20$ см. Расстояние между электродами $s = 3$ м. Расстояние между А и В составляет 0,8 м.



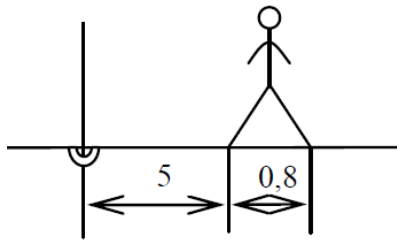
14. Определить напряжение прикосновения для человека, касающегося корпуса электрооборудования деревянным брусом. Удельное погонное сопротивление бруска $10\ 500$ Ом/м; длина бруска 2 м. Корпус заземлён полушаровым заземлителем радиусом $r = 25$ см. Удельное сопротивление грунта составляет 40 Ом·м; ток замыкания равен 25 А; $L = 4$ м.



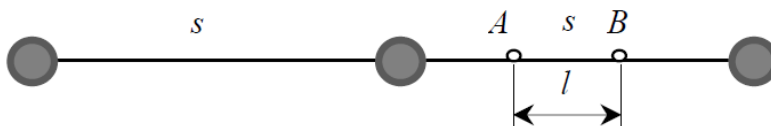
15. Определите, обеспечивает ли заземляющее устройство из 12 заземлителей соблюдение норм безопасности, если суммарная мощность заземляемого оборудования составляет 140 кВт, сопротивление одиночного заземлителя 36 Ом, коэффициент использования группового заземлителя $0,79$.

16. Определить сопротивление группового заземлителя, состоящего из 17 одинаковых электродов, если сопротивление одного заземлителя равно 41 Ом, а коэффициенты использования для 10 и 20 электродов равны $0,81$ и $0,65$ соответственно.

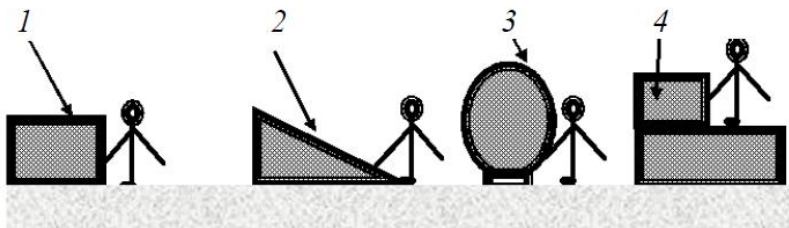
17. Определите напряжение шага, если потенциал заземлителя равен 14 В, радиус полушарового заземлителя – 22 см.



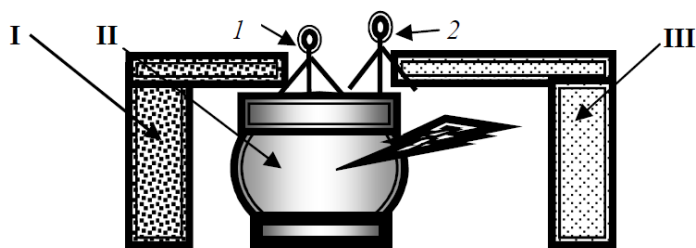
18. Определите шаговое напряжение для человека, находящегося в зоне растекания тока от трёх одиночных заземлителей. Человек касается грунта в точках А и В. Токи, стекающие в землю: $I_1 = 25$ А; $I_2 = 35$ А; $I_3 = 45$ А. Удельное сопротивление грунта $\rho = 200$ Ом·м. Радиусы полушаровых электродов: $r_1 = 20$ см; $r_2 = 20$ см; $r_3 = 20$ см. Расстояние между электродами $s = 3$ м. Расстояние $l = 1$ м. Расстояние между А и В составляет 0,8 м.



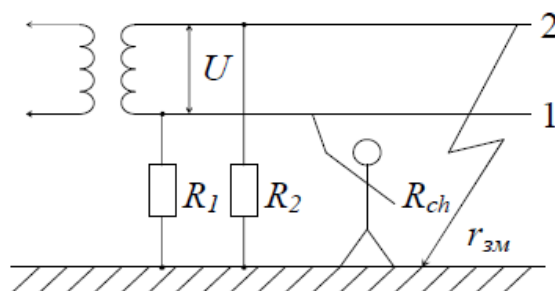
19. Оценить опасность работы на оборудовании изображённых форм при возможном пробое изоляции и появлении напряжения относительно земли на корпусе устройства. Покажите графически разность потенциалов, приложенную к каждому работающему. Выявить наиболее опасную в этом отношении форму устройства. Все установки имеют металлический корпус и контактируют с грунтом всем своим основанием. Проводимость грунта принять одинаковой во всех случаях.



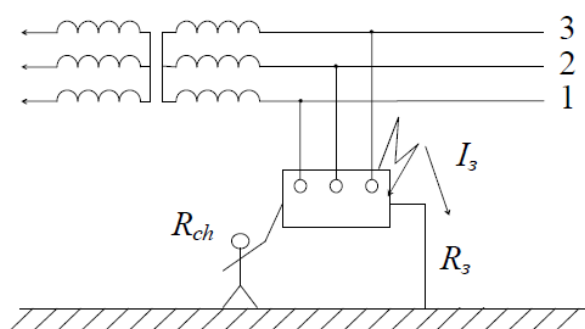
20. Оценить опасность работы на оборудовании изображённых форм при возможном пробое изоляции и появлении напряжения относительно земли на корпусе II устройства. Покажите графически разность потенциалов, приложенную к каждому работающему. Все установки имеют металлический корпус и контактируют с грунтом всем своим основанием. Проводимость грунта принять одинаковой во всех случаях.



21. Произвести оценку опасности электропоражения человека, оказавшегося в указанной ситуации. $R_1 = R_2 = R = 200 \text{ кОм}$; $r_{3M} = 100 \text{ Ом}$; $U = 220 \text{ В}$. Человек стоит на влажном песчаном грунте в обуви с кожаной подошвой.



22. Рассчитать ток, проходящий через человека, стоящего на мокром полу в обуви с кожомитовой подошвой и касающегося заземленного корпуса установки, находящейся в аварийном режиме. Установка питается трехфазным напряжением от сети с изолированной нейтралью. Сделать вывод относительно опасности такого прикосновения. $U = 380/220 \text{ В}$.



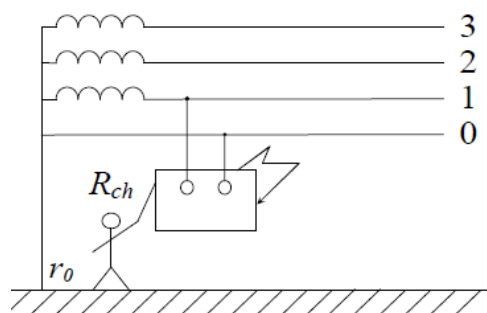
23. Сравнить опасность электропоражения персонала при прикосновении к поврежденной (пробой фазы на корпус) заземленной электроустановке при питании ее от трёхфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью и от трёхфазной сети с изолированной нейтралью при следующих условиях: напряжение в сети $U = 380/220 \text{ В}$, сопротивление заземления нейтрали $r_0 = 4 \text{ Ом}$, сопротивление изоляции фазных проводов по отношению к земле $R = 500 \text{ кОм}$, сопротивление заземления установки $R_3 = 4 \text{ Ом}$. Сделать вывод об эффективно-

сти защитного заземления в сетях с различным режимом нейтрали заземленной и изолированной от земли.

24. Подобрать типовое реле в УЗО, работающем на токе замыкания на землю, и используемое для обеспечения электробезопасности персонала в установке, питающейся от трёхфазной четырёхпроводной сети с заземлённой нейтралью.

25. Определить вероятность возникновения электротравмы в указанных условиях:

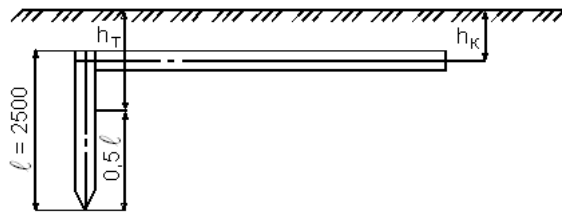
$U = 380/220$ В, человек стоит на влажном бетонном полу в обуви с кожаной подошвой. Помещение сырое.



26. Определить необходимость проектирования искусственного заземлителя заземляющего устройства, если известно, что для защитного заземления можно использовать железобетонный фундамент корпуса размерами 5×10 м, в котором будет эксплуатироваться установка, питающаяся от трехфазной сети с изолированной нейтралью. $U = 220/127$ В;

$P_c = 100$ кВ·А; мощность установки $N_y \approx 5$ кВт. Известно, что верхний слой грунта, с которым контактирует фундамент – пористый известняк толщиной 1,5 м; нижний слой состоит из мела.

27. Определить сопротивление растеканию сложного заземления, состоящего из вертикальных стержневых заземлителей и горизонтальной полосы, соединяющей их в контур. Их размеры и размещение в земле показаны на рисунке, $R_{доп} = 4$ Ом.



28. Рассчитать величину тока, проходящего через тело человека при однополюсном прикосновении к сети. Исходные данные: напряжение $U_{\phi} = 220$ В; сопротивление фазы «А» $r_A = 10$ кОм, сопротивление фазы «В» $r_B = 100$ кОм; сопротивление фазы «С» $r_C = 1$ МОм; сопротивление тела человека $R_h = 1$ кОм.

Оценить опасность прикосновения человека к сети, если отпускающее значение тока $I_h = 6$ мА.

Литература

1. Лумисте Е.Г. Безопасность жизнедеятельности в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов. Брянск: Изд-во БГСХА, 2010. 535 с.
2. Панов М.В., Миненко А.А. Электрический ток .Ч. 1. Постоянный ток: электронная версия сб. контрольных заданий. Брянск: Изд-во БГСХА, 2013.
3. Панова Т.В., Агеенко Л.В., Осипенко В.В. Электробезопасность: учебно-методические указания по выполнению лабораторных работ. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2015. 85 с.
4. Панова Т.В., Агеенко Л.В. Контроль сопротивления заземления электроустройств: методические указания к лабораторной работе. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2015. 9 с.
5. Панова Т.В., Агеенко Л.В. Контроль сопротивления изоляции электроустройств: методические указания к лабораторной работе. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2015. 10 с.
6. Панова Т.В., Панов М.В. Основы электробезопасности: рабочая тетрадь для выполнения лабораторных работ. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. 47 с.
7. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е., Лавров В.И. Основы энергетики, энергосбережения и электробезопасности. Брянск: Изд-во БГСХА, 2012. 319 с.
8. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е., Буззуб Ю.В. Безопасность жизнедеятельности: электронная версия учеб. пособия для студентов вузов по напр.: «Техносферная безопасность», «Агроинженерия», «Наземные транспортно-технологические комплексы», «Технология продукции и организации общественного питания» (квалификация «бакалавр»). Брянск : Изд-во БГСХА, 2014.

Таблица 1 - Пороговые значения электрического тока

Термин	Определение	Величина тока, мА
Порог ощущения	Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм ощутимые раздражения	0,5-1,5
Неотпускающий ток	Электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые, судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник	10-15
Фибрилляционный ток	Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм человека фибрилляцию сердца (судорожные сокращения без полного толчка)	50-80
Смертельный ток	Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм человека смерть	100 и более

Таблица 2 - Допустимые параметры электрического тока и величина сопротивления человека

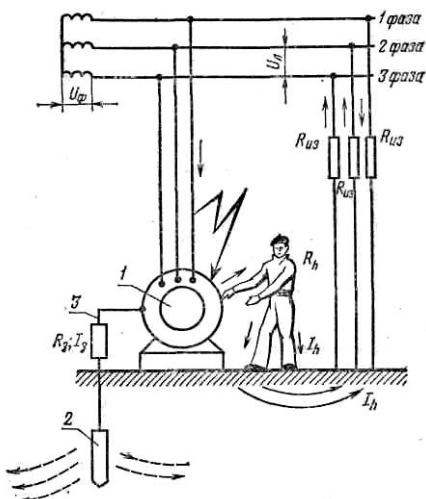
Параметр	Длительность воздействия, с						
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	1-30	Более 30
Допустимый ток, мА	500	250	100	75	65	9,6	2
Допустимое напряжение прикосновения, В	500	250	100	75	65	24	9
Сопротивления тела человека, Ом	1000	1000	1000	1000	1000	2650	4500

Таблица 3 - Предельно допустимые уровни напряжения и токи (извлечение из ГОСТ 12.1.038)

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни (не более) при продолжительности воздействия тока, с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	свыше 1,0
Переменный, 50 Гц	U, В I, мА	650	500	250	165	125	100	85	70	55	55	50	36 6
Переменный, 400 Гц	U, В I, мА	650	500	500	330	250	200	170	140	110	100	100	36 8
Постоянный	U, В I, мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40 15

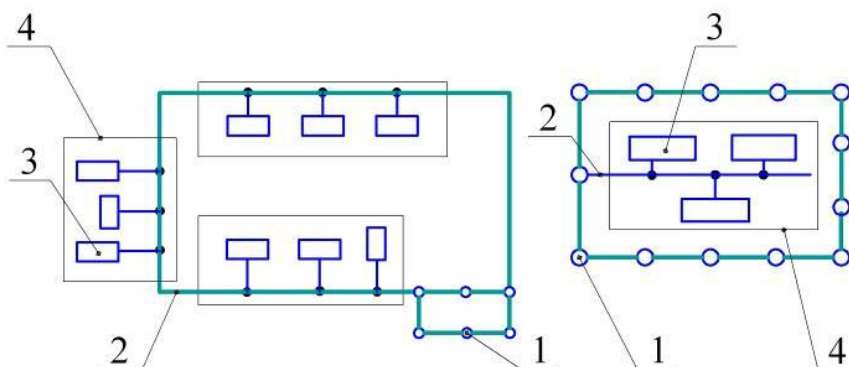
Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током





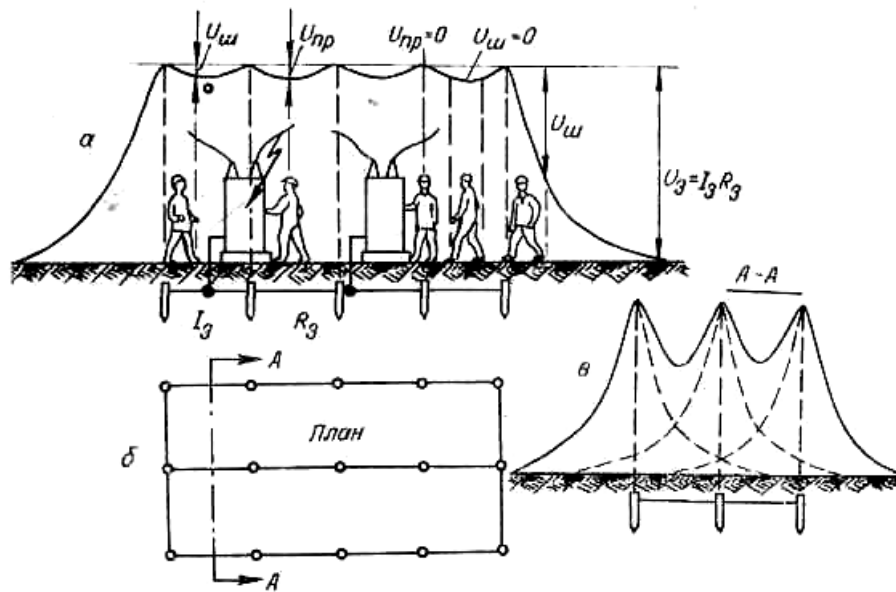
- 1 - корпус электроустановки; 2 - заземлитель;
- 3 - промежуточные проводники заземляющего устройства

Рисунок 1 - Принципиальная схема защитного заземления:



- 1 – заземлители; 2 – заземляющие проводники; 3 – заземляемое оборудование; 4 – производственное здание

Рисунок 2 – Выносное заземление



а - кривая распределения потенциалов при замыкании фазного провода на заземлители; б - схема контурного заземления в плане; в - кривая распределения потенциалов в направлении А-А,
 $U_{ш}$ - напряжение шага; U_{np} - напряжение прикосновения; U_3 - полное напряжение на заземлителе

Рисунок 3 - Контурное заземление

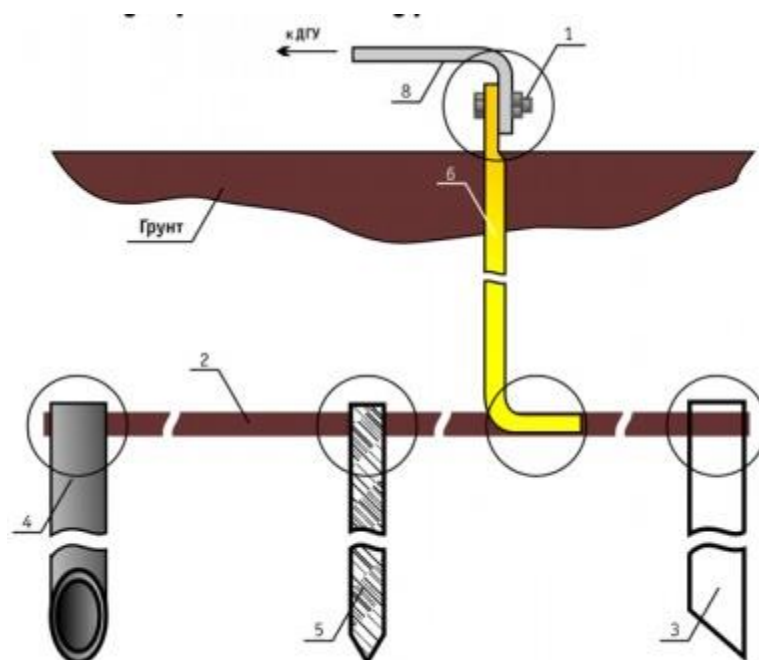
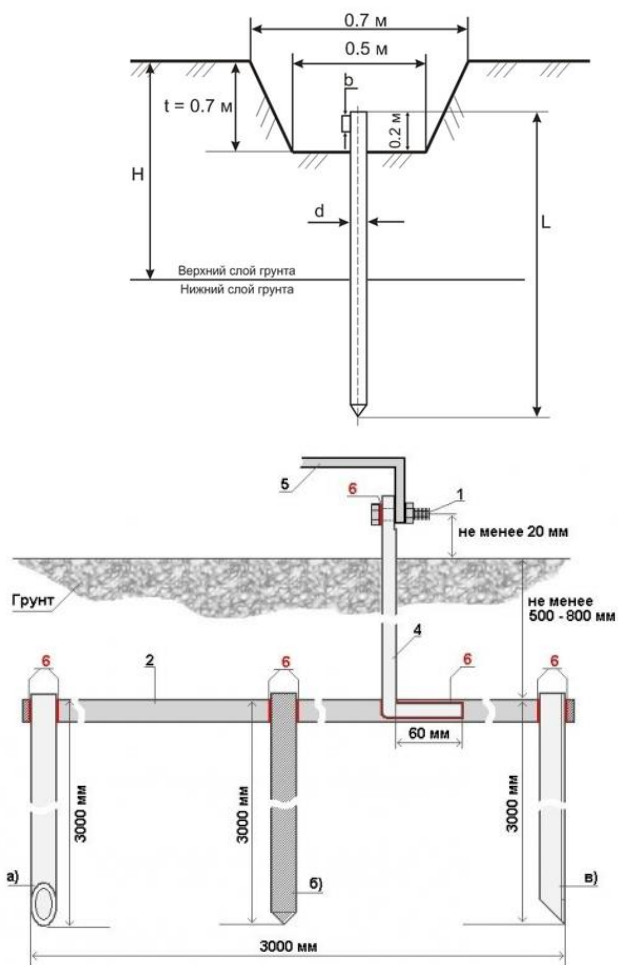
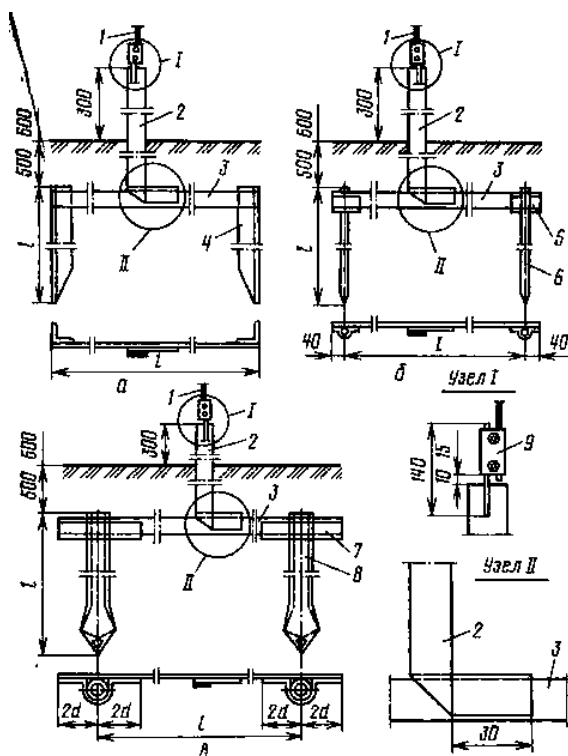


Рисунок 4 – Устройство контура заземления



1 - стержневой электрод; 2 - полосовой электрод

Рисунок 5 - Типовое расположение электродов в грунте



а - заземлитель из уголковой стали; б - заземлитель из стержней;

в - заземлитель из труб;

1 - заземляющий спуск; 2 - заземляющий проводник; 3 - заземляющая полоса

4x40 (СтЗ); 4 - заземлитель из уголка; 5 - скоба для приваривания стержня;

б - заземлитель из стержня; 7 - скоба для приваривания трубы;

8. - заземлитель из трубы; 9 - плашечный зажим

Рисунок 6 - Устройство заземлителей

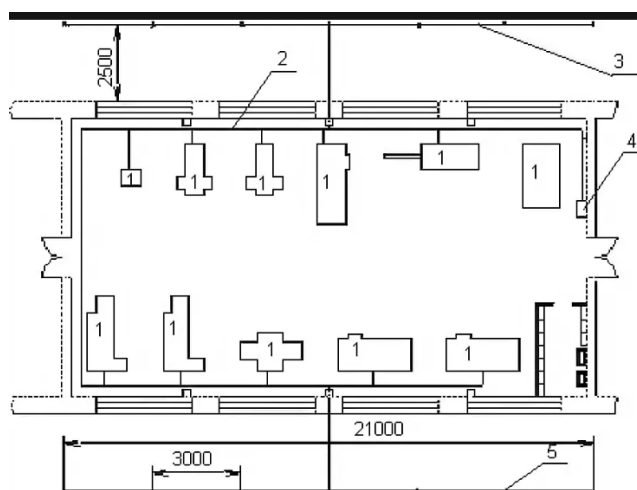
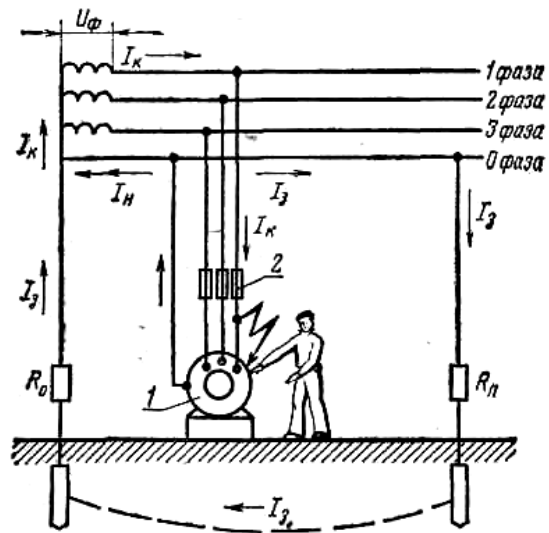


Рисунок 7 - Компоновка оборудования и схема заземляющего устройства



I - корпус электроустановки; 2 - аппараты защиты от токов короткого замыкания (плавкие предохранители, автоматы и т. п.)

R_0 - сопротивление заземления нейтрали источника тока; R_n - сопротивление повторного заземления нулевого провода; I_k - ток короткого замыкания

Рисунок 8 - Принципиальная схема действия защитного зануления

Таблица 1 - Сопротивления защитных заземлителей в электрических установках

Характеристика установок	Допустимое сопротивление заземлителей $R_{\text{д}}$, Ом
Установки напряжением выше 1000 В. Защитное заземление в установках с большими токами замыкания на землю ($I_3 > 500$ А)	$R_{\text{д}} \leq 0,5$
Заземляющее устройство одновременно используется для установок напряжением до и выше 1000 В ($I_3 < 500$ А)	$R_{\text{д}} = \frac{125}{I_3} \leq 4$
Заземляющее устройство используется только для установок выше 1000 В и током замыкания на землю $I_3 < 500$ А	$R_{\text{д}} = \frac{250}{I_3} \leq 10$
Электроустановки напряжением 380 / 220 В	$R_{\text{д}} \leq 4$

Таблица 2 - Формулы для расчета заземлителей

Тип заземлителя	Схема	Формула	Дополнительные указания
Трубчатый или стержневой у поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg d$
Трубчатый или стержневой в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{5H-l}$	$H_0 > 0,5 \text{ м}$
Протяженный круглого сечения — труба, кабель и т. п. — на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$p \ll d$
Протяженный круглого сечения в грунте		$R = \frac{\rho}{3\pi l} \ln \frac{l^2}{dH}$	$\frac{l}{H} \gg 5$
Протяженный полосовой на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{4l}{b}$	$l \gg b$
Протяженный — полоса в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bH}$	$\frac{l}{H} \gg 5$
Круглая пластина в грунте		$R = \frac{\rho}{4D} \left(1 + \frac{2}{\pi} \times \arcsin \frac{D}{\sqrt{16H^2 + D^2}} \right)$	$D < 2H$

Технические характеристики предохранителей

Исполнение и назначение предохранителей	Тип	Напряжение сети переменного тока, В	Ток патрона, А	Номинальный ток плавкой вставки $I_{н в}$, А
Быстродействующий предохранитель, патрон с наполнителем	ПМБ5-660/100	660	100	63; 100
	ПМБ5-660/250	660	250	160; 250
	ПМБ5-380/630	380	630	500; 630
	ПМБ5-380/400	380	400	315; 400
	ПМБ5-380/250	380	250	160; 250
	ПМБ5-380/100	380	100	40; 63
	ПМБ5-220/100	220	100	25; 40; 63
Предохранители с патроном и наполнителем V	ПД-1; ПДС-1	380	6	1; 2; 4; 6
	ПД-2; ПДС-2	380	20	10; 15; 20 1
	ПД-3; ПДС-3	380	60	25; 35; 60
	ПД-4; ПДС-4	380	125	80; 100; 125
	ПД-5; ПДС-5	380	225	160; 200; 225
	ПД-6; ПДС-6	380	350	260; 300; 350
	ПД-7	380	600	430; 500; 600
Предохранители с закрытым патроном и наполнителем	ПН2-100	380; 220	100	30; 40; 50; 60; 80; 100
	ПН22250	380; 220	250	80; 100; 120; 150; 200; 250
	ПН2-400	380; 220	400	200; 250; 300; 350; 400
	ПН2-600	380; 220	600	300; 400; 500; 600

Защитные средства и периодичность их испытаний

Защитные средства	Напряжение электроустановки, кВ	Срок периодических	
		испытаний	осмотров
Изолирующая штанга (кроме измерительной)	Ниже 110	1 раз в год	1 раз в год
Измерительная штанга	Ниже 110	1 раз в 3мес., но не реже 1 раза в год	-
Изолирующие клещи	1-35	1 раз в 2 года	1 раз в год
Токоизмерительные клещи	до 10	То же	1 раз в 6 мес.
Указатель напряжения (изолирующая часть)	Ниже 110	То же	То же
Указатель напряжения (собственно указатель)	До 220	То же	То же
Указатель напряжения (токоискатель)	До 500	1 раз в 2 года	Перед использованием
Трубки для фазировки	До 10	1 раза в год	1 раз в 6 мес.
Изолирующие средства ремонтных работ под напряжением	Ниже 110	1 раз в 6 мес.	То же
Инструмент с изолирующими ручками	До 1	1 раза в год	То же
Перчатки резиновые диэлектрические	До или выше 1	1 раз в 6 мес.	То же
Боты резиновые диэлектрические	Для всех напряжений	1 раз в 3 года	1 раз в 6 мес.
Галоши резиновые диэлектрические	До 1	1 раза в год	То же
Коврик резиновый диэлектрический	До 1 или выше 1	1 раз в 2 года	1 раза в год
Изолирующая подставка	До 1	-	1 раз в 2 года
Изолирующая жёсткая накладка	До 10	1 раза в год	1 раза в год
Изолирующая резиновая накладка	До 1	1 раз в 3 года	То же
Колпак диэлектрический резиновый	До 10	То же	То же
Предохранительный пояс	-	1 раз в 6 мес.	-
Страховочный канат	-	То же	-

Учебное издание

Панова Татьяна Васильевна
Панов Максим Владимирович

Основы электробезопасности

Методические указания для выполнения практических работ
для студентов всех направлений подготовки (бакалавриат)

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 31.05.2018 г. Формат 60x84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. 3,49. Тираж 25 экз. Изд. № 6046.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ