

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Севастопольский государственный университет

Кафедра «Техносферная безопасность»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

на выполнение контрольной работы
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»
для студентов очной и заочной форм обучения
направлений подготовки 12.03.01-Приборостроение,
13.03.02-Электроэнергетика и электротехника

Севастополь

2015

Методические указания на выполнение контрольных заданий по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 12.03.01-Приборостроение, 13.03.02-Электроэнергетика и электротехника / Разраб. Каширцев В. Г., Никитин А. А. – Севастополь: Изд-во Севастопольского государственного университета, 2015. -32 с.

Методические указания разработаны с целью оказания помощи различным формам обучаемых и студентам указанных направлений подготовки при выполнении практических, лабораторных и самостоятельных работ, а также при подготовке раздела дипломного проектирования «Безопасность жизнедеятельности».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Техносферная безопасность» СевГУ.

Протокол № 1 от 28 августа 2015 г.

Рецензенты: к.т.н., доцент кафедры «Техносферная безопасность» Шустецкий И. В.

© Каширцев В.Г.,
Никитин А.А.

© Севастопольский
государственный
университет, 2015 год

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	3
Цель работы	4
1. Введение.....	4
1. Действие электрического тока на организм человека	6
2. Анализ опасности прикосновения к токоведущим частям	14
2. Задачи по электробезопасности с указаниями к их решению.....	18
6. Контрольные вопросы	29
6. Библиографический список.....	31

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: овладеть обучающимися на практике основным инструментом регулирования нормативами качества окружающей среды с помощью норматива предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

1. ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение приоритета сохранения здоровья и жизни работников по отношению к любым другим результатам трудовой деятельности – один из главных общечеловеческих принципов, который соответствует:

- Всеобщей декларации прав человека;
- Международному пакту об экономических, социальных и культурных правах;
- Декларациям и Конвенциям Международной Организации Труда;
- Международным обязательствам РФ, принятым в рамках ОБСЕ;
- Конвенции Содружества Независимых Государств о правах и основных свободах человека;
- Конституции РФ.

Закрепление этого принципа в Трудовом Кодексе РФ выдвигает на первое место в ряду обязанностей работодателей и других организаторов производства обязанность обеспечивать нормальные и безопасные условия труда его участникам. Правовым регулированием условий безопасной жизнедеятельности является принятие федеральных законов и иных нормативных правовых актов РФ, законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ об охране труда в условиях производства и в непроизводственной сфере [1, 2].

Безопасная и безаварийная эксплуатация систем электроснабжения и потребителей электроэнергии требует от работников предприятий, организаций, граждан неукоснительного соблюдения правил электробезопасности и норм в производстве и в быту.

Известно, что электротравмы в среднем составляют 3% от общего числа травм, однако уровень смертельных исходов от электротравм высок – 12–13% от общего числа смертельных случаев. Статистика электротравматизма в России показывает, что количество смертельных случаев от электротравм составляет 8,8 человек на 1 млн. жителей страны в год.

К наиболее неблагоприятным отраслям относятся:

- легкая промышленность (электротравматизм составляет 17 % от общего числа смертельных случаев);
- электротехническая промышленность (14 %);
- химическая промышленность (13 %);
- строительство (40 %);
- сельское хозяйство (40 %);
- в быту (40 %).

Причиной такого положения является комплекс проблем: возросшее потребление электроэнергии промышленными предприятиями и в бытовой сфере, недостаточный уровень обучения и подготовки персонала в области электробезопасности, многочисленные нарушения правил и норм технической эксплуатации электрооборудования, слабая пропаганда знаний электробезопасности среди населения.

Необходимо так организовать эксплуатацию электроустановок, чтобы была исключена всякая возможность ошибок и нарушений со

стороны обслуживающего персонала [3, 4]. Высокая техническая грамотность персонала, а также строгое соблюдение дисциплины, неукоснительное выполнение требований инструкций по безопасности являются основой организации безопасной эксплуатации электроустановок [5].

Эффективным может быть только один путь предупреждения электротравматизма – воспитание осознанного отношения к вопросам электробезопасности на основе понимания сути физических процессов.

В методических указаниях представлен теоретический материал по электробезопасности и практические задания для решения студентами с целью практического усвоения вопросов электробезопасности.

1. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Широкое использование электроэнергии во всех отраслях хозяйства, в том числе и в быту, привело к тому, что практически любой человек связан с эксплуатацией электроустановок.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [6] *электроустановками* называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Лица, связанные с электроустановками должны знать причины поражения электрическим током, а также защиту от поражения [7].

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту

людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического поля и статического электричества.

Нарушение требований электробезопасности приводит к электротравмам. *Электротравма* – это травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Возникновение электротравмы может быть связано [8]:

- с однофазным (однополюсным) прикосновением не изолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- с одновременным прикосновением человека к двум токоведущим неизолированным частям (фазам, полюсам) электроустановок, находящихся под напряжением;
- с приближением на опасное расстояние человека, не изолированного от земли, к токоведущим, не защищённым изоляцией, частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- с приближением человека, не изолированного от земли, к металлическим корпусам электрооборудования, оказавшегося под напряжением;
- с включением человека, находящегося в зоне растекания тока замыкания на землю, на «напряжение шага»;
- с действием атмосферного электричества при грозовых разрядах;
- с действием электрической дуги;
- с освобождением человека, находящегося под напряжением.

Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электрическое, механическое и биологическое действие.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высоких температур кровеносных сосудов и лимфатических узлов, нервных окончаний, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути тока, вызывая в них функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока является особым специфическим процессом и выражается в электролитическом разложении органических жидкостей, в том числе крови, что сопровождается значительными нарушениями их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в возникновении значительного давления в кровеносных сосудах и тканях организма при испарении крови и другой жидкости, а также в смещении и механическом напряжении их под влиянием электродинамических сил. При этом могут произойти тяжелые повреждения различных тканей и сосудов.

Биологическое действие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме.

Эти действия электрического тока могут приводить к различным электротравмам, которые делят на *местные* и *общие*.

К местным относят электрические ожоги и знаки (метки), металлизацию кожи, механические повреждения, электроофтальмию (воспаление наружных оболочек глаза).

К общим электротравмам относится электрический удар, при котором поражается весь организм из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока и электрической дуги зависит от: рода и величины напряжения и тока; частоты электрического тока; пути тока через тело человека; продолжительности воздействия электрического тока; условий внешней среды.

Перечисленные факторы влияют на электрическое сопротивление тела человека.

Электрическое сопротивление человека можно представить состоящим из трёх последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений R_k наружного слоя кожи (эпидермиса) и одного, называемого внутренним сопротивлением тела R_b . Эквивалентная схема сопротивления человека имеет вид:

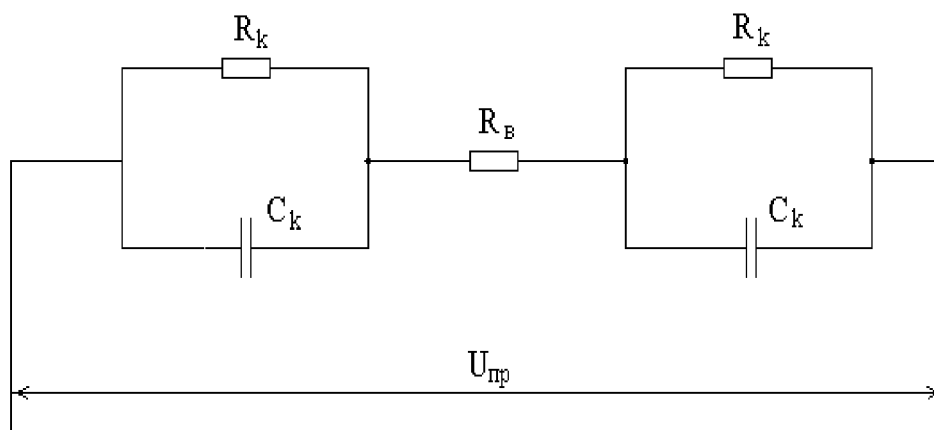


Рисунок 1. Полная схема электрического сопротивления тела человека

Сопротивление кожи состоит из активного R_k и емкостного $1/\omega C_k$ сопротивлений. Емкость кожи C_k обусловлена роговым слоем эпидермиса толщиной около 0,01 мм. При малой ёмкости C_k полное сопротивление человека будет активным, что можно принимать в практических расчётах.

Сопротивление человека резко уменьшается при увлажнении и загрязнении кожи или её повреждении. Оно зависит также от места приложения электродов к телу человека.

Влияние места приложения электродов обусловлено различной толщиной рогового слоя на различных участках.

С повышением напряжения, приложенного к телу человека $U_{\text{ч}}$, возможен пробой рогового слоя кожи (от напряжения 50 В и выше), что приводит к уменьшению сопротивления человека.

С увеличением тока, проходящего через тело человека $I_{\text{ч}}$, усиливается местный нагрев кожи, что повышает потоотделение и уменьшает сопротивление кожи.

Сопротивление человека зависит от рода и частоты тока [9]. При переменном токе оно меньше, чем при постоянном, так как создаётся ёмкость, обусловленная образовавшимся конденсатором между электродами, приложенными к телу человека. Разница сопротивлений особенно велика при малых напряжениях (до 5...10 В). С увеличением напряжения эта разница уменьшается и, начиная с 40...50 В, сопротивление постоянному и переменному (50 Гц) току становится практически одинаковым.

Степень опасности зависит также от пути прохождения тока через тело человека. Наиболее опасный путь – это путь через жизненно важные органы: сердце, лёгкие, спинной мозг и т. д.

При увеличении продолжительности воздействия электрического тока электрическое сопротивление человека уменьшается вследствие усиления кровоснабжения участков кожи под электродами, потоотделения и т. п.

На степень опасности поражения влияют индивидуальные свойства человека. Повышенной восприимчивостью к электрическому току обладают лица, страдающие рядом заболеваний, в первую очередь, болезнями кожи, сердечно-сосудистой и нервной системы, лёгких и др.

Условия среды также влияют на сопротивление человека, а, следовательно, на степень поражения электрическим током.

Согласно ПУЭ помещения разделяются на: сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные (с токопроводящей и не токопроводящей пылью); с химически активной или органической средой. Во всех помещениях, кроме сухих, сопротивление человека уменьшается.

В отношении опасности поражения электрическим током помещения разделяются на три категории [10]:

- 1 категория – помещения с повышенной опасностью;
- 2 категория – особо опасные помещения;
- 3 категория – помещения без повышенной опасности.

Опасность воздействия электрического тока оценивается по ответным реакциям организма. Электрический ток, вызывающий соответствующую ответную реакцию, подразделяется на осязательный, неотпускающий и фибрилляционный.

Осязательный ток. Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм осязательные раздражения называется осязательным. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него малого тока: в среднем около 1,1 мА при переменном токе частотой 50 Гц и около 6 мА при постоянном токе. Это воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и пощипыванием, а при постоянном токе – ощущением нагрева кожи на участке, касающемся токоведущей части.

Неотпускающий ток. Электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник, называется неотпускающим. При постоянном токе неотпускающих токов нет, но в момент отрыва ощущается боль. Ток, при котором человек может самостоятельно оторвать руки от электродов принят за порог неотпускающих токов и составляет примерно 50-80 мА.

Фибрилляционный ток. Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца, называется фибрилляционным, а наименьшее его значение – пороговым фибрилляционным током.

Фибрилляция сердца – это хаотическое разновременное сокращение волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам.

При частоте 50 Гц фибрилляционными являются токи в пределах от 50 мА до 5 А, а среднее значение порогового фибрилляционного тока примерно 100 мА. При постоянном токе средним значением порогового фибрилляционного тока можно считать 300 мА, а верхним пределом – 5 А.

Ответная реакция организма человека на ощутимый, неотпускающий и фибрилляционный токи представлена в таблице 1.

Таблица 1. Поражающее действие тока различных значений

Степень воздействия	Сила тока, мА	Поражающее действие электрического тока	
		Переменный ток частотой 50-60 Гц	Постоянный ток
Ощутимый ток	2 - 3	Сильное дрожание пальцев	Не ощущается
	5 - 10	Судороги рук, других мышц	Зуд, ощущение нагрева
	12-15	Сильные боли в руках. Руки трудно оторвать от токоведущих частей. Состояние терпимо 5 – 10 секунд	Усиление ощущения нагрева
Неотпускающий ток	20-50	Руки парализуются, оторвать их от токоведущих частей невозможно. Сильные боли в мышцах. Дыхание затрудняется. Состояние терпимо не более 5 с	Усиление нагрева, незначительные сокращения мышц рук
Фибрилляционный (смертельный) ток	50-80	Паралич дыхания	Сильный нагрев. Сокращение мышц рук. Судороги. Затруднение дыхания
	90-100	Паралич дыхания. При контакте более 3 с – паралич сердца	Паралич дыхания
	300 и более	Паралич дыхания и сердца при контакте более 1 с	Поражение дыхания и сердца при контакте более 1 с

2. АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПРИКОСНОВЕНИЯ К ТОКОВЕДУЩИМ ЧАСТЯМ

Степень опасности прикосновения человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, зависит от вида прикосновения и вида электрической сети. Прикосновения могут быть одно- и двухфазными в трёхфазных сетях, а также одно- и двухполюсными в однофазных сетях.

Двухфазные и двухполюсные прикосновения опасны, так как человек оказывается под номинальным напряжением источника электроэнергии. Значение тока, проходящего через человека, будет:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{ч}}} \quad (1)$$

где $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение источника, В;

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

Согласно ПУЭ в Российской Федерации при напряжении до 1000 В применяются трёхфазные сети:

- трёхпроводная с изолированной нейтралью;
- четырёхпроводная с заземлённой нейтралью.

Степень опасности и возможность поражения электротоком зависят от условий включения в сеть.

Рассмотрим случаи подключения человека к сети постоянного и однофазного тока и к сети трёхфазного тока.

1. Самым опасным является прикосновение человека к двум различным фазам, находящимся под напряжением. Человек оказывается

включенным на полное линейное напряжение в сети и сила тока, проходящего через человека, определится:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}}} \quad (2)$$

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

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

При двухфазном прикосновении ток, проходящий через человека, практически не зависит от режима нейтрали сети. Следовательно, двухфазное прикосновение является одинаково опасным как в сети с изолированной, так и с заземленной нейтралью (при равенстве линейных напряжений этих сетей).

2. При одновременном соприкосновении человека с линейным и нулевым проводом имеет место однофазное включение. Опасность поражения током в этом случае, по сравнению с линейным, в 1,73 меньше и определяется уравнением

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}} = \frac{U_{\text{ф}}}{\sqrt{3}R_{\text{ч}}} \quad (3)$$

Оба случая опасны и потому, что ток проходит по кратчайшему пути через руки и жизненно важные органы человека, парализуя их работу. Следует отметить, что прикосновение человека двумя руками к разным проводам происходит редко, чаще одной рукой, т.е. при однофазном включении.

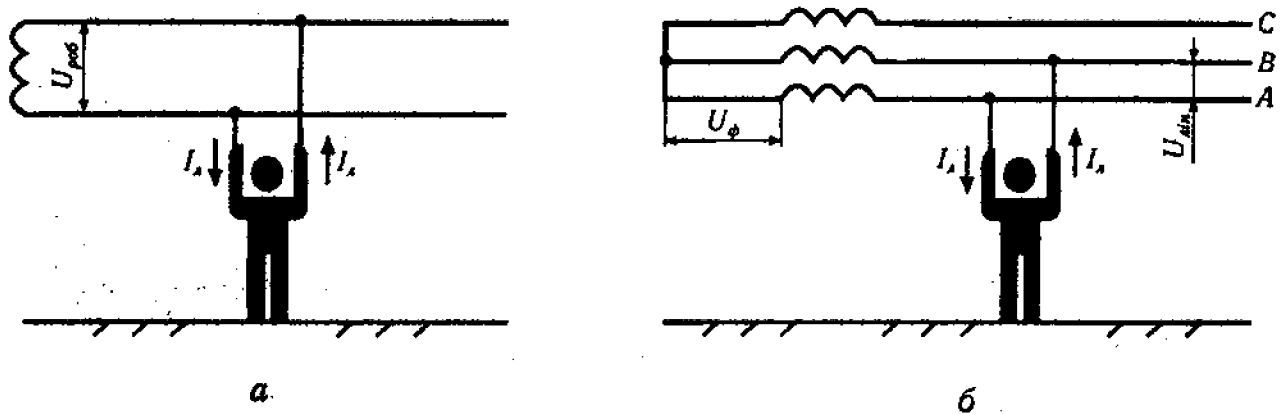


Рисунок 2. Схема двухфазного включения:
а- сети постоянного и однофазного тока;
б- сети трехфазного тока

3. При однополюсном прикосновении к двухпроводной сети величина тока, проходящего через человека

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{п}} + R_{\text{об}}} \quad (4)$$

где, $R_{\text{п}}$ - сопротивление изоляции пола, Ом;

$R_{\text{об}}$ - сопротивление изоляции обуви, Ом.

4. При однофазном (однополюсном) прикосновении в сети с глухозаземленной нейтралью через тело человека пройдет ток

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_0 + R_{\text{п}} + R_{\text{об}}}, \quad (5)$$

где, R_0 - сопротивление заземления нейтрали, Ом

Сопротивление заземления нейтрали ничтожно мало и им можно пренебречь $R_0 = 0$, поэтому

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}}}, \quad (6)$$

т.к. U_{ϕ} меньше $U_{\text{л}}$ в $\sqrt{3}$, то величина тока поражения будет значительно меньше, чем при двухфазном включении и зависит от величины сопротивления пола и обуви.

5. При однофазном включении человека в трехфазную сеть с изолированной нейтралью величина тока, проходящего через человека, будет меньше, чем при аналогичном включении в сети с глухозаземленной нейтралью (при исправной сети). Это связано с тем, что добавляется сопротивление изоляции (R_A ; R_B ; R_C) и емкости фаз (C_A ; C_B ; C_C).

Если пренебречь емкостным сопротивлением, т.е. $C_A=C_B=C_C=0$, то

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + \frac{R_{\text{и}}}{3}}, \quad (7)$$

где, $R_{\text{и}}$ - сопротивление изоляции одной фазы, Ом, $R_U = R_A = R_B = R_C$, а при $R_{\text{п}} = R_{\text{об}} = 0$

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + \frac{R_{\text{и}}}{3}}. \quad (8)$$

В случае заземления нейтрали через человека пройдет меньший ток, так как сила тока существенно зависит от состояния изоляции, подбора полов в помещениях, где установлена электроаппаратура, спецобуви и т. д. Например, сухие полы имеют сопротивление до $1 \cdot 10^6$ Ом.

Из сравнения приведенных выше формул видно, что ток, проходящий через человека, при условиях, соответствующих формулам (3) и (4), будет меньше, так как при однофазном включении ток не проходит через жизненно важные органы.

Рассмотрены условия поражения человека при нормальной работе электросети [11]. В случае аварийных режимов (замыкания корпуса или одной из фаз на землю) ток, который проходит через тело человека при соприкосновении с исправной фазой определяется

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{к}}}, \quad (9)$$

где, $R_{\text{к}}$ - сопротивление короткого замыкания, Ом.

R_k весьма мало и им можно пренебречь, тогда ток через человека будет

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}}}, \quad (10)$$

т.е. ток через человека практически равен току при двухфазном включении в электрическую цепь, что очень опасно для человека.

В сетях с глухозаземленной нейтралью срабатывает защита при возникновении короткого замыкания [11].

Поэтому, можно сделать следующие выводы:

- в условиях малой протяженности сети и сохранения постоянного высокого сопротивления изоляции, малой вероятности замыкания на землю сети с изолированной нейтралью менее опасны, чем с глухозаземленной;

- в условиях разветвленной сети с глухозаземленной нейтралью большой протяженности, когда нет возможности поддерживать постоянно высокий уровень изоляции сети, а при большом количестве потребителей не исключено возникновение замыкания на корпус, сети с глухозаземленной нейтралью имеют преимущество, заключающееся в отсутствии влияния сопротивления сети относительно земли (активного емкостного) на ток поражения и автоматическом отключении участка с поврежденной изоляцией при замыкании на корпус.

2. ЗАДАЧИ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ С УКАЗАНИЯМИ К ИЗ РЕШЕНИЮ

Варианты решаемых задач выбираются по последней и предпоследней цифре номера зачётной книжки студента. Для задач с чётными номерами вариант выбирается по последней цифре шифра, а для нечётных номеров по предпоследней.

Задача 1. Определение силы тока, протекающего через тело человека, в сети с изолированной нейтралью в момент замыкания одной из фаз на оборудование.

В сети с изолированной нейтралью (рис.3) находящейся в исправном состоянии, обладающей большим сопротивлением и напряжением $U_{\phi} = 220$ В, проходящий через тело человека сопротивлением $R_{\text{ч}} = 1000$ Ом, ток $I_{\text{ч}}$ возвращается через землю и изоляцию проводов сети $R_{\text{и}}$ к источнику тока.

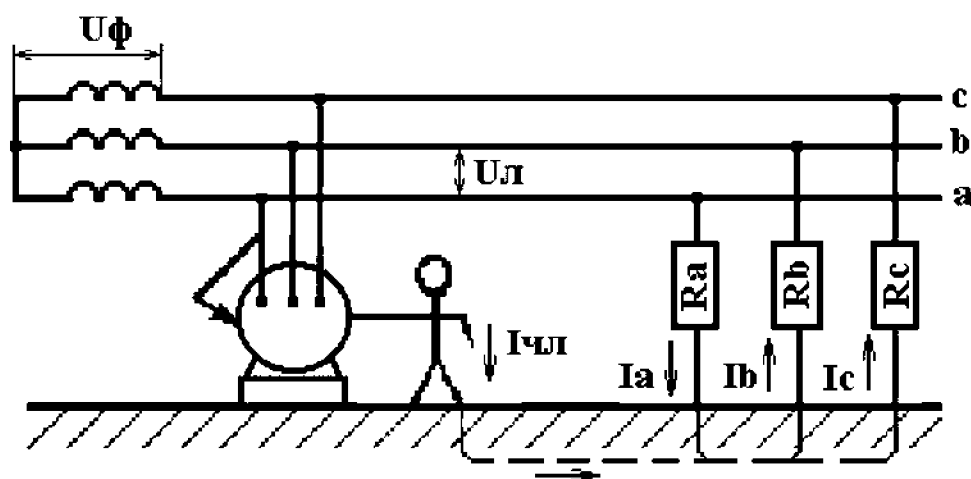


Рисунок 3. Однофазное включение человека в трехфазную сеть с изолированной нейтралью

где a, b, c – фазы;

U_{ϕ} – фазное напряжение;

$U_{\text{л}}$ – линейное напряжение;

$I_{\text{ч}}$ – ток, протекающий через тело человека;

I_a, I_b, I_c – токи, стекающие на землю через сопротивления изоляции фазы (токи утечки);

R_a, R_b, R_c – сопротивления изоляции фаз a, b, c относительно земли;

Определите степень поражения человека электрическим током $I_{\text{ч}}$ при заданных значениях параметров электрической сети и условий включения человека в сеть (табл.2).

$R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, кОм;

$R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, кОм;

$R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции одной фазы относительно земли, кОм.

Постройте график $I_{\text{ч}} = f(R_{\text{из}})$ и сделайте выводы.

Таблица 2

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{\text{об}}$	0	45	0	4	0	50	0	40	0	45
$R_{\text{п}}$	0	100	0	80	100	0	0	60	9	100
$R_{\text{из}}$	90	45	30	90	30	90	10	20	500	500

Указания к решению задачи 1.

Для данного случая подключения человека к сети с изолированной нейтралью в момент замыкания одной из фаз на оборудование ток через человека может быть определён по формуле:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{\left(R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + \frac{R_{\text{из}}}{3}\right)}$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, т.е. напряжение между началом и концом одной обмотки (или между фазным и нулевым проводом в случае глухозаземленной нейтрали), В;

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

$R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом;

$R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом;

$R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции одной фазы относительно земли, Ом.

Задача 2. Определение силы тока, протекающего через тело человека, в сети с глухозаземленной нейтралью.

В сети с глухозаземленной нейтралью напряжением $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ (рис.4) цепь тока, проходящего через человека, помимо сопротивлений тела человека, его обуви и пола, на котором он стоит, включает и сопротивление заземления нейтрали источника тока. Сопротивление заземления нейтрали в соответствии Правилами устройства электроустановок $R_0 \leq 10 \text{ Ом}$, что значительно меньше сопротивления тела человека $R_{\text{ч}} = 1000 \text{ Ом}$

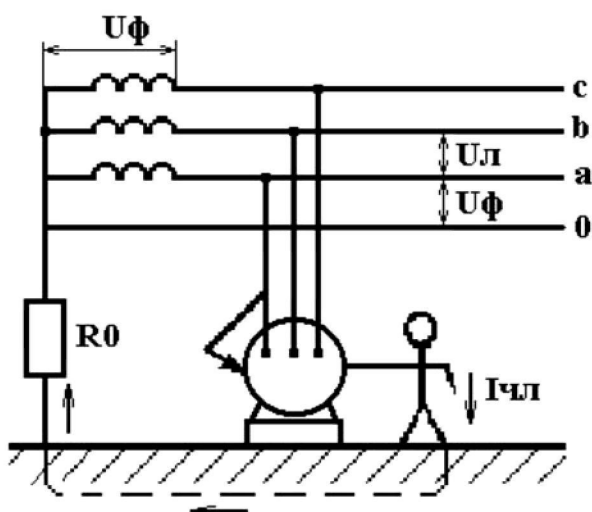


Рисунок 4. Однофазное включение человека в трехфазную сеть с глухозаземленной нейтралью: 0 – нулевой провод; R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника тока, Ом

На рисунке. 4 обозначен пробой фазы а на корпус.

Определить степень поражения человека электрическим током $I_{\text{чл}}$ при заданных значениях параметров электрической сети и условий включения человека в сеть (табл.3). Выяснить, в каких вариантах заданного тока для человека смертелен.

Таблица 3

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{\text{об}}$	0	45	45	0	25	50	0	100	30	0
$R_{\text{п}}$	0	100	0	100	100	50	50	0	0	70
R_0	10	0	0	10	0	10	0	10	10	1000

$R_{об}$ – сопротивление обуви, кОм;

$R_{п}$ – сопротивление пола, кОм.

Указания к решению задачи 2

В этом случае $I_{чл}$ определяется по формуле:

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч} + R_{об} + R_{п} + R_0},$$

где R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника тока, Ом;

$R_{ч}$ – сопротивление тела человека, Ом;

$R_{об}$ – сопротивление обуви, Ом;

$R_{п}$ – сопротивление пола, Ом.

Задача 3. Определение силы тока, проходящего через тело человека, в сетях с различным режимом нейтрали при прикосновении человека к корпусу электроустановки при наличии защитного заземления.

Для электрических сетей напряжением $U_{\phi} = 220$ В с различным режимом нейтрали (рис. 5 а,б) в случае пробоя фазы а на корпус электроустановки определить степень поражения человека электрическим током $I_{ч}$ при заданных значениях параметров электрической сети и условий включения человека в сеть (табл.4). Задачу решить отдельно для сети с глухозаземленной нейтралью и изолированной.

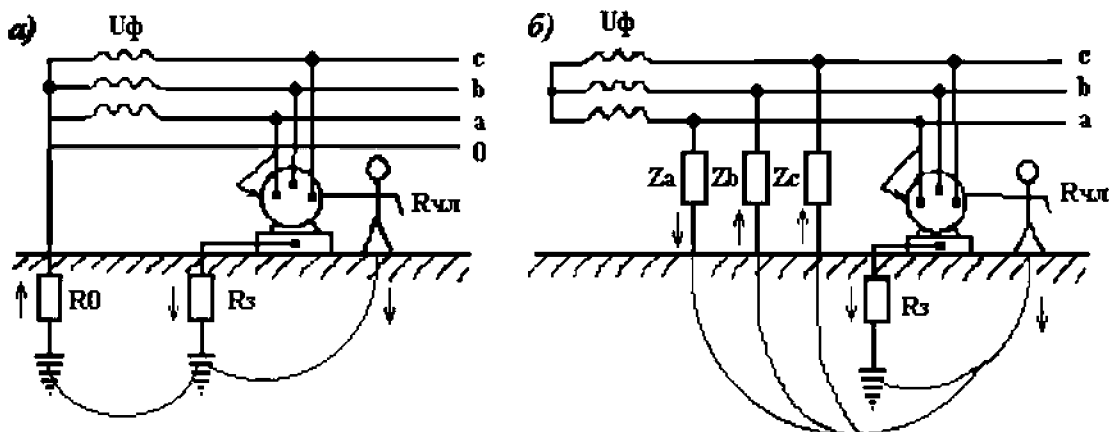


Рис. 5. Схема защитного заземления в сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной (а) и изолированной (б) нейтралью

R_3 – сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека (1000 Ом),

Z_i – полное сопротивление одной фазы относительно земли.

Согласно требованиям ГОСТ 12.1.030-81 сопротивление заземляющего устройства нормируют, оно не должно превышать в любое время года значений: 10 Ом – в стационарных сетях пожароопасных помещений с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В; 4 Ом – в стационарных сетях взрывоопасных помещений, в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В.

Таблица 4

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_3	4	45	100	4	40	50	4	1000	50	4
$R_{\text{из}}$	100	90	200	100	150	50	10	450	500	90
R_0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100

$R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции одной фазы относительно земли, кОм;

R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника тока, Ом.

Примечание: Для сети с глухозаземлённой нейтралью принять $R_{\text{из}} = 0$, для сети с изолированной нейтралью $R_0 = 0$.

Указания к решению задачи 3.

1. Электрическая сеть с заземленной нейтралью.

Эквивалентная схема

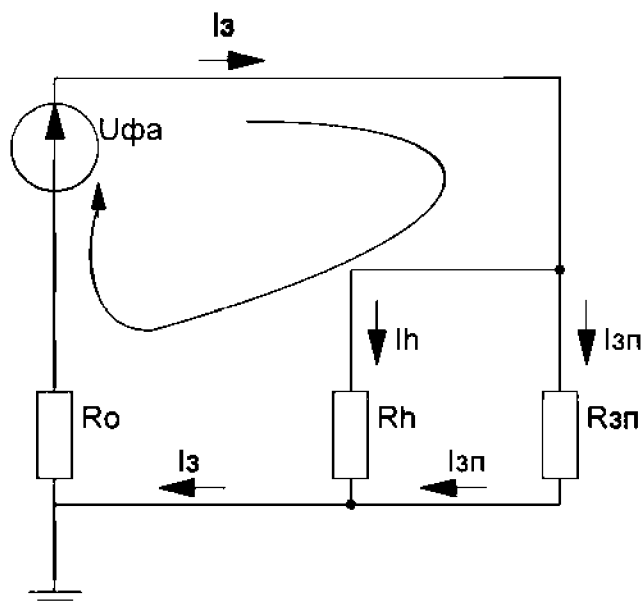


Рис. 6. Схема замещения сети с заземленной нейтралью

Согласно первому и второму законам Кирхгофа, составим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} I_3 &= I_h + I_{3n} \\ U_{\phi a} &= I_{3n} R_3 + I_3 R_0 \\ U_{\phi a} &= I_h R_h + I_3 R_0 \\ I_h R_h &= I_{3n} R_3 \end{aligned}$$

После преобразований системы уравнений окончательно получим:

$$I_q = \frac{U_{\phi} R_3}{R_q(R_0 + R_3) + R_0 R_3},$$

2. Электрическая сеть с изолированной нейтралью.

Эквивалентная схема

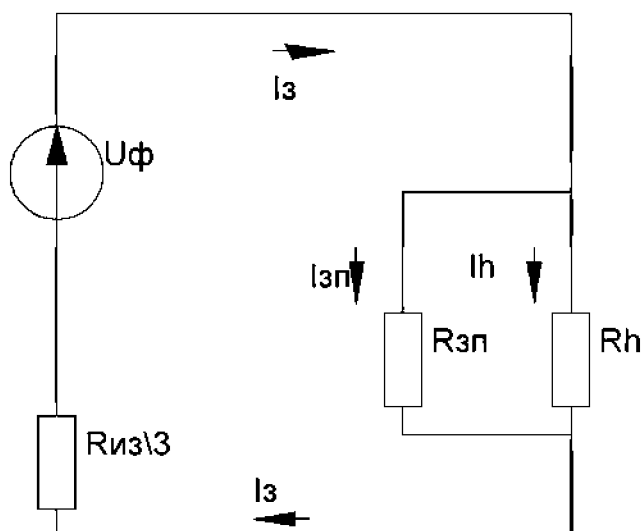


Рис. 7. Схема замещения сети с изолированной нейтралью

Используя первый и второй законы Кирхгофа, составим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} I_3 &= I_h + I_{3п} \\ U_{фа} &= I_{3п} R_3 + I_3 \frac{R_{из}}{3} \\ U_{фа} &= I_h R_h + I_3 \frac{R_{из}}{3} \\ I_h R_h &= I_{3п} R_{3п} \end{aligned}$$

После преобразований системы уравнений окончательно получим:

$$I_h = \frac{3U_{фа}R_{3п}}{R_h R_{из}}.$$

Задача 4. Защитное зануление электроустановок в сети.

Произойдёт ли автоматическое отключение от сети напряжением 380/220В электроустановки (см. рис. 8), если фаза “с” пробита на корпус электроустановки; $I_{ном} = 10$ А. Защиту необходимо выбрать так, чтобы сила тока однофазного короткого замыкания ($I_{кз}$) превышала не менее чем в 3 раза номинальную силу тока $I_{ном}$ срабатывания защитных устройств.

Исходные данные выбрать из табл.5.

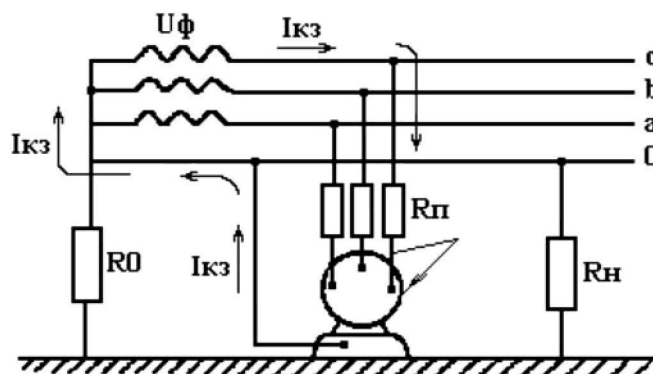


Рис. 8. Принципиальная схема зануления

$I_{кз}$ – сила тока короткого замыкания;

$R_{н}$ – сопротивление повторного заземления нулевого провода,

$R_{п}$ – сопротивление предохранителя;

$R_{т}$ – внутреннее сопротивление

Таблица 5

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_{ϕ}	0,1	0,1	1	0,1	1	0,1	0,3	0,4	0,05	0,4
$R_{н}$	0,1	1	0,1	0,5	1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1
$R_{т}$	0,03	0,3	3	0,3	3	1	0,003	1	0,03	5

Указания к решению задачи 4

Сила тока короткого замыкания $I_{кз}$ определяется фазным напряжением и полным сопротивлением цепи короткого замыкания:

$$I_{кз} = \frac{U}{R} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_{н} + \frac{R_{т}}{3}}$$

где $R_{т}$ – внутреннее сопротивление трансформатора, Ом;

R_{ϕ} , $R_{н}$ – сопротивление фазного и нулевого проводников, Ом

Проверить выполнение условия $\frac{I_{кз}}{I_{ном}} > 3$.

Задача 5. Опасность включения человека в электрическую сеть

Человек коснулся корпуса электрооборудования, которое в результате неисправности оказалось электрически связанным с питающим

фазным проводом. Определите значения токов проходящих через тело человека при разной влажности пола, опишите, какие ощущения будет испытывать сотрудник в двух указанных случаях. Определить значения напряжений прикосновения при разном состоянии пола. Как зависит сопротивление тела человека от величины напряжения прикосновения?

Таблица 6

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_0	3,7	5,9	6,8	9,3	2,9	8,4	7,2	5,5	6,1	5,9
$R_б$	20	55	140	30	220	200	50	100	90	250
$R_п$ (пол мокрый)	530	2100	1500	740	2600	2100	1900	900	735	870
$R_п$ (пол сухой)	$10 \cdot 10^4$	$5,8 \cdot 10^4$	$23 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^4$	$15 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
$R_{фун}$	48	17	74	27	35	66	34	44	49	77
$R_ч$ (пол мокрый)	800	1200	1300	900	1800	1400	1000	1050	920	890
$R_ч$ (пол сухой)	6000	3700	5100	5000	3100	4000	10000	5900	6200	4500

R_0 - сопротивление заземления нейтрали;

$R_б$ - сопротивление ботинок;

$R_п$ - сопротивление пола между подошвами ботинок и "землей";

$R_{фун}$ - сопротивление растеканию тока с фундаментом здания;

$R_ч$ - сопротивление тела человека.

Указания к решению задачи 5

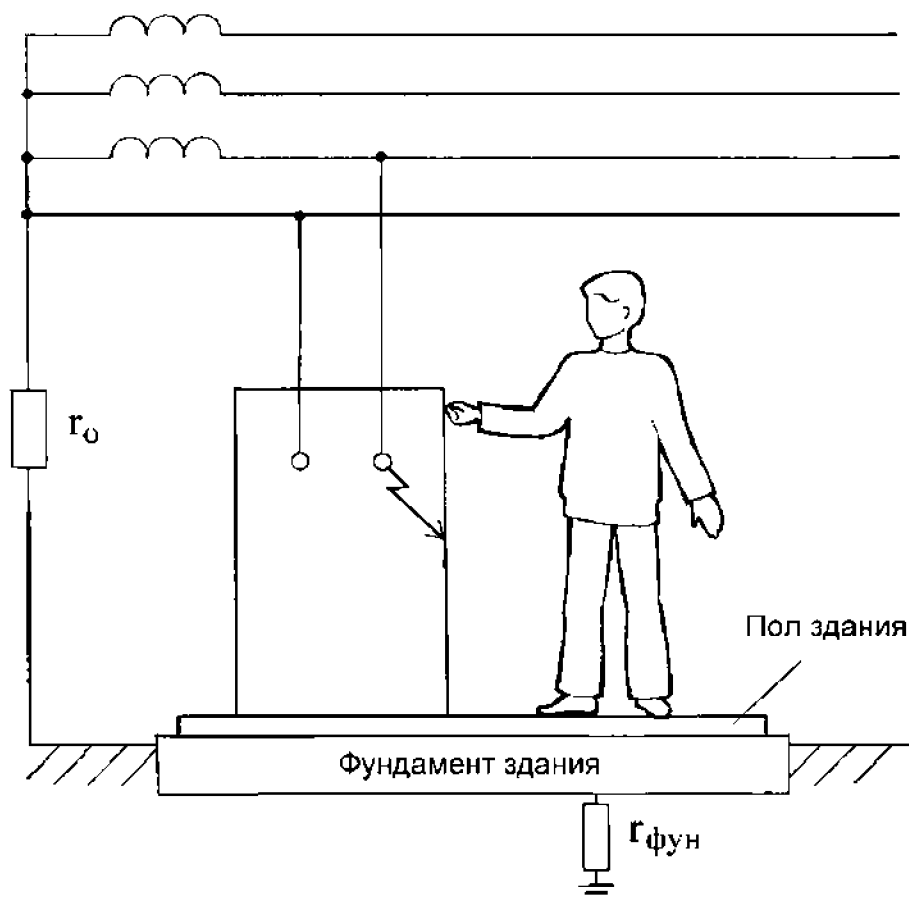


Рис. 9. Схема для анализа

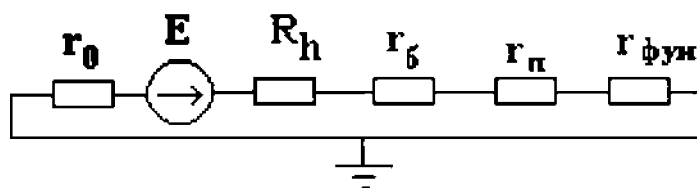


Рис. 10. Эквивалентная схема

Ток через тело человека определяется по формуле:

$$I_{\text{ч}} = \frac{E}{R_{\text{ч}} + R_{\text{б}} + R_{\text{фун}} + R_{\text{п}} + R_{\text{о}}},$$

где E - фазное напряжение питающей сети.

Напряжение на теле человека (напряжение прикосновения) рассчитываются по формуле:

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

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От каких факторов зависит степень воздействия электрического тока на организм человека?
2. Каковы причины поражения электрическим током?
3. Каковы действия электрического тока при прохождении через организм человека?
4. В чём разница между общими и местными электротравмами?
5. Что такое электроофтальмия и меры защиты от этого воздействия?
6. Какая величина сопротивления организма человека принята для расчетов по электробезопасности и почему?
7. Какие электрические элементы входят в эквивалентную схему электрического сопротивления тела человека?
8. Какой ток является смертельным для человека?
9. Какие помещения в отношении электробезопасности относятся к помещениям с повышенной опасностью?
10. На какие категории подразделяют помещения относительно опасности поражения электрическим током?
11. Какое воздействие оказывает электрический ток, проходя через организм?
12. В чем особенность биологического действия тока?
13. Что называется неотпускающим током?
14. При какой величине тока может возникнуть фибрилляция сердца?

15. Какова величина сопротивления тела человека при расчетах?

16. Почему двухфазное включение человека в сеть считается наиболее опасным?

17. От каких факторов зависит величина сопротивления организма человека?

18. В чем разница между понятиями «помещение с повышенной опасностью» и «помещение особо опасное»?

19. Какие меры защиты следует применять при высоких уровнях ЭМИ промышленной частоты?

20. Какие работники не могут быть допущены к работе в действующих электроустановках?

21. Чем отличаются основные изолирующие электрозащитные средства от дополнительных?

22. Что относится к средствам индивидуальной защиты работника?

23. Что относится к основным изолирующим электрозащитным средствам в электроустановках до 1000 В?

24. Какие виды трёхфазных электрических сетей применяют в РФ согласно ПУЭ?

25. Какие сети более опасны для человека: сети с изолированной нейтралью или с глухозаземленной?

26. Какое напряжение более опасно: линейное U_L или фазное U_ϕ ?

27. Как определить пригодность к применению изолирующего электрозащитного средства?

28. Порядок учета и хранения изолирующих электрозащитных средств.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. Основные положения. Госстандарт России. – М.:, 1982. – 5 с.

2. ГОСТ Р 50571.1 – 93. Электроустановки зданий. Основные положения. – М.: Госстандарт России, 1998г

3. ГОСТ Р 50571.8 – 94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Общие требования по применению мер защиты для обеспечения безопасности. Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током. Госстандарт России. – М.:, 1994. – 4 с.

4. ГОСТ Р 50571.16-99. Электроустановки зданий. Часть 6. Испытания. Глава 61. Приемно-сдаточные испытания. Госстандарт России. – М.:, 1999. – 15 с.

5. СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.

6. Правила устройства электроустановок. Шестое издание, с изменениями, исправлениями и дополнениями, принятыми Главгосэнергонадзором РФ в период с 01.01.92 по 01.01.99. – Санкт-Петербург, 2000. – 908 с.

7. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ-016 – 2001 РД 153-34. 0-03. 150-00. – М.: «Энас», 2001. – 183 с.

8. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: "Знак", 2000 г.

9. Долин П. А., Медведев В.Т., Корочков В.В. “Электробезопасность: задачник: Учеб. пособие”. - М.: Гардарики, 2003 г.

10. Белов С.В., Козьяков А.Ф., Партолин О.Ф. и др. “Средства защиты в машиностроении: Расчёт и проектирование: Справочник”. - М.: Машиностроение, 1989.

11. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – СПб.: Изд. ДЕАН, 2014. – с. 144. 6. ГОСТ Р 12.1.009 - 2009. Электробезопасность. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2010. – 4 с.