

Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
имени Гумарбека Даукеева»

Т.С. Санатова, А.А. Абикенова, Ф.Р. Жандаулетова

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДО И ВЫШЕ 1000 В**

Учебное пособие

Алматы 2022

УДК 62-049.5:621.311(075.8)

ББК 31.23 я 73

С18

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

доктор технических наук, профессор кафедры «ВРиМ» КазНАУ

Е.М. Калыбекова,

кандидат технических наук, ассоц. профессор кафедры «АТС и БЖД»

им. М. Тынышпаева

А.К. Имангалиева,

кандидат технических наук доцент кафедры ЭВИЭ АУЭС имени Гумарбека

Даукеева

И.В. Казанина

Рекомендовано к изданию Ученым советом Алматинского университета энергетики и связи (Протокол № ___ от __.____.20__ г.). Печатается по дополнительному плану выпуска ведомственной литературы АУЭС на 2021 год, позиция 72.

С 18 Санатова Т.С., Абикенова А.А., Жандаулетова Ф.Р. Современные методы защиты при работе электрооборудования до и выше 1000 В: Учебное пособие (для студентов высших учебных заведений специальности «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды») / Т.С. Санатова, А.А. Абикенова, Ф.Р. Жандаулетова. – Алматы: АУЭС, 2022. – 126 с.: табл. 10, ил. 17, библиогр. – 18 назв.

ISBN 978-601-38-037-1

В учебном пособии обобщены, систематизированы и изложены сведения по опасности воздействия электрического тока на организм человека, правила организации безопасной работы в электроустановках; приведён порядок оказания доврачебной помощи пострадавшим от действия электрического тока на организм человека; также представлены необходимые организационные и технические мероприятия и средства по защите людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, по охране при эксплуатации электроустановок и работы с персоналом в организациях электроэнергетики.

Учебное пособие предназначено для студентов всех образовательных программ.

УДК 62-049.5:621.311(075.8)

ISBN 978-601-38-037-1

© АУЭС, 2022

Санатова Т.С.,

Абикенова А.А.,

Жандаулетова Ф.Р., 2022

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Опасность действия электрического тока на организм человека	7
1.1 Действие электрического тока на организм человека.....	7
1.2 Виды электрических травм	8
1.3 Особенности поражений электрическим током	10
1.4 Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током	14
1.5 Сопротивление тела человека.....	21
1.5.1 Схема замещения тела человека в электрической цепи	21
1.5.2 Факторы, влияющие на сопротивление тела человека	26
2 Пути уменьшения опасных видов напряжений	30
2.1 Явления при стекании тока в землю	30
2.2 Распределение потенциала на поверхности земли через одиночный шаровой заземлитель	32
2.3 Стеkanie тока в землю через групповой заземлитель	34
2.4 Напряжение прикосновения	36
2.5 Напряжение шага	39
2.6 Пути снижения опасных видов напряжения	40
3 Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях	43
3.1. Общие положения	43
3.2 Анализ опасности трехфазных сетей	43
4 Классификация помещений, электроустановок, изделий по условиям электробезопасности	48
5 Технические способы и средства обеспечения электробезопасности. Защита от прямых прикосновений	49
5.1 Виды прикосновений в электроустановках.....	49
5.2 Номенклатура видов защиты	49
5.3 Защитные оболочки, ограждения. Безопасное расположение токоведущих частей	50
5.4 Изоляция токоведущих частей	51
5.5 Изоляция рабочего места	52
5.6 Малое напряжение	52
5.7 Сигнализация, блокировка, знаки безопасности	53
5.8 Электрическое разделение сети.....	53
5.9 Контроль изоляции	55
5.10 Компенсация токов замыкания на землю	57

5.11 Требования ПУЭ к электробезопасности электроустановок напряжением до 1 кВ	58
6 Технические способы и средства обеспечения электробезопасности.....	63
6.1 Защита от косвенных прикосновений.....	63
6.2 Защитное заземление	63
6.3 Зануление. Назначение, принцип действия и область применения	72
6.4 Повторное заземление нулевого защитного проводника	77
7 Устройство защитного отключения	84
7.1 Общие сведения	84
7.2 Устройства, реагирующие на ток замыкания на землю.....	89
7.3 Устройства, реагирующие на напряжение нулевой последовательности.....	91
7.4 Устройства, реагирующие на ток нулевой последовательности	92
7.5 Устройства, реагирующие на оперативный ток	94
8 Электрозащитные средства и приспособления	95
9 Организация безопасной эксплуатации электроустановок	98
9.1 Задачи электротехнического персонала	98
9.2 Требования к персоналу	101
9.3 Группы по электробезопасности в Казахстане и порядок их присвоения	101
9.4 Квалификационная проверка знаний	107
9.5 Подготовка персонала	109
9.6 Производство работ	110
9.7 Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ	111
9.8 Работы без снятия напряжения.....	112
9.10 Производство работ в действующих электроустановках	112
Список литературы.....	125

ВВЕДЕНИЕ

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Электрические установки, используемые на производстве, представляют большую потенциальную опасность.

Электроустановка – 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 её в другие виды энергии [1.2].

Кроме поражения людей электрическим током нарушение режима работы электроустановок может сопровождаться в отдельных случаях возникновением пожара или взрыва.

Опасность поражения людей электрическим током специфична и усугубляется тем, что она не может быть обнаружена органами чувств человека: зрением, слухом, обонянием.

Под термином «электробезопасность» понимается система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [1.2]. Теоретическое обоснование и разработка такой системы и отдельных ее узлов – важнейшая часть работ при проектировании объектов в любой отрасли народного хозяйства.

Не случайно существует множество подразделов электробезопасности – на производстве, в сельском хозяйстве, в горной промышленности, в передвижных установках, в зданиях и сооружениях и т.д. Но все эти подразделы базируются на общих требованиях, основах электробезопасности. Требования электробезопасности регламентированы различными Правилами.

В настоящее время учет условий электробезопасности на стадии проектирования объектов регламентируют Правила устройства электроустановок ПУЭ [3], а в период эксплуатации – Правила эксплуатации электроустановок потребителей ПЭЭП [4].

Если на стадии проектирования объекта документация согласовывается с органами надзора, требующими строгого соблюдения Правил, то в период эксплуатации многое зависит непосредственно от конкретных лиц, организующих и выполняющих работу. И, по различным соображениям, они зачастую пренебрегают требованиями Правил безопасности.

Кроме поражения людей электрическим током нарушение режима работы электроустановок может сопровождаться в отдельных случаях возникновением пожара или взрыва.

Опасность поражения людей электрическим током специфична и усугубляется тем, что она не может быть обнаружена органами чувств человека: зрением, слухом, обонянием.

Анализ статических данных показывает, что уровень электротравматизма на производстве среди всех травм не высок и составляет не более 1 %. Однако по числу случаев со смертельным исходом электротравматизм занимает одно из первых мест, достигая в отдельных отраслях 40%. При этом до 80% случаев со смертельным исходом приходится на электроустановки напряжением 127... 380 В [5] .

Вниманию предлагается материал, составленный на основе имеющегося опыта преподавания вопросов электробезопасности на различных предприятиях. Будут изложены:

- виды действия электрического тока на организм человека;
- возможные схемы включения человека в электрическую цепь;
- особенности измерения сопротивления изоляции электроустановок;
- особенности выбора технических средств защиты от поражения электрическим током при прикосновении человека к корпусу электроприемника и к токоведущим частям.

Практика показывает, что в большинстве случаев при применении электрической энергии опасность возникает из-за нарушения целостности изоляции токоведущих частей.

На состояние изоляции существенное влияние оказывает температура и влажность окружающей среды производственных помещений, наличие химически активной среды и ряд других факторов.

Таким образом, при эксплуатации электрического оборудования, аппаратуры и приборов большое значение приобретают вопросы защиты обслуживающего персонала и других лиц от опасности поражения электрическим током.

1 Опасность действия электрического тока на организм человека

1.1 Действие электрического тока на организм человека

Статистика электротравматизма. Известно, что в среднем электротравмы составляют 3% от общего числа травм, 12–13% от общего числа смертельных случаев – смертельные электротравмы. К наиболее неблагоприятным отраслям относятся: лёгкая промышленность, где электротравматизм составляет 17% от числа смертельных несчастных случаев, электротехническая промышленность – 14%, химическая – 13%, строительство, сельское хозяйство – по 40%, быт – примерно 40% (см рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Статистика электротравматизма [3,6]

Анализ приведенных данных показывает, что в настоящее время увеличилось количество несчастных случаев в быту и составляет 40% от общего количества травм.

Тело человека является проводником электрического тока. Электрический ток имеет существенные особенности, отличающие его от других вредных и опасных производственных факторов.

Первая особенность электрического тока – в том, что он не обладает цветом, запахом, звуком, и поэтому человек не может с помощью собственных органов чувств определить наличие электрического тока.

Вторая особенность электрического тока – в том, что получить электротравму можно без непосредственного контакта с токоведущими частями (например, при перемещении по земле (токопроводящему полу))

вблизи поврежденной электроустановки, электроприемника (в случае замыкания на землю, пол), а также через электрическую дугу, разряд молнии.

Третья особенность электрического тока – в том, что проходя через тело человека, электрический ток оказывает свое действие не только в местах контактов и на пути прохождения через организм, но и вызывает рефлекторное воздействие, нарушая нормальную деятельность отдельных органов и систем организма человека (нервной, сердечно-сосудистой, органов дыхания и др.)

Проходя через организм человека, электрический ток производит *термическое, электролитическое, механическое (биологическое)* действие. *Термическое действие* тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов и нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока [6,7].

Механические повреждения в результате судорожных сокращений мышц при протекании тока. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц; опасно такое влияние на органы дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, это может привести к нарушению их нормальной работы, в том числе и к абсолютному прекращению их работы.

Электролитическое действие проявляется в расщеплении крови и иной органической жидкости в тканях организма, вызывая существенные изменения ее физико-химического состава.

1.2 Виды электрических травм

Электротравмы условно подразделяют на местные электротравмы, общие электротравмы и смешанные электротравмы.

Местные электротравмы представляют собой четко выраженные повреждения тканей организма. Это электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия.

Электрический ожог бывает двух видов: токовый контактный электрический ожог и дуговой электрический ожог. Характерные виды местных электротравм — электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения.

Наиболее распространенные электротравмы — электрические ожоги. По глубине поражения все ожоги делятся на четыре степени [7]:

- первая — покраснение и отек кожи;
- вторая — водяные пузыри;
- третья — омертвление поверхностных и глубоких слоев кожи;
- четвертая — обугливание кожи, поражение мышц, сухожилий и костей.

Дуговой ожог носит, как правило, тяжелый характер. Электрическая дуга, обладающая высокой температурой около 5000°С, может вызвать обширные ожоги тела, выгорание тканей на большую глубину.

Электрические знаки, называемые также знаками тока или электрическими метками, представляют собой резко очерченные пятна серого или бледно-жёлтого цвета на поверхности тела человека, подвергнутого действию тока. Обычно знаки имеют круглую или овальную форму и размеры от 1 до 5 мм с углублением в центре.

Иногда форма электрического знака соответствует форме участка ведущей части, которого коснулся пострадавший.

Металлизация кожи – это проникновение в верхние слои кожи мельчайших частиц металла, расплавившегося под воздействием электрической дуги. Это явление возникает при коротких замыканиях, отключениях рубильников нагрузкой и так далее. Мельчайшие частицы металла разлетаются во все стороны с большой скоростью, высокой температурой, но с малым запасом теплоты и поэтому не способны прожечь одежду.

Наиболее опасной электротравмой является электрический удар. По исходу электрические удары условно разделяют на пять групп:

- без потери сознания;
- с потерей сознания, но без нарушения сердечной деятельности и дыхания;
- с потерей сознания и нарушением сердечной деятельности и дыхания;
- клиническая смерть;
- электрический шок.

В зависимости от исхода воздействия тока на организм человека электрические удары можно разделить на следующие пять степеней [8]:

I — судорожное, едва осязаемое сокращение мышц;

II — судорожное сокращение мышц, сопровождающееся сильными болями, без потери сознания;

III — судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;

IV — потеря сознания и нарушение сердечной деятельности и дыхания;

V — отсутствие дыхания и остановка деятельности сердца (клиническая смерть).

Электрический удар может не привести к смерти человека, но вызвать такие расстройства в организме, которые могут проявиться через несколько часов или дней (появление аритмии сердца, стенокардии, рассеянности, ослабления памяти и внимания).

В состоянии клинической смерти сердечная деятельность прекращается и дыхание останавливается. Длительность клинической смерти 6–8 минут. По истечении этого времени происходит гибель клеток головного мозга и наступает необратимая биологическая смерть.

Электрический шок – это тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма на раздражение электрическим током. Шоковое состояние может

длиться от нескольких минут до суток, а затем может наступить выздоровление или биологическая смерть.

Под общими электротравмами, или электрическими ударами, следует понимать возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, при этом поражается весь организм из-за нарушения деятельности жизненно важных органов и систем в зависимости от исхода воздействия на организм человека. Электрические удары можно условно разделить на 5 степеней [8].

Электрический удар первой степени – это судорожное, едва ощутимое сокращение мышц.

Электрический удар второй степени – это судорожное сокращение мышц, сопровождающиеся сильными, едва переносимыми полями, но без потери сознания.

Электрический удар третьей степени – это судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохраняющимся дыханием и работой сердца.

Электрический удар четвертой степени – это потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания, либо того и другого вместе.

Электрический удар пятой степени – это клиническая смерть, то есть кратковременное переходное состояние организма от жизни к смерти, наступающее с момента прекращения деятельности сердца и легких.

1.3 Особенности поражений электрическим током

Существуют 4 особенности [9]:

- отсутствие внешних признаков грозящей опасности поражения электрическим током. Человек не может увидеть, услышать, обонять или как-то иначе заблаговременно обнаружить возможность поражения;

- тяжесть исхода электротравм; потеря трудоспособности при электротравмах обычно бывает длительной; возможен даже смертельный исход;

- человек не может самостоятельно освободиться от действия тока (токи промышленной частоты величиной 10—25 мА могут вызвать интенсивные судороги мышц и «приковывание» к токоведущим частям);

- возникновение возможности последующего механического травмирования. Например, человек работал на высоте, был поражён током, потерял сознание и упал.

Поражение электрическим током приводит к электрической травме.

Электротравма – это комплекс повреждений, возникающих вследствие поражения техническим или природным электричеством. Чаще является следствием производственной травмы, хотя может встречаться и в быту. Электротравма – это местное поражение тканей и органов электрическим током: ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, поражение глаз от действия на них электрической дуги; внутренние повреждения организма:

разрывы мышц и сухожилий, переломы и вывих конечностей, паралич дыхания, фибрилляция и остановка сердца, что приводит к смерти человека [7].

Отличительными особенностями электротравмы являются нарушения деятельности всех органов и систем, обусловленные трансформацией электрической энергии в тепловую (нагреванием), механическим воздействием и электролизом. Отмечается высокий процент летальности (5–16%) и высокая вероятность развития разнообразных осложнений как сразу после электротравмы, так и в отдаленном периоде.

Смерть — прекращение основных физиологических процессов — сознания, дыхания и сердцебиения, отсутствие реакций на внешние раздражители и сопровождающееся разложением белковых тел.

Различают два основных этапа смерти: клиническую и биологическую смерть.

Клиническая смерть — кратковременное переходное состояние от жизни к смерти, наступающее с момента прекращения деятельности сердца и легких.

У человека, находящегося в состоянии клинической смерти, отсутствуют все признаки жизни: он не дышит, сердце его не работает, болевые раздражения не вызывают у него никаких реакций, зрачки глаз резко расширены и не реагируют на свет.

Однако в этот период жизнь в организме еще полностью не угасла, ибо ткани его не сразу подвергаются распаду и в известной степени сохраняют жизнеспособность.

Функции различных органов также угасают постепенно. В первый момент почти во всех тканях и клетках продолжают обменные процессы, хотя и на очень низком уровне и резко отличающиеся от обычных, но достаточные для поддержания минимальной жизнедеятельности. Эти обстоятельства позволяют, воздействуя на более стойкие жизненные функции организма, восстановить угасающие или только что угасшие функции, т. е. оживить умирающий организм.

Первыми начинают погибать очень чувствительные к кислородному голоданию клетки коры головного мозга (нейроны), с деятельностью которых связаны сознание и мышление. В последующие моменты происходит множественный распад этих клеток, что приводит к необратимому разрушению коры головного мозга и практически исключает возможность оживления организма. Если даже при этом удастся восстановить у пострадавшего дыхание и сердечную деятельность, все-таки через некоторое время он, как правило, погибает или становится психически неполноценным.

Длительность клинической смерти определяется с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели клеток головного мозга; в большинстве случаев она составляет 4—6 мин. При гибели здорового человека от случайной причины, например от электрического тока, длительность клинической смерти может достигать 7—8 мин, а в случае смерти человека в результате тяжелых болезней сердца, легких и т. п. (т. е. когда организм

исчерпал значительную часть своих жизненных сил в борьбе с болезнью) клиническая смерть может длиться лишь несколько секунд. Однако если в этот период начать оказывать пострадавшему соответствующую помощь, т. е. путем искусственного дыхания обеспечить обогащение его крови кислородом, а путем массажа сердца наладить в организме искусственное кровообращение и тем самым снабжение клеток организма кислородом, то развитие смерти может быть приостановлено и жизнь сохранена.

Биологическая (или истинная) смерть — необратимое явление, характеризующееся прекращением биологических процессов в клетках и тканях и распадом белковых структур. Она наступает по истечении периода клинической смерти.

Причинами смерти от электрического тока могут быть прекращение работы сердца, остановка дыхания и электрический шок. Возможно также одновременное действие двух или даже всех трех этих причин.

Прекращение сердечной деятельности от электрического тока наиболее опасно, поскольку возвращение пострадавшего к жизни в этом случае оказывается, как правило, более сложной задачей, чем при остановке дыхания или шоке.

Воздействие тока на мышцу сердца может быть прямым, когда ток проходит непосредственно в области сердца, и рефлекторным, т. е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этой области. В обоих случаях может произойти остановка сердца, а также возникнуть его фибрилляция. Фибрилляция может быть и результатом рефлекторного спазма артерий, питающих сердце кровью. При поражении током фибрилляция сердца наступает значительно чаще, чем полная его остановка.

Фибрилляция сердца — хаотические разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам.

При нормальной работе сердца происходит ритмичное чередование периодов покоя, в течение которых оно заполняется кровью, и периодов сокращения, при которых оно выталкивает кровь в артериальные сосуды. Такая работа сердца обуславливается расслаблением, а затем сокращением одновременно всех волокон сердечной мышцы — фибрилл. В свою очередь сокращение этих волокон является ответом на нервный импульс, возникающий в особом нервно-мышечном аппарате сердца, так называемом синусовом узле, причем каждому импульсу соответствует одно сокращение.

Если сердцу нанести добавочное раздражение, то оно ответит внеочередным сокращением. При множественных раздражениях сердца под действием тока могут нарушаться одновременность и ритмичность сокращения фибрилл, т. е. возникнет фибрилляция сердца.

Фибрилляция сердца может наступить в результате прохождения через тело человека по пути рука — рука или рука — ноги переменного тока более

50 мА частотой 50 Гц в течение нескольких секунд. Токи меньше 50 мА и больше 5 А той же частоты фибрилляции сердца у человека, как правило, не вызывают.

При фибрилляции сердца, возникшей в результате кратковременного действия тока, дыхание может продолжаться еще 2–3 мин. Человек, быстро освобожденный от тока, иногда может до момента потери сознания сказать несколько слов и проявить другие явные признаки жизни, хотя в это время сердце его уже не работает, как насос, находясь в стадии фибрилляции. Поскольку вместе с кровообращением прекращается и снабжение организма кислородом, у этого человека наступает быстрое резкое ухудшение общего состояния и дыхание прекращается. В итоге наступает клиническая смерть.

Фибрилляция продолжается обычно короткое время, сменяясь вскоре полной остановкой сердца.

Прекращение дыхания происходит обычно в результате непосредственного воздействия тока на мышцы грудной клетки, участвующие в процессе дыхания.

Человек начинает испытывать затруднение дыхания вследствие судорожного сокращения указанных мышц уже при токе 20–25 мА частотой 50 Гц, проходящем через его тело. При большем токе это действие усиливается. В случае длительного прохождения через человека такого тока наступает так называемая асфиксия — удушье — болезненное состояние в результате недостатка кислорода и избытка углекислоты в организме.

При асфиксии последовательно утрачиваются сознание, чувствительность, рефлексы, затем прекращается дыхание, а через некоторое время останавливается сердце или возникает его фибрилляция, т.е. наступает клиническая смерть.

Прекращение сердечной деятельности в данном случае обусловлено не воздействием тока на сердце (поскольку ток до 50 мА не вызывает фибрилляции или остановки сердца), а прекращением подачи кислорода в организм, в том числе к клеткам сердечной мышцы из-за остановки дыхания.

Очевидно, прекращение дыхания может быть вызвано относительно небольшим током (от 20 до 50 мА), если он длительно (несколько минут) проходит через человека. Большие токи (от 50 мА до 5 А), которые вызывают остановку или фибрилляцию сердца, способны вызвать также и остановку дыхания. Однако при этих токах в большинстве случаев первичным является прекращение деятельности сердца, поскольку остановка сердца или его фибрилляция наступает значительно раньше, чем паралич дыхания. При токах более 5 А обычно сначала прекращается дыхание.

Электрический шок — своеобразная тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма в ответ на чрезмерное раздражение электрическим током, сопровождающаяся глубокими расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ и т. п.

При шоке непосредственно после воздействия тока наступает кратковременная фаза возбуждения, когда пострадавший реагирует на возникшие боли, у него повышается кровяное давление и т. п. Вслед за этим проходит фаза торможения и истощения нервной системы, когда резко снижается кровяное давление, падает и учащается пульс, ослабевает дыхание, возникает депрессия – угнетенное состояние и полная безучастность к окружающему при сохранившемся сознании.

Шоковое состояние длится от нескольких десятков минут до суток. После этого может наступить или гибель человека в результате полного угасания жизненно важных функций, или выздоровление как результат своевременного активного лечебного вмешательства.

Классификация. В зависимости от клинических симптомов выделяют 4 степени реакции на поражение током:

1 степень – судороги при сохранении сознания;

2 степень – судороги с потерей сознания;

3 степень – судороги с потерей сознания, нарушением деятельности дыхательной и сердечно-сосудистой системы;

4 степень – мнимая смерть. Предполагается, что мнимая смерть при электротравме развивается вследствие запредельного охранительного торможения ЦНС. Многих пострадавших с этим состоянием удается вернуть к жизни.

1.4 Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

Тяжесть повреждения зависит от характера поражающего тока, длительности воздействия, состояния организма и условий внешней среды. Установлено, что переменные токи опаснее постоянных, при этом наибольшую опасность для жизни человека представляют токи напряжением свыше 250V. Причиной электротравмы может стать:

- непосредственный контакт человека с источником тока;
- электрическая дуга (переход электронов на кожу, являющуюся проводником, при наличии небольшого расстояния между человеком и источником тока).

а) Поражающий фактор

При поражении человека электрическим током *основным поражающим фактором является ток, проходящий через его тело* [7]. При этом степень отрицательного воздействия тока на организм человека увеличивается с ростом тока. Вместе с тем исход поражения определяется длительностью прохождения тока, его частотой, а также некоторыми другими факторами.

б) Характер воздействия на человека токов разного значения

Рассмотрим подробнее, как изменяется опасность воздействия на человека тока в зависимости от его значения. При этом будем считать, что ток

через человека проходит по наиболее типичным путям, а именно от руки к руке или от руки к ногам.

Ощутимый ток. Пороговый ощутимый ток — наименьшее значение силы электрического тока, вызывающего при прохождении через организм человека ощутимые раздражения. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него малого тока в среднем около 1,0 мА при переменном токе частотой 50 Гц и около 6 мА при постоянном токе. Это воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и легким пощипыванием (покалыванием), а при постоянном токе — ощущением нагрева кожи на участке, касающемся токоведущей части. Пороговый ощутимый ток не может вызвать поражения человека, и в этом смысле он не опасен. Однако длительное (в течение нескольких минут) прохождение этого тока через человека может отрицательно сказаться на состоянии его здоровья и поэтому недопустимо.

Кроме того, ощутимый ток может стать косвенной причиной несчастного случая, поскольку человек, почувствовав воздействие тока, теряет уверенность в своей безопасности и может произвести неправильные действия. Особенно опасно неожиданное воздействие ощутимого тока, что вызывает произвольные ошибочные действия человека, усугубляющие опасность для него при работах вблизи токоведущих частей, на высоте и в других аналогичных условиях.

Безопасный ток, который длительно (в течение нескольких часов) может проходить через человека, не нанося ему вреда и не вызывая никаких ощущений, очевидно, во много раз меньше порогового ощутимого тока. Точные значения безопасного тока не установлены, однако для практических целей его наибольшие значения можно принимать равными 50–75 мкА при 50 Гц и 100–125 мкА при постоянном токе.

Неотпускающий ток. Увеличение тока сверх порогового ощутимого вызывает у человека судороги мышц и болезненные ощущения, которые с ростом тока усиливаются и распространяются на все большие участки тела.

Так, при 3–5 мА (50 Гц) действие тока ощущается всей кистью руки, касающейся токоведущей части; при 8–10 мА боль резко усиливается и охватывает всю руку, сопровождаясь произвольными сокращениями мышц руки и предплечья. При токе в среднем около 15 мА (50 Гц) боль становится едва переносимой, а судороги мышц рук оказываются настолько значительными, что человек не в состоянии их преодолеть. В результате он не может разжать руку, в которой зажата токоведущая часть, и оказывается как бы прикованным к ней. Такой же эффект неотпускания наблюдается и при воздействии больших токов.

Электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник, называется неотпускающим током, а наименьшее его значение — пороговым неотпускающим током. Пороговый неотпускающий ток условно можно считать безопасным для человека, поскольку он не вызывает

немедленного его поражения. Однако при длительном прохождении ток растет вследствие уменьшения сопротивления тела, в результате чего усиливаются боли и могут возникнуть серьезные нарушения работы легких и сердца, а в некоторых случаях наступает смерть.

При постоянном токе неотпускающих токов, строго говоря, нет, т. е. человек при любых значениях тока может самостоятельно разжать руку, в которой зажат проводник, и таким образом оторваться от токоведущей части. Однако в момент отрыва возникают болезненные сокращения мышц, аналогичные по характеру и болевым ощущениям тем, которые наблюдаются примерно при таком же значении переменного (50 Гц) тока.

Опыты, проводившиеся с людьми, показали, что наибольший постоянный ток, при котором человек еще в состоянии выдержать боль, возникающую в момент отрыва рук от электродов, составляет примерно 50–80 мА. Этот ток и принят условно за порог неотпускающих токов при постоянном напряжении.

Пороговые неотпускающие токи различны также у мужчин, женщин и детей. Приближенные средние значения их составляют: для мужчин — 16 мА при 50 Гц и 80 мА при постоянном токе, для женщин — соответственно 11 и 50 мА, для детей — 8 и 40 мА. Длительное воздействие этого тока вызывает ослабление деятельности сердца и как итог этого – потерю сознания, а иногда и остановку сердца.

Фибрилляционный ток. Ток 50 мА и более при 50 Гц, проходя через тело человека по тому же пути (рука – рука или рука — ноги), распространяет свое раздражающее действие на мышцу сердца, расположенную глубоко в груди. Это обстоятельство опасно для жизни, поскольку через малый промежуток времени, обычно через 1–3 с с момента замыкания цепи тока через человека, может наступить фибрилляция или остановка сердца.

При этом прекращается кровообращение и, следовательно, в организме возникает недостаток кислорода; это в свою очередь быстро приводит к прекращению дыхания, т. е. наступает смерть.

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

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.

Ток больше 5 А, как переменный при 50 Гц, так и постоянный, вызывает немедленную остановку сердца, минуя состояние фибрилляции. Если действие тока было кратковременным (1–2 с) и не вызвало повреждения сердца (в результате нагрева, ожога и т. п.), после отключения тока оно, как правило, самостоятельно возобновляет нормальную деятельность.

В практике наблюдались случаи выживания людей после того, как через них проходил ток в несколько ампер и даже в несколько десятков ампер. Правда, все эти люди стали инвалидами.

При больших токах, даже в случае их кратковременного воздействия, наряду с остановкой сердца происходит и паралич дыхания, причем после отключения тока дыхание, как правило, самостоятельно не восстанавливается и требуется немедленная помощь пострадавшему в виде искусственного дыхания.

в) Влияние продолжительности прохождения тока на исход поражения

Анализ несчастных случаев с людьми от воздействия электрического тока и данные опытов над животными показывает, что длительность прохождения тока через организм существенно влияет на исход поражения: чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного исхода.

Такая зависимость объясняется тем, что с увеличением времени воздействия тока на живую ткань повышается его значение, растут (накапливаются) последствия воздействия тока на организм и, наконец, повышается вероятность совпадения момента прохождения тока через сердце с уязвимой фазой Т сердечного цикла (кардиоцикла) (Рисунок 1.2, 1.3).

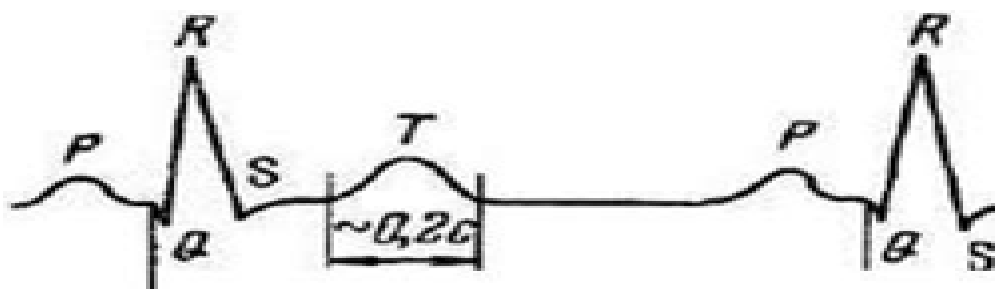


Рисунок 1.2 – Опасность совпадения времени протекания тока через сердце с фазой Т кардиоцикла

Рост тока с увеличением времени его действия объясняется уменьшением сопротивления тела человека.

г) Влияние пути тока на исход поражения

Путь прохождения тока в теле человека играет существенную роль в исходе поражения. Так, если на пути тока оказываются жизненно важные органы — сердце, легкие, головной мозг, то опасность поражения весьма велика, поскольку ток воздействует непосредственно на эти органы.

Наиболее часто цепь тока через человека возникает по пути правая рука – ноги. Однако если рассматривать лишь те случаи прохождения тока через человека, которые вызывают утрату трудоспособности более чем на

3 рабочих дня, то, как это видно из данных таблицы 1.1 и рисунка 1.4, наиболее распространенным окажется путь рука - рука, который возникает примерно в 40% случаев.



Рисунок 1.3 – Зависимость допустимых токов от продолжительности воздействия

Если же ток проходит иными путями, то воздействие его на жизненно важные органы может быть лишь рефлекторным, а не непосредственным.

При этом опасность тяжелого поражения хотя и сохраняется, но вероятность ее резко снижается. Кроме того, поскольку путь тока определяется местом приложения токоведущих частей (электродов) к телу пострадавшего, его влияние на исход поражения обуславливается еще и различным сопротивлением кожи.

Путь правая рука – ноги занимает второе место – 20%. Другие петли возникают еще реже. Опасность оценивается также по значению тока, проходящего через область сердца: чем больше этот ток, тем опаснее петля.



Рисунок 1.4 – Влияние пути тока на исход поражения

Предполагается, что при наиболее распространенных путях на теле человека через сердце протекает 0,4—7% общего тока. В таблице 1.1 эти токи указаны для каждой из рассматриваемых петель (четвертая графа).

Таблица 1.1 – Характеристика наиболее распространенных путей тока в теле человека

Путь тока	Частота возникновения данного пути тока, %	Доля потерявших сознание во время воздействия тока, %	Значение тока, проходящего через область сердца, % общего тока, проходящего через тело
Рука – рука	40	83	3,3
Правая рука –ноги	20	87	6,7
Левая рука – ноги	17	80	3,7
Нога – нога	6	15	0,4
Голова – ноги	5	88	6,8
Голова – руки	4	92	7,0
Прочие	8	65	-

Примечания

1. Во второй графе приняты все несчастные случаи поражения током, повлекшие за собой утрату трудоспособности более чем на 3 рабочих дня.

2. Предполагается, что при воздействии шагового напряжения (путь тока нога – нога) пострадавшие теряли сознание (15 %> после падения на землю, т.е. когда возникал новый путь ток).

Наиболее опасными являются петли: голова — руки и голова — ноги, когда ток может проходить через головной и спинной мозг. К счастью, эти петли возникают относительно редко.

Следующий по опасности путь правая рука — ноги, который по частоте образования занимает второе место.

Напряжение шага даже небольшого значения (50—80 В) вызывает произвольные судорожные сокращения мышц ног и как следствие падение человека на землю. В этот момент прекращается действие на человека напряжения шага и возникает иная, более тяжелая ситуация: вместо нижней петли в теле человека образуется новый, более опасный путь тока – обычно от рук к ногам. Поскольку в таком положении человек касается одновременно точек земли, удаленных одна от другой на расстояние, превышающее длину шага, напряжение, действующее на него, оказывается, как правило, больше напряжения шага. В результате создается реальная угроза смертельного поражения током.

д) Критерии безопасности электрического тока

Защитные меры и средства защиты от поражения электрическим током должны создаваться с учетом допустимых для человека значений тока при данной длительности и пути его прохождения через тело или соответствующих этим токам напряжений прикосновений.

В настоящее время действует ГОСТ 12.1.000-82 «ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [10], который распространяется на производственные и бытовые электроустановки постоянного и переменных токов частотой 50 и 400 Гц и устанавливает нормы предельно допустимых для человека значений напряжений прикосновения и токов, протекающих через его тело. Эти нормы предназначены для проектирования способов и средств защиты от поражения током людей при их взаимодействии с электроустановками. Они соответствуют прохождению тока через тело человека по пути рука – рука или рука — ноги.

Стандарт предусматривает нормы для электроустановок при нормальном рабочем (неаварийном) режиме их работы, а также при аварийных режимах производственных (таблица 1.2) и бытовых (таблица 1.3) электроустановок.

Таблица 1.2. – Наиболее допустимые напряжения прикосновения $U_{пр}$ при аварийном режиме производственных электроустановок переменного тока 50 Гц напряжением выше 1000 В с глухим заземлением нейтрали

Продолжительность воздействия тока, с.	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	Более 1,0 до 5,0
Наибольшее допустимое значение $U_{пр}$, В	500	400	200	130	100	65

Таблица 1.3 – Наибольшие допустимые напряжения прикосновения $U_{пр}$ и токи I_h , проходящие через человека, при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц

Нормируемая величина	Продолжительность воздействия t, 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	Более 1,0
$U_{прВ}$	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	12
$I_h мА$	200	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

Примечания:

1. В таблице приведены предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, при взаимодействии с электроустановками бытового назначения при аварийном режиме.

2. Значения напряжений прикосновения и токов установлены для людей с массой тела 15 кг.

Контроль предельно допустимых уровней напряжения прикосновения и тока должен осуществляться измерением этих величин в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека.

1.5 Сопротивление тела человека

1.5.1 Схема замещения тела человека в электрической цепи

Электропроводность различных тканей организма неодинакова. Наибольшую электропроводность имеют спинномозговая жидкость, сыворотка крови и лимфа, затем — цельная кровь и мышечная ткань. Плохо проводят электрический ток внутренние органы, имеющие плотную белковую основу, вещество мозга и жировая ткань. Наибольшим сопротивлением обладает кожа и, главным образом, ее верхний слой (эпидермис). Примеров тому немало, вот один из них. Рабочий опускает в электролитическую ванну средний и указательный пальцы руки и получает смертельный удар. Оказалось, что причиной гибели явился имевший место порез кожи на одном из пальцев. Эпидермис не оказал своего защитного действия, и поражение произошло при явно безопасной петле тока.

Сопротивление тела человека зависит от пола и возраста людей: у женщин это сопротивление меньше, чем у мужчин, у детей меньше, чем у взрослых. Это объясняется толщиной и степенью огрубления верхнего слоя кожи.

Участки тела с наименьшим сопротивлением (т.е. более уязвимые):

- боковые поверхности шеи, виски;
- тыльная сторона ладони, поверхность ладони между большим и указательным пальцами;
- рука на участке выше кисти;
- передняя часть ноги;
- акупунктурные точки, расположенные в разных местах тела.

Тело человека является проводником электрического тока. Сопротивление тела человека – это сопротивление между двумя электродами, наложенными на поверхность тела. Сопротивление тела, измеренное при напряжении до 15–20 В постоянного или переменного с частотой в 50 Гц тока колеблется в пределах от 3 до 100 тысяч Ом. Сопротивление тела определяется главным образом сопротивлением кожи. Если под электродами полностью удалить кожу, то будет измерено сопротивление подкожных тканей, которое у всех людей практически одинаковое и составляет от 300 до 500 Ом.

Сопротивление тела человека можно условно считать состоящим из трех последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи и одного сопротивления внутренних тканей тела. Сопротивление наружного слоя кожи состоит из двух параллельно включенных сопротивлений: активного и емкостного. Внутреннее сопротивление считается активным.

Упрощенная эквивалентная схема сопротивления тела человека состоит из активного сопротивления и емкостного сопротивления.

Перед нами формула, по которой можно рассчитать полное сопротивление тела человека. Из этой формулы видно, что полное сопротивление зависит от активного сопротивления тела, частоты тока и емкостного сопротивления. Если частота тока имеет большое значение, то произведение частоты тока на емкостное сопротивление в формуле может достигать больших значений и сильно снижать сопротивление тела человека. Обычно емкость имеет малое значение, и при небольшой частоте ею, как правило, пренебрегают. Тогда полное сопротивление тела человека оказывается равным его активному сопротивлению. В нашей стране в качестве расчетного принимается сопротивление тела человека, равное 1000 Ом.

Значение сопротивления тела человека зависит от ряда факторов: от состояния кожи, места приложения электрода к телу человека, значения тока и времени прохождения его через тело человека, напряжения, от рода тока – постоянный он или переменный и от частоты тока.

Состояние кожи оказывает большое влияние на значение сопротивления тела человека. Микротравмы могут понизить сопротивление до его наименьшего значения, равного 300 или 500 Ом. При этом опасность поражения током резко возрастает, такое же влияние оказывает увлажнение кожи водой или потом. При длительном увлажнении роговой слой кожи разрыхляется, насыщается влагой, в результате этого сопротивление кожи почти полностью утрачивается. Следовательно, работа с электроустановками сырыми, грязными руками в условиях вызывающих увлажнение каких-либо участков кожи, а также при повышенной температуре воздуха, вызывающей повышенное потовыделение, повышает опасность поражения человека током. Загрязнения кожи различными веществами, особенно хорошо проводящими электрический ток, например угольной или металлической пылью, сопровождается снижением сопротивления кожи. Токарь по металлу, шахтер,

у которых руки загрязняются токопроводящими веществами, подвержены большей опасности, чем лица, работающие чистыми сухими руками [7].

Место приложения электрода к телу человека также имеет значение, так как сопротивление на разных участках тела неодинаково. Это объясняется различной толщиной рогового слоя кожи, неравномерным распределением потовых желез на теле человека, неодинаковой степенью наполнения кровью сосудов кожи на разных участках тела. Наименьшим сопротивлением обладает кожа лица, шеи и рук на участке выше ладони. А вот, например, загрубевшая, мозолистая кожа ладони обладает сопротивлением, во много раз превышающем сопротивление других участков тела.

С увеличением значения тока и времени его прохождения через тело человека сопротивление тела падает, поскольку при этом усиливается местный нагрев кожи, что приводит к расширению ее сосудов, а следовательно, к усилению снабжения этого участка кровью и увеличению выделения пота. С ростом напряжения, приложенного к телу человека, сопротивление тела уменьшается в десятки раз. Это объясняется тем, что разрушается роговой слой кожи под действием тока. Род тока, постоянный он или переменный, а также частота переменного тока также сильно влияют на сопротивление тела. С увеличением частоты переменного тока наружный слой кожи практически утрачивает сопротивление электрическому току.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия и хрящи имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа и особенно спинной и головной мозг — малое. Например, при токе 50 Гц удельное объемное сопротивление составляет Ом м [7]:

Кожи сухой	$3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$
Кости (без надкостницы)	$10^4 - 2 \cdot 10^6$
Жировой ткани	30–60
Мышечной ткани	1,5—3
Крови	1—2
Спинального мозга	0,5—0,6

По сравнению с другими тканями кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, которое является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом.

Строение кожи весьма сложно. Кожа состоит из двух основных слоев: наружного, называемого эпидермисом, и внутреннего, являющегося собственно кожей и носящего название дермы (рисунки 1.5).

Наружный слой кожи – эпидермис – в свою очередь состоит из пяти слоев, из которых самый верхний является, как правило, более толстым, чем все остальные слои вместе взятые, и называется роговым.

Роговой слой включает в себя несколько десятков рядов мертвых ороговевших клеток, имеющих вид чешуек, плотно прилегающих одна к другой. Роговой слой лишен кровеносных сосудов и нервов и поэтому является слоем неживой ткани. Толщина его на разных участках тела различна и колеблется в пределах 0,05—0,2 мм. Наибольшей толщины он достигает в местах, подвергающихся постоянным механическим воздействиям, в первую очередь – на подошвах и ладонях, где, утолщаясь, он может образовывать мозоли.

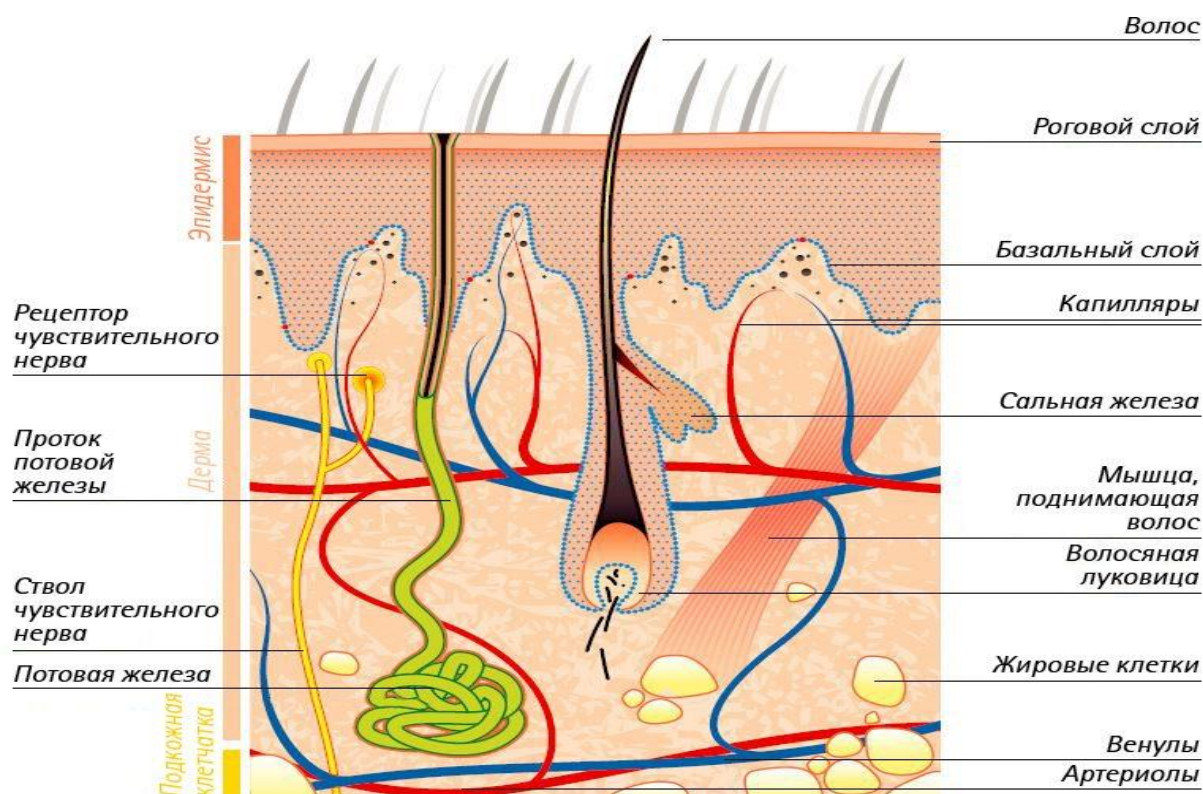


Рисунок 1.5 – Строение кожи

Роговой слой обладает относительно высокой механической прочностью, плохо проводит теплоту и электричество и является как бы защитной оболочкой, покрывающей все тело человека. В сухом и незагрязненном состоянии этот слой можно рассматривать как диэлектрик, его удельное сопротивление достигает 10^5 – 10^6 Ом, то есть в сотни и тысячи раз превышает сопротивление других слоев кожи и внутренних тканей организма.

Другие слои эпидермиса, лежащие под роговым слоем и образованные в основном из живых клеток, можно условно объединить.

Внутренний слой кожи — дерма — состоит из прочных волокон соединительной и эластической ткани, переплетающихся между собой и образующих густую прочную сетку, которая и служит основой всей кожи. Между этими волокнами находятся кровеносные и лимфатические сосуды, нервные окончания и корни волос. Здесь же расположены потовые и сальные

железы, выводные протоки которых выходят на поверхность кожи, пронизывая эпидермис.

Сопротивление тела человека, т. е. сопротивление между двумя электродами, наложенными на поверхность тела, у разных людей различно. Неодинаковым оказывается оно и у одного и того же человека в разное время и в разных условиях измерения. При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление тела, измеренное при напряжении до 15–20 В, колеблется в пределах примерно $(3-100) \cdot 10^3$ Ом, а иногда и в более широких пределах. Если на участках кожи, где прикладываются электроды, соскоблить роговой слой, сопротивление тела упадет до $(1-5) \cdot 10^3$ Ом, а при удалении всего наружного слоя кожи (эпидермиса) – до 500–700 Ом. Если же под электродами полностью удалить кожу, то будет измерено сопротивление подкожных тканей тела, которое у всех людей практически одинаково и составляет лишь 300–500 Ом.

Сопротивление тела человека можно условно считать состоящим из трех последовательно включенных сопротивлений (рисунок 1.6, а и б): двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи, т. е. эпидермиса, $2z_3$, и одного сопротивления внутренних тканей тела R_B (которое включает в себя два сопротивления — внутренних слоев кожи, т. е. дермы, и подкожных тканей тела).

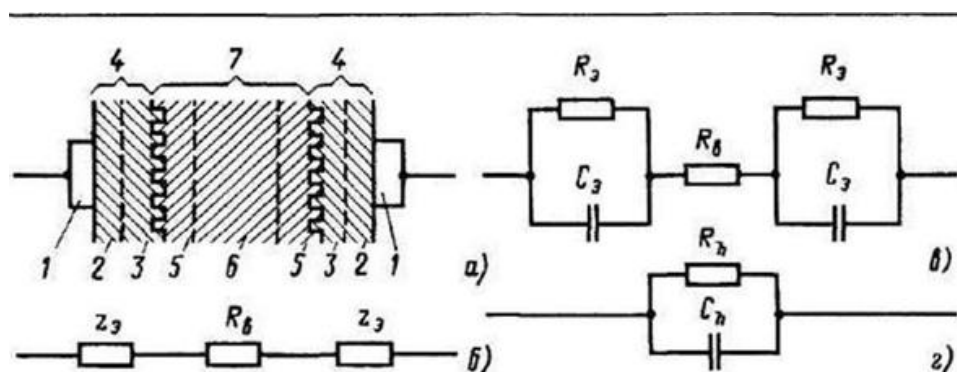


Рисунок 1.6 – К определению электрического сопротивления тела человека: а – схема измерения сопротивления; б – схема замещения сопротивления тела человека постоянному току; в – эквивалентные схемы сопротивления тела человека; г – упрощенная эквивалентная схема, 1 — электроды, 2 – роговой слой кожи, 3 – ростковый слой кожи, 4 – наружный слой кожи – эпидермис (роговой и ростковый слой), 5 — внутренний слой кожи (дерма), 6 – подкожные ткани тела, 7 – внутренние ткани тела (внутренние слои кожи и подкожные ткани), Z_3 — полное сопротивление эпидермиса, R_B — сопротивление внутренних тканей, R — активное сопротивление эпидермиса, C_3 — емкость образовавшегося конденсатора, R_h — активное сопротивление тела, C_h — емкость тела

Сопротивление эпидермиса z_3 , состоит из активного R_3 и емкостного $x_c = 1/\omega C$ сопротивлений, включенных параллельно, где $\omega = 2\pi f$ – угловая

частота, $1/c$. Емкостное сопротивление обусловлено тем, что в месте прикосновения электрода к телу человека образуется конденсатор, обкладками которого являются электрод и хорошо проводящие ток ткани тела человека, лежащие под наружным слоем кожи, а диэлектриком, разделяющим обкладки, этот слой (эпидермис) (рисунок 1.5, 1.6, в).

Обычно это плоский конденсатор, емкость которого зависит от площади электрода S , m^2 , толщины эпидермиса d м и его диэлектрической проницаемости ϵ , которая в свою очередь зависит от многих факторов: частоты приложенного напряжения, температуры кожи, наличия в коже влаги и др. Значение R_b практически не зависит от площади электродов, частоты тока, а также от приложенного напряжения и равно примерно 500—700 Ом.

1.5.2 Факторы, влияющие на сопротивление тела человека

а) Зависимость сопротивления тела человека от состояния кожи

Сопротивление кожи, а следовательно, и тела в целом резко уменьшается при повреждении ее рогового слоя, наличии влаги на ее поверхности, интенсивном потовыделении и загрязнении [11].

Повреждения рогового слоя – порезы, царапины, ссадины и другие микротравмы — могут снизить сопротивление тела человека до значения, близкого к значению сопротивления его внутренних тканей (500–700 Ом), что, безусловно, увеличивает опасность поражения человека током.

Увлажнение кожи понижает ее сопротивление даже в том случае, если влага обладает большим удельным сопротивлением. Так, увлажнение сухих рук сильно подсоленной водой снижает сопротивление тела на 30–50, а дистиллированной водой — на 15–35%.

Объясняется это тем, что влага, попавшая на кожу, растворяет находящиеся на ее поверхности минеральные вещества и жирные кислоты, выведенные из организма вместе с потом и кожным салом, и становится более электропроводной.

При длительном увлажнении кожи роговой слой ее разрыхляется, насыщается влагой, в результате чего его сопротивление почти полностью утрачивается.

Таким образом, работа сырыми руками или в условиях, вызывающих увлажнение каких-либо участков кожи, создает предпосылки для тяжелого исхода в случае попадания человека под напряжение.

Следовательно, работа в условиях, вызывающих усиленное потовыделение, усугубляет опасность поражения человека током.

Загрязнение кожи различными веществами, в особенности хорошо проводящими ток (металлическая или угольная пыль, окалина и т. п.), сопровождается снижением ее сопротивления подобно тому, как это наблюдается при поверхностном увлажнении кожи.

Кроме того, токопроводящие вещества, проникая в выводные протоки потовых и сальных желез, создают в коже длительно существующие токопроводящие каналы, резко понижающие ее сопротивление.

Таким образом, токарь по металлу, шахтер и лица других специальностей, у которых руки загрязняются токопроводящими веществами, подвержены большей опасности поражения током, чем лица, работающие чистыми сухими руками.

б) Зависимость сопротивления тела человека от параметров электрической цепи

Электрическое сопротивление зависит также от места приложения электродов к телу человека, значений тока и приложенного напряжения, рода и частоты тока, площади электродов, длительности прохождения тока и некоторых других факторов [11].

Род и частота тока. Экспериментально показано, что Z_{Π} для постоянного тока больше, чем для переменного.

Разница велика при $U_{\text{пр}} < 5-10 \text{ В}$. С ростом $U_{\text{пр}}$ разница уменьшается, и при $U_{\text{пр}} = 40-50 \text{ В}$ они практически одинаковы (рисунок 1.7).

Зависимость Z_{Π} от площади электродов приведена на рисунке 1.8. Видно, что с ростом частоты эта зависимость практически исчезает.

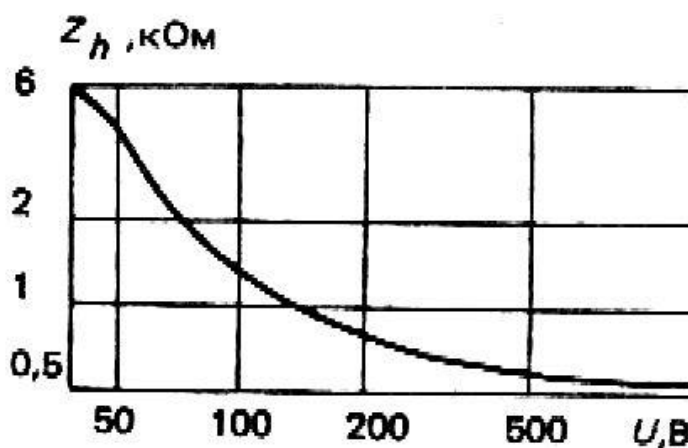


Рисунок 1.7 – Зависимость полного сопротивления человека от напряжения прикосновения $f=50 \text{ Гц}$

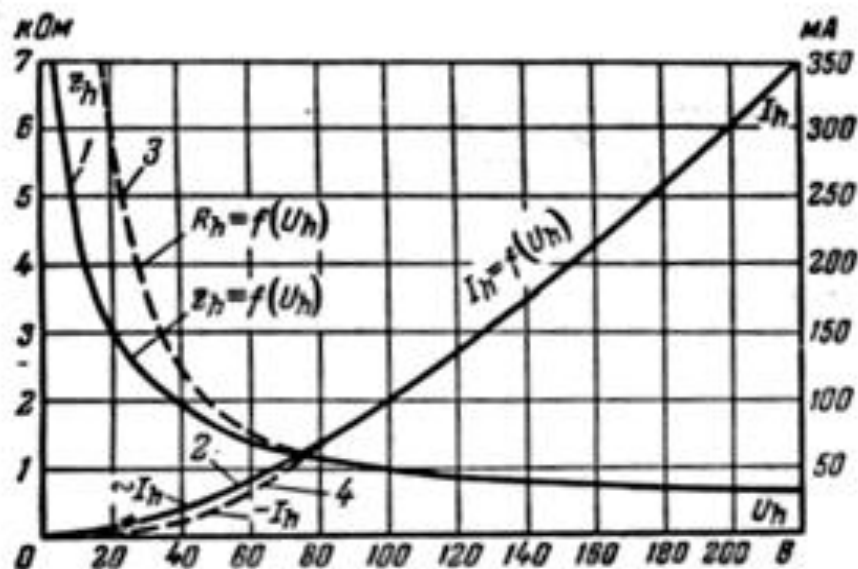


Рисунок 1.8 – Зависимость сопротивления тела человека и протекающего через него тока от напряжения; 1, 2 – переменный ток, 3, 4 – постоянный ток

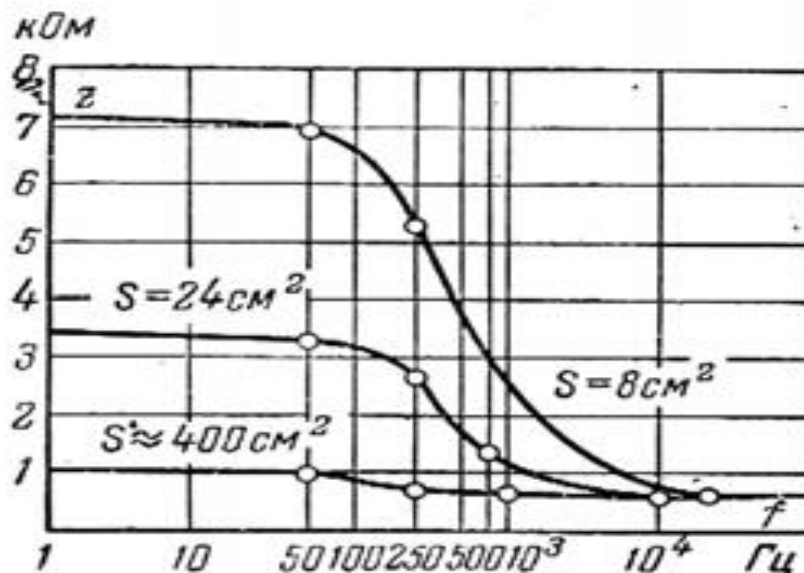


Рисунок 1.9 – Зависимость сопротивления тела человека от частоты f и площади электродов S

в) Место приложения электродов оказывает влияние потому, что сопротивление кожи у одного и того же человека на разных участках тела неодинаковое. Кроме того, различным (хотя и в незначительных пределах) оказывается и внутреннее сопротивление при изменении длины пути тока по внутренним тканям организма.

Разница в значениях сопротивления кожи на разных участках тела объясняется рядом факторов, в том числе: различной толщиной рогового слоя

кожи; неравномерным распределением потовых желез на поверхности тела; неодинаковой степенью наполнения кровью сосудов кожи. Наименьшим сопротивлением обладает кожа лица, шеи, рук на участке выше ладоней, в особенности на стороне, обращенной к туловищу, подмышечных впадин, тыльной стороны кистей рук.

г) Увеличение тока, проходящего через тело человека, сопровождается усилением местного нагрева кожи и раздражающего действия на ткани. Это в свою очередь вызывает рефлекторно, т. е. через центральную нервную систему, быструю ответную реакцию организма в виде расширения сосудов кожи, а следовательно, усиление снабжения ее кровью и повышение потоотделения, что и приводит к снижению электрического сопротивления кожи в этом месте.

г) Повышение напряжения, приложенного к телу человека, $U_{пр}$ вызывает уменьшение в десятки раз его полного сопротивления Z_h , которое в пределе приближается к наименьшему значению сопротивления подкожных тканей тела (примерно 300 Ом). Замеры, произведенные в США во время казней на электрическом стуле, подтверждают, что с ростом напряжения сопротивление тела быстро падает. Так, во время одной казни при напряжении в несколько вольт сопротивление составляло 40 кОм. при 110 В – 10 кОм и, наконец, при 2000 В – 200 Ом.

д) Род и частота тока. Опыты показывают, что сопротивление тела человека постоянному току больше, чем переменному любой частоты. При $f=0$, что соответствует постоянному току, сопротивление имеет наибольшее значение $2R_{э} + R_{в} = R_h$; с ростом частоты тока z_h уменьшается (в результате уменьшения емкостного сопротивления) и в пределе, когда $f = \infty$, становится равным внутреннему сопротивлению тела $R_{в}$.

е) Площадь электродов S оказывает непосредственное влияние на полное сопротивление тела человека: чем больше S, тем меньше z_h . С ростом частоты тока зависимость z_h от S уменьшается и при 10–20 кГц влияние площади электродов прекращается полностью.

ж) Длительность протекания тока заметно влияет на сопротивление кожи, а следовательно, на z_h в целом, вследствие усиления с течением времени кровоснабжения участков кожи под электродами, потоотделения.

При большем напряжении, а следовательно, при большем токе сопротивление тока снижается быстрее, что объясняется, по-видимому, более интенсивным воздействием на кожу тока большего значения. Например, замеры, произведенные в США во время одной казни на электрическом стуле, показали, что сопротивление тела человека, равное 800 Ом в момент включения напряжения 1600 В, через 50 с снизилось до 516 Ом, т. е. на 35%.

з) Зависимость сопротивления тела человека от физиологических факторов и окружающей среды.

На значение z_h , кроме рассмотренных, влияют и другие факторы, хотя и в значительно меньшей степени.

Пол и возраст. У женщин, как правило, сопротивление тела меньше, чем у мужчин, а у детей – меньше, чем у взрослых, у молодых людей меньше, чем у пожилых. Объясняется это, очевидно, тем, что у одних людей кожа тоньше и нежнее, у других – толще и грубее. Физические раздражения, возникающие неожиданно для человека: болевые (уколы и удары), звуковые, световые и др. могут вызвать на несколько минут снижение сопротивления тела на 20–50%.

Уменьшение или увеличение парциального давления кислорода в воздухе по сравнению с нормой соответственно снижает или повышает сопротивление тела человека. Следовательно, в закрытых помещениях, где парциальное давление кислорода, как правило, меньше, опасность поражения током при прочих равных условиях выше, чем на открытом воздухе.

Повышенная температура окружающего воздуха (30–45°C) или тепловое облучение человека вызывает некоторое понижение z_h , даже если человек в этих условиях находится кратковременно (несколько минут) и у него не наблюдается усиления потовыделения. Одной из причин этого может быть усиление снабжения сосудов кожи кровью в результате их расширения, что является реакцией организма на тепловое воздействие.

2 Пути уменьшения опасных видов напряжений

2.1 Явления при стекании тока в землю

Опасность поражения человека электрическим током во многом определяется явлениями, возникающими при стекании электрического тока в землю.

Стекание тока в землю происходит только через проводник, находящийся с нею в непосредственном контакте. Такой контакт может быть случайным или преднамеренным.

В последнем случае проводник или группа соединенных между собой проводников, находящихся в контакте с землей, называется заземлителем.

Причинами стекания тока в землю является: замыкание токоведущей части на заземленный корпус электрооборудования; падения провода на землю; использование земли в качестве провода и т.д.

Во всех этих случаях происходит резкое снижение потенциала заземлившейся части электрооборудования I_3 , B до значения, равного произведению тока, стекающего в землю, I_3 , A , на сопротивление, которое этот ток встречает на своем пути, т. е. сопротивление заземлителя растеканию тока R_3 , Ом:

а) Распределение потенциала на поверхности земли [11].

Рассмотрим в качестве примера случай стекания тока в землю через шаровой заземлитель. Шаровые заземлители на практике, как правило, не применяются. Однако использование их в качестве примеров удобно при изложении рассматриваемого вопроса, поскольку при этом резко упрощаются

математические выводы. Для большего упрощения считаем, что земля во всем своем объеме однородна, т. е. в любой точке обладает одинаковым удельным сопротивлением ρ , Ом м.

Пусть мы имеем шаровой заземлитель радиусом r , м, погруженный в землю на бесконечно большую глубину (так глубоко, что можно пренебречь влиянием поверхности земли). Через этот шар в землю стекает ток I_z . А, который подается к заземлителю с помощью изолированного проводника (рисунок 2.1).

Требуется получить уравнение для потенциала ϕ , В, в некоторой точке объема земли S , отстоящей от центра заземлителя на расстоянии x , м, или, иначе говоря, уравнение потенциальной кривой.

Поскольку, как нами принято, земля однородна, ток в ней будет растекаться от шара равномерно и симметрично во все стороны (по радиусам шара) и плотность его в земле будет убывать по мере удаления от заземлителя (по мере увеличения сечения слоя земли, через которое проходит ток).

На расстоянии x , м, от центра шара плотность тока, А/м² (рисунок 2.1).

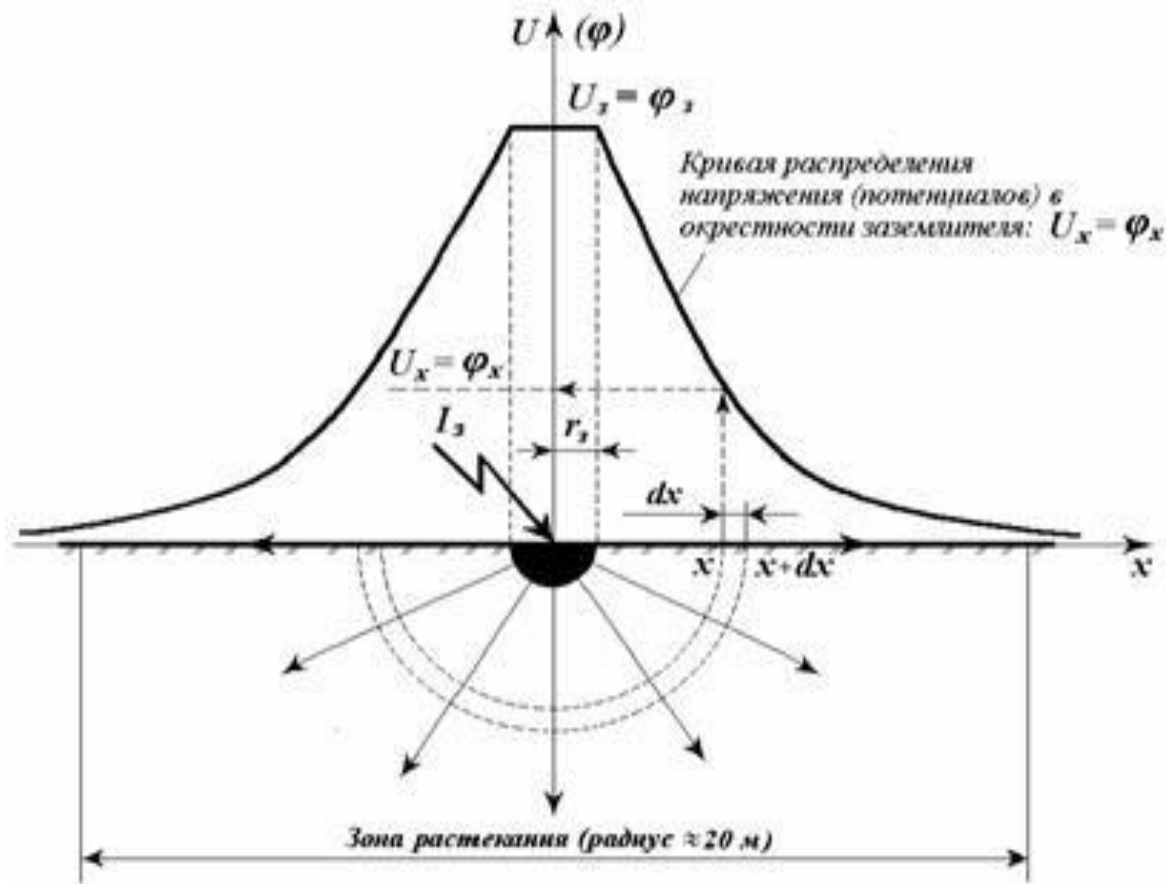


Рисунок 2.1 – Зона растекания тока через одиночный заземлитель

Причинами стекания тока в землю является замыкание токоведущей части на заземленный корпус электрического оборудования, падение провода на землю, использование земли в качестве провода и т.п. Во всех этих случаях

происходит резкое снижение потенциала (т.е. напряжения относительно земли).

2.2 Распределение потенциала на поверхности земли через одиночный шаровой заземлитель

Рассмотрим в качестве примеров случай стекания тока в землю через шаровой и стержневой заземлители. Шаровые заземлители на практике, как правило, не применяются. Однако использование их в качестве примеров удобно при изложении рассматриваемого вопроса, поскольку при этом резко упрощаются математические выводы. Для большего упрощения считаем, что земля во всем своем объеме однородна, т. е. в любой точке обладает одинаковым удельным сопротивлением ρ , Ом м.

Пусть мы имеем шаровой заземлитель радиусом r , м, погруженный в землю на бесконечно большую глубину (так глубоко, что можно пренебречь влиянием поверхности земли). Через этот шар в землю стекает ток I_3 , А, который подается к заземлителю с помощью изолированного проводника (рисунок 2.2). Требуется получить уравнение для потенциала φ , В, в некоторой точке объема земли C , отстоящей от центра заземлителя на расстоянии x , м, или, иначе говоря, уравнение потенциальной кривой. Так как земля однородна, ток в ней будет растекаться от шара равномерно и симметрично во все стороны (по радиусам шара) и плотность его в земле будет убывать по мере удаления от заземлителя (по мере увеличения сечения слоя земли, через которое проходит ток) [7,11]. На расстоянии x , м, от центра шара плотность тока, А/м² (рисунок 2.1):

$$\delta = I_3/4\pi x^2. \quad (2.1)$$

В объеме земли, где проходит ток, возникает так называемое *поле растекания тока*. Теоретически оно простирается до бесконечности. Однако в действительных условиях уже на расстоянии 20 м от заземлителя сечение слоя земли, через которое проходит ток, оказывается столь большим, что плотность тока здесь практически равна нулю. Следовательно, в данном случае, т. е. при шаровом заземлителе малого радиуса, поле растекания можно считать ограниченным объемом сферы радиусом примерно 20 м.

Напряженность электрического поля равна падению напряжения, отнесенного к единице длины линии напряженности поля, т. е. на единице пути, совпадающего с линией напряженности поля. В данном случае:

$$E = dU/dX, \quad (2.2)$$

где (dU — падение напряжения, В на участке dx , м, в элементарном слое земли толщиной dx (см. рисунок 2.1).

Пользуясь (2.1 и 2.2), легко определить потенциал любой точки в объеме земли, например точки С. Он равен падению напряжения в грунте на участке от x до бесконечности:

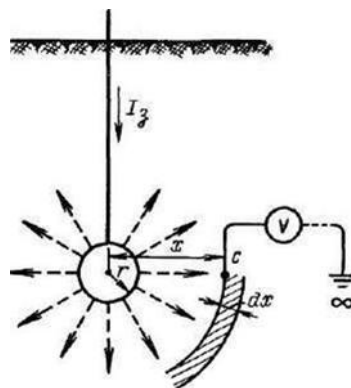


Рисунок 2.2 – Шаровой заземлитель, погруженный в землю на большую глубину

$$\varphi = \int_x^{\infty} dU. \quad (2.3)$$

$$dU = E dx = \delta \rho * dx / 4\pi x^2. \quad (2.4)$$

Решив этот интеграл, получим искомое уравнение для потенциала точки С, т. е. уравнение потенциальной кривой:

$$\varphi = I_z \rho / 4\pi x. \quad (2.5)$$

Минимальный потенциал, т. е. $\varphi = 0$, будет иметь точка, отстоящая от заземлителя на расстоянии $x = \infty$. Практически область нулевого потенциала начинается на расстоянии примерно 20 м от заземлителя. Потенциал точек на поверхности земли в данном случае равен нулю, поскольку, как мы условились, заземлитель находится от поверхности земли на бесконечно большом расстоянии.

Максимальный потенциал будет при наименьшем значении x , равном радиусу заземлителя, т. е. непосредственно на заземлителе (потенциал шарового заземлителя):

$$\varphi = I_z \rho / 4\pi r. \quad (2.6)$$

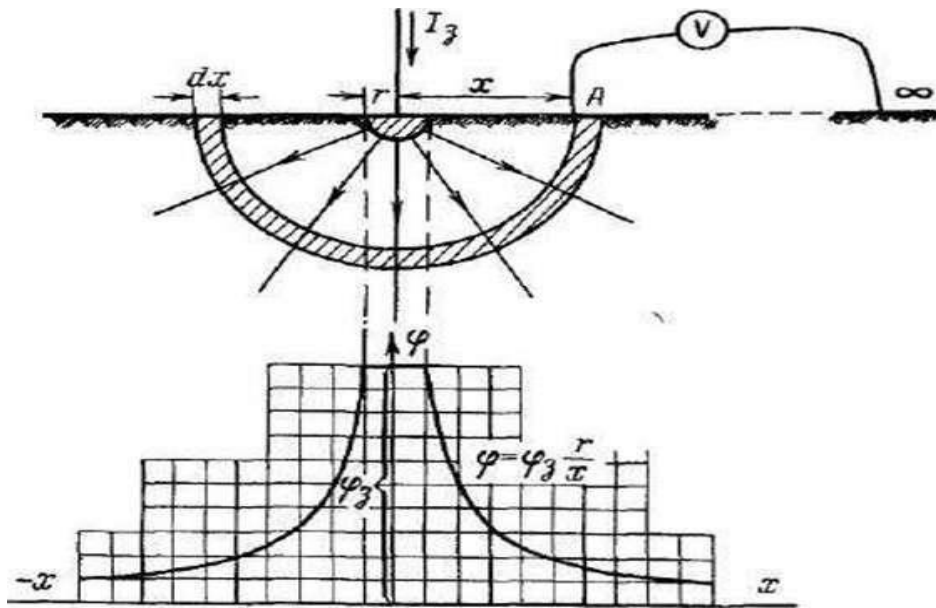


Рисунок 2.3 – Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полушарового заземлителя

Разделив (2.5) на (2.6) получим:

$$\varphi = \varphi_3 r / x. \quad (2.7)$$

Или обозначив $\varphi_3 r$ через K , получим уравнение равносторонней гиперболы:

$$\varphi = K * 1/x. \quad (2.8)$$

Следовательно, потенциал на поверхности земли вокруг полушарового заземлителя изменяется по закону гиперболы, уменьшаясь от максимального значения φ_3 до нуля по мере удаления от заземлителя (рисунок 2.2). Эквипотенциальные линии на поверхности земли представляют собой концентрические окружности, центром которых является центр заземлителя.

При этом под сопротивлением заземлителя растеканию тока понимают сопротивление грунта растеканию тока, стекающего в землю с заземлителя данной формы и размеров.

2.3 Стеkanie тока в землю через групповой заземлитель

По условиям безопасности заземление должно обладать сравнительно малым сопротивлением, обеспечить которое можно путем увеличения геометрических размеров одиночного заземлителя (электрода) или применения нескольких параллельно соединенных электродов, именуемых в совокупности групповым заземлителем.

Второй путь во много раз экономичнее по затрате металла и другим условиям.

Кроме того, при нескольких электродах можно выровнять потенциальную кривую на территории, где они размещаются, что в ряде случаев играет решающую роль в обеспечении безопасности обслуживающего персонала.

Поэтому на практике применяют, как правило, групповые заземлители.

Распределение потенциала на поверхности земли

При бесконечно больших расстояниях между электродами группового заземлителя (обычно более 40 м) поля растекания токов вокруг них практически не взаимодействуют, т. е. ток каждого электрода проходит по «своему» отдельному участку земли, по которому токи других заземлителей не проходят.

В этом случае вокруг каждого электрода возникают самостоятельные потенциальные кривые, взаимно не пересекающиеся (рисунок 2.4).

При этом потенциалы всех электродов равны, даже если электроды имеют разные размеры, а следовательно, через них проходят токи разного значения, и их потенциальные кривые имеют разную форму.

При малых расстояниях между электродами группового заземлителя (менее 40 м) поля растекания токов как бы накладываются одно на другое, а потенциальные кривые электродов взаимно пересекаются и, складываясь, образуют непрерывную суммарную потенциальную кривую группового заземлителя [7, 11] (рисунок 2.5).

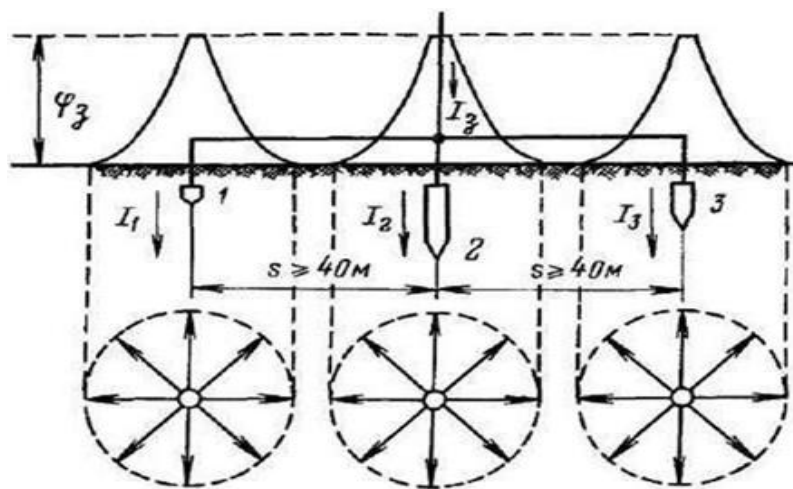


Рисунок 2.4 – Потенциальные кривые и поля растекания тока группового заземлителя при расстояниях между электродами $S > 40$ м:
1, 2, 3 – электроды заземления

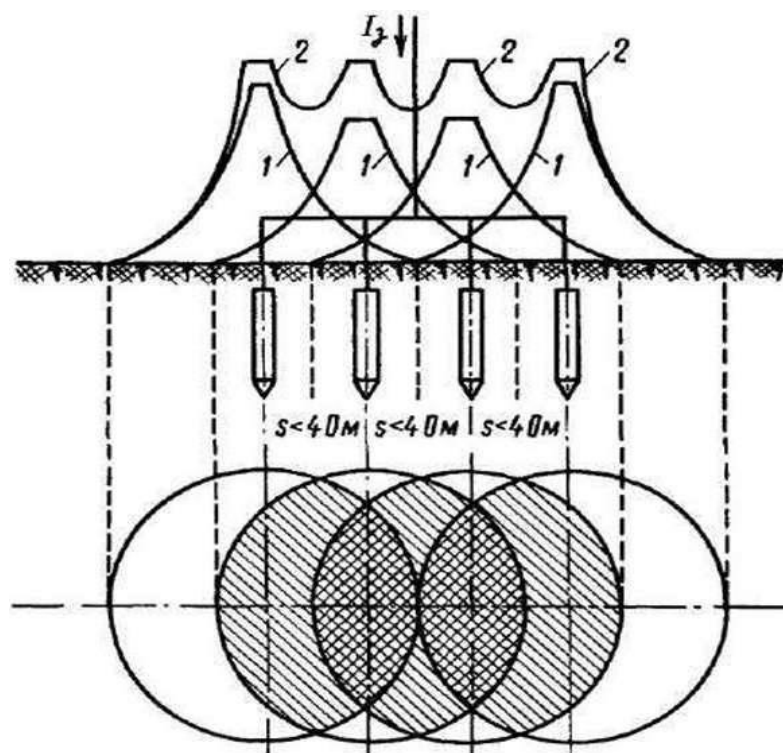


Рисунок 2.5 – Потенциальная кривая и поле растекания тока группового заземлителя при расстояниях между электродами $S < 40$ м:

1 – собственные потенциальные кривые электродов, 2 – суммарная потенциальная кривая

В результате поверхность земли на участках между электродами приобретает некоторый потенциал. При этом форма суммарной потенциальной кривой зависит от расстояния между электродами, их взаимного расположения, числа, формы и размеров.

2.4 Напряжение прикосновения

Напряжением прикосновения U_{np} называется напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, или падение напряжения в сопротивлении тела человека, В:

$$U_{np} = I_h R_h, \quad (2.8)$$

где I_h — ток, проходящий через человека по пути рука — ноги, А; R_h — сопротивление тела человека, Ом.

Одна из этих точек имеет потенциал заземлителя φ_z , В, а другая — потенциал основания в том месте, где стоит человек, В. В этом случае напряжение прикосновения будет:

$$U_{np} = \varphi_{осн}. \quad (2.9)$$

Или с учетом (7.4) и (7.5):

$$U_{пр} = \varphi_3 \alpha_1, \quad (2.10)$$

где α_1 — коэффициент, называемый коэффициентом напряжения прикосновения или просто коэффициентом прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\alpha_1 = (1 - \varphi_{осн} / \varphi_3) \leq 1. \quad (2.11)$$

а) Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе.

Например, на корпусах электродвигателей, заземленных с помощью одиночного заземлителя (электрода) (рисунок 2.6), при замыкании на корпус одного из этих двигателей на заземлителе и всех присоединенных к нему металлических частях, появится потенциал φ_3 . Поверхность земли вокруг заземлителя также будет иметь потенциал, изменяющийся по кривой, зависящей от формы и размеров заземлителя (электрода).

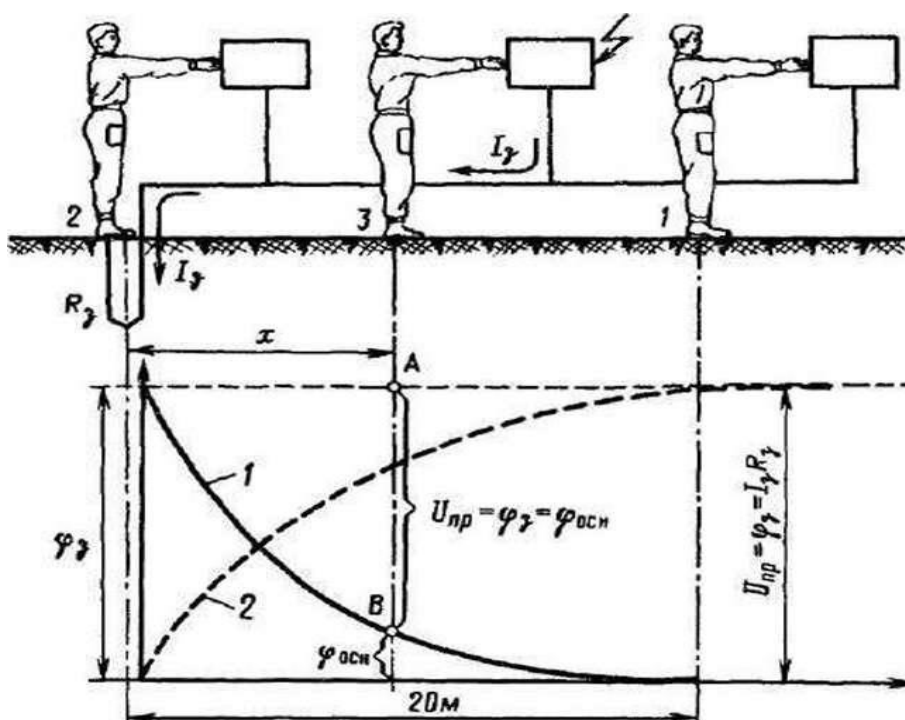


Рисунок 2.6 – Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе:
1 – потенциальная кривая; 2 – кривая изменения $U_{пр}$ при изменении расстояния

Напряжение прикосновения для человека, касающегося заземленного корпуса двигателя и стоящего на земле (см. случай 1 на рисунке 2.7),

определяется отрезком АВ и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния x между человеком 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 $S > 20$ м (случай 2 на рисунке 2.7), напряжение прикосновения имеет наибольшее значение:

$$U_{np} = \varphi_3; \text{ при этом } \alpha_1 = 1.$$

При наименьшем значении x , т. е. когда человек стоит непосредственно на заземлителе (случай 3 на рисунке 2.7):

$$U_{np} = 0 \text{ и } \alpha_1 = 0.$$

Это — безопасный случай: человек не подвергается воздействию напряжения, хотя он и находится под потенциалом заземлителя φ_3 .

Коэффициент α_1 изменяется в пределе от 0 до 1 в зависимости от расстояния, т.е.:

$$1 \leq \alpha_1 \leq 0.$$

Замыканием на корпус, или, точнее, электрическим замыканием на корпус, называется случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. Замыкание на корпус может быть результатом, например, повреждения изоляции, случайного касания токоведущей части корпуса машины, падения провода, находящегося под напряжением, на нетоковедущие металлические части и т. п. Замыкание на корпус показано на рисунке молниеобразной стрелкой.

в) Напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек.

Ток, стекающий в землю через человека, стоящего на земле, полу и другом основании, преодолевает сопротивление не только тела человека, но и этого основания, вернее, тех его участков, с которыми имеют контакт подошвы ног человека (сопротивление обуви, носков и т. п. в данном случае во внимание не принимается).

Сопротивление основания, на котором стоит человек, называют сопротивлением растеканию тока основания ног. Введем коэффициент α_2 , учитывающий падение напряжения в дополнительной цепи человека:

$$\alpha_2 = R_h / (R_h + R_{об} + R_{пер}), \quad (2.12)$$

где $R_{об}$, $R_{пер}$ — соответственно сопротивление обуви и переходное сопротивление между основанием и обувью.

Коэффициент α_2 изменяется в пределе от 0 до 1 в зависимости от расстояния, т.е.:

$$1 \leq \alpha_2 \leq 0.$$

Тогда напряжение прикосновения можем записать в следующем виде:

$$U_{np} = \varphi_3 \alpha_1 \alpha_2. \quad (2.13).$$

2.5 Напряжение шага

Напряжением шага называется напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек, т.е. падение напряжения в сопротивлении тела человека, В:

$$U_{ш} = I_h R_h, \quad (2.14)$$

где I_h — ток, проходящий через человека по пути нога – нога, А; R_h – сопротивление тела человека, Ом.

В этом случае напряжением шага будет являться разность потенциалов φ_x и φ_{x+a} двух точек на поверхности земли в зоне растекания тока, которые находятся на расстоянии x и $(x + a)$ от заземлителя, и на расстоянии шага одна от другой, на которых одновременно стоит человек (рисунок 2.7). При этом длина шага a принимается равной 0,8 м. Таким образом, напряжение шага $U_{ш}$ будет:

$$U_{ш} = \varphi_x - \varphi_{x+a}. \quad (2.15)$$

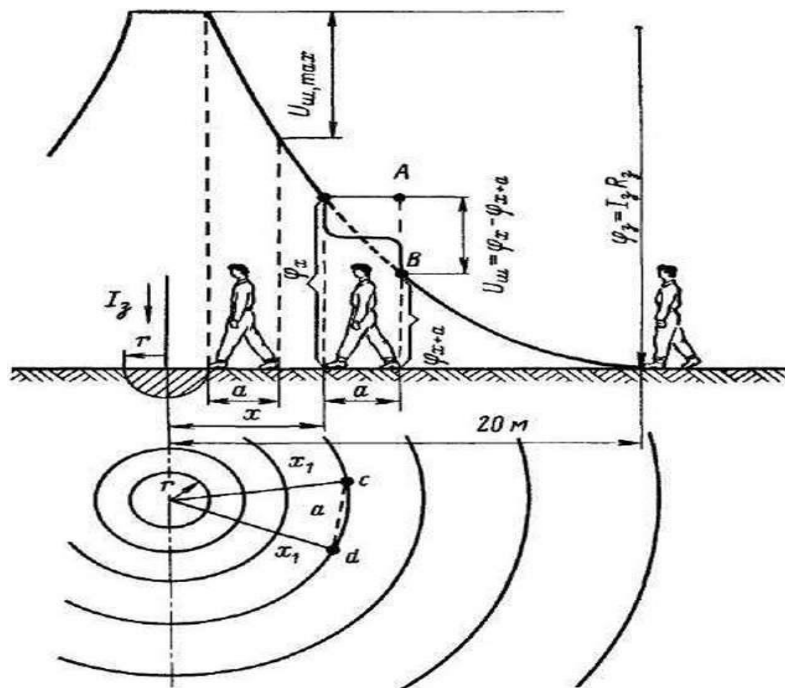


Рисунок 2.7 – Напряжения шага при одиночном заземлителе

Введем коэффициент β_1 , учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\beta_1 = (\varphi_x - \varphi_{x+a}) / \varphi_3 < 1 \quad (2.16)$$

При одиночном заземлителе:

$$\beta_1 = ra/x(x+a), \quad (2.17)$$

где r – расстояние от центра заземлителя, м; a – длина шага, м.

При $x = \infty$ (практически при $x = 20$ м) $U_{ш} = 0$ и $\beta_1 = 0$. Коэффициент β_1 изменяется в пределе от 0 до 1 в зависимости от расстояния, т.е.:

$$1 > \beta_1 \geq 0.$$

Тогда напряжение прикосновения можем записать в следующем виде:

$$U_{ш} = \varphi_3 \beta_1. \quad (2.18).$$

Введем коэффициент β_2 , учитывающий падение напряжения в дополнительной цепи человека:

$$\beta_2 = R_h / (R_h + R_{об} + R_{пер}), \quad (2.19)$$

где $R_{об}$, $R_{пер}$ – соответственно сопротивление обуви и переходное сопротивление между основанием и обувью.

Коэффициент β_2 изменяется в пределе от 0 до 1 в зависимости от расстояния, т.е.:

$$1 \geq \beta_2 \geq 0.$$

Тогда напряжение прикосновения можем записать в следующем виде:

$$U_{ш} = \varphi_3 \beta_1 \beta_2. \quad (2.20).$$

2.6 Пути снижения опасных видов напряжения

Оба вида опасного напряжения $U_{пр}$ и $U_{ш}$ зависят от сопротивления в дополнительной цепи человека. Для снижения $U_{пр}$ и $U_{ш}$ необходимо увеличить сопротивление в дополнительной цепи человека путем использования:

- 1) диэлектрических перчаток, галош, ковриков;
- 2) на территории подстанций щебенки, обладающей хорошими диэлектрическими свойствами.

3. Для уменьшения $U_{ш}$:

- уменьшение длины шага;
- расположение электродов в глубине грунта на расстоянии 50–70 сантиметров.

4. Применение частой сетки с вертикальными электродами по периметру уменьшит оба опасных вида напряжений [12].

В пределах площади, на которой размещены электроды группового заземлителя, напряжение шага меньше, чем при одиночном заземлителе, но также изменяется от некоторого максимального значения до нуля при удалении от электродов (рисунок 2.8).

Наибольшее напряжение шага будет, как и при одиночном заземлителе в начале потенциальной кривой, т. е. когда человек одной ногой стоит непосредственно на электроде (или на участке земли, под которым зарыт электрод), а другой — на расстоянии шага от электрода (положения А и D на рисунке 2.8).

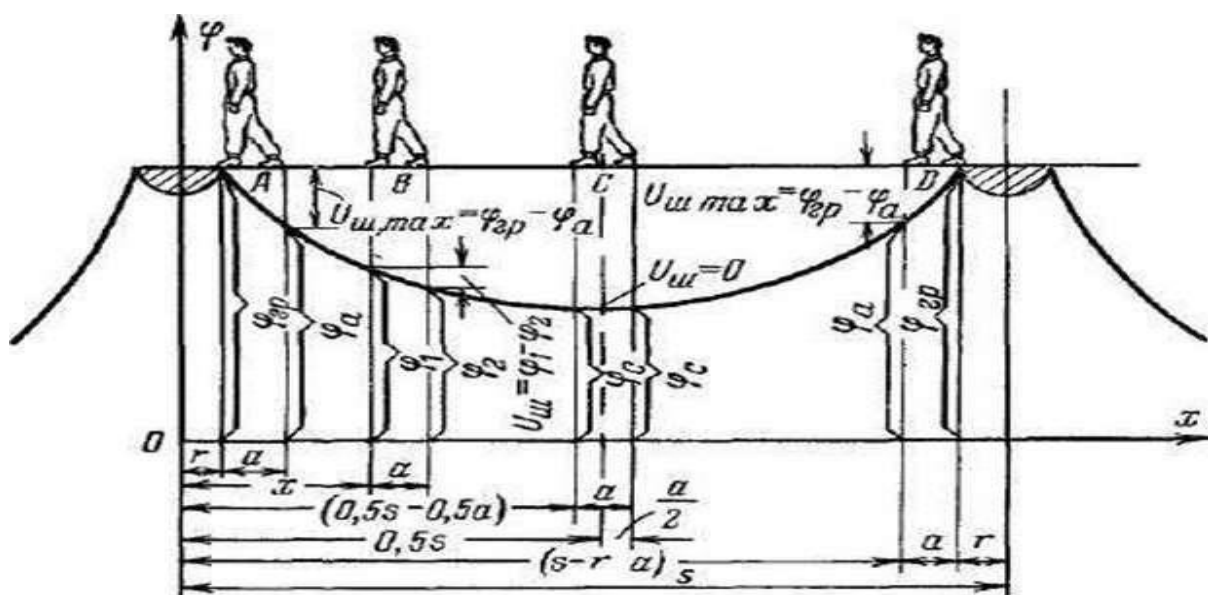


Рисунок 2.8 – Напряжение шага при групповом заземлителе

Наименьшее напряжение шага соответствует случаю, когда человек стоит на «точках» с одинаковыми потенциалами (положение С), в этом случае $U_{ш} = 0$.

Безопасность при распределенном (групповом) заземляющем устройстве может быть обеспечена не только уменьшением потенциала заземлителя, но и выравниванием потенциала на защищаемой территории до такого значения, чтобы максимальные напряжения прикосновения и шага не превышали допустимых.

Это достигается путем соответствующего размещения одиночных заземлителей на защищаемой территории.

В качестве примера на рисунке 2.9 показано распределение потенциала в момент замыкания фазы на заземленный корпус на открытой подстанции, имеющей контурное заземление.

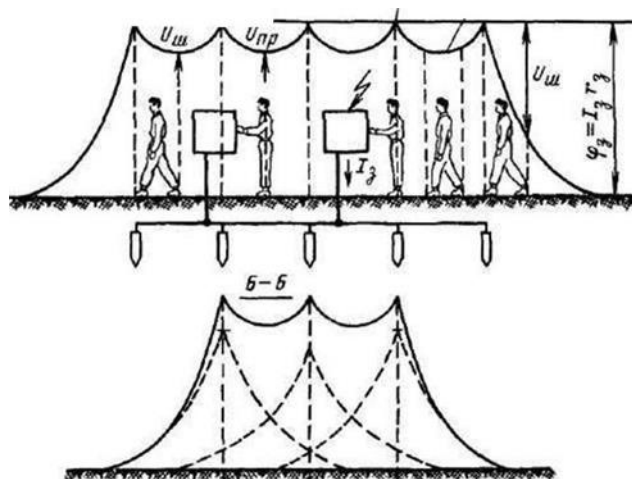


Рисунок 2.9 – Контурное заземляющее устройство:
 $U_{пр}$, $U_{ш}$ – напряжения прикосновения и шага; $\varphi_з$ – потенциал заземлителя $I_з$ – ток, стекающий в землю через заземлитель;
 $r_з$ – сопротивление заземлителя растеканию тока

Как видно из рисунка, изменение потенциала в пределах площадки, на которой размещены электроды заземлителя, происходит плавно; при этом напряжение прикосновения $U_{пр}$ и напряжение шага $U_{ш}$ имеют небольшие значения по сравнению с потенциалом заземлителя $\varphi_з$.

Однако за пределами контура по его краям наблюдается крутой спад $\varphi_з$.

Чтобы исключить в этих местах опасные напряжения шага, которые особенно высоки при больших токах замыкания на землю, по краям контура за его пределами, в первую очередь в местах проходов и проездов, укладывают в землю на различной глубине дополнительные стальные полосы, соединенные с заземлителем.

Благодаря этому спад потенциала в этих местах происходит по плавной кривой (рисунок 2.10).

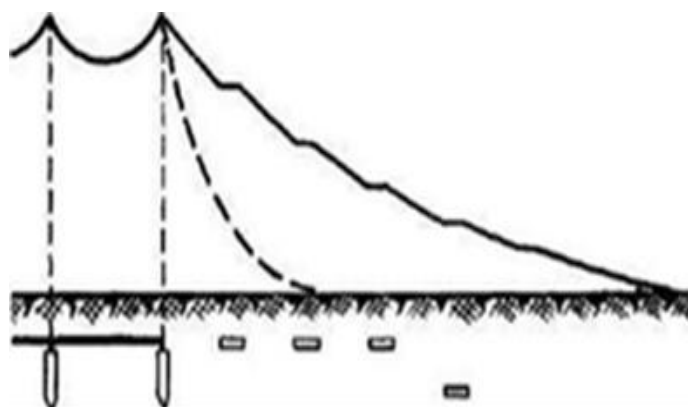


Рисунок 2.10 – Размещение дополнительных стальных полос в земле у края контура заземлителя за его пределами для снижения напряжения шага

Внутри помещений выравнивание потенциала происходит естественным путем благодаря металлическим конструкциям, трубопроводам, кабелям и подобным им проводящим предметам, связанным с разветвленной сетью заземления. Арматура железобетонных зданий также оказывает благоприятное влияние на выравнивание потенциала.

3 Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях

3.1. Общие положения

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара, т. е. прохождения тока через человека, являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая, как известно, током, проходящим через тело человека I_h , или напряжением, под которым он оказывается, т. е. напряжением прикосновения U_{np} , зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкости токоведущих частей относительно земли и т. п. [7, 11].

Схемы включения человека в цепь тока могут быть различными. Однако наиболее характерны две схемы включения: между двумя фазами электрической сети и между одной фазой и землей.

Однофазное прикосновение, как правило, менее опасно, чем двухфазное, поскольку ток, проходящий через человека, ограничивается влиянием многих факторов.

3.2 Анализ опасности трехфазных сетей

а) Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью. На рисунке 3.1 показано прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при нормальном и аварийном режиме сети.

Это смертельно опасная величина тока. В аварийном режиме сети (рисунок 3.1) человек попадет под напряжение сети больше фазного, но меньше линейного (рисунок 3.1, б).

Напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, всегда меньше линейного, но больше фазного:

$$U_{л} < U_{np} > U_{ф}. \quad (3.2)$$

Это положение иллюстрируется векторной диаграммой, приведенной на рис. 3.1, б, и соответствующей рассматриваемому случаю.

Таким образом, прикосновение человека к исправному фазному проводу сети с глухозаземленной нейтралью в аварийный период более опасно, чем при нормальном режиме.

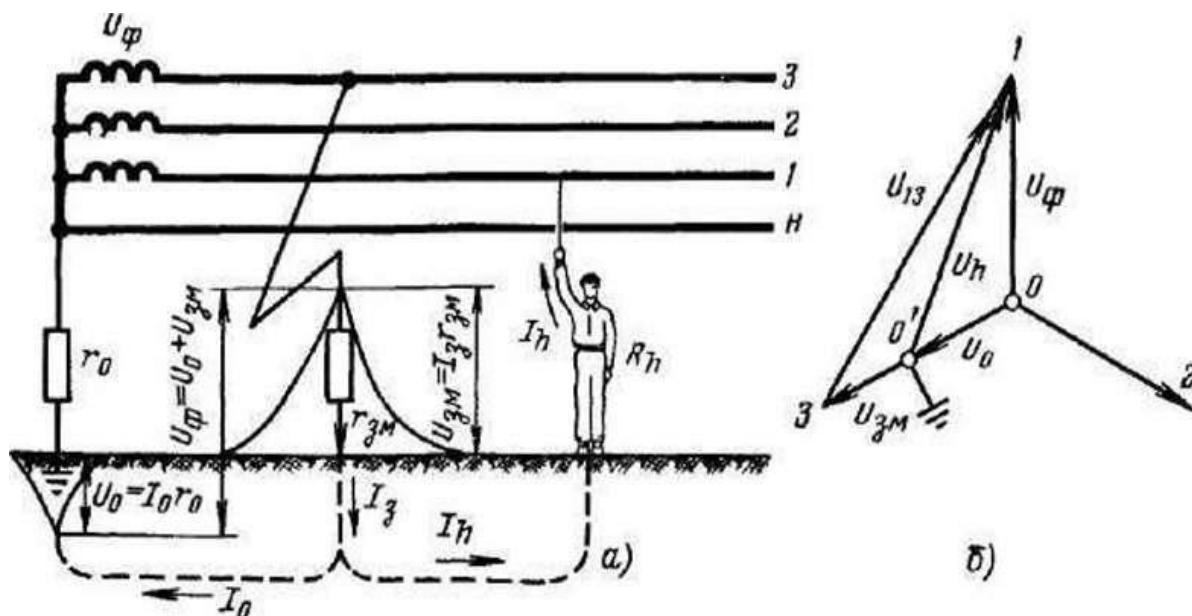


Рисунок 3.1 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при нормальном и аварийном режиме:

а – схема сети; б – векторная диаграмма напряжений

Ток, проходящий через тело человека, определяется по закону Ома:

$$I_h = U_\phi / R_h + r_o. \quad (3.1)$$

При $U_\phi = 220$ в, R_h, r_o равных соответственно 1000 Ом и 4 Ом:

$$I_h = 220 / (1000 + 4) \approx 220 \text{ мА.}$$

б) Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

Произведем анализ опасности сети с изолированной нейтралью в нормальном и аварийном режиме. На рисунке 3.2 приведена схема сети.

Ток, проходящий через человека, в нормальном режиме сети определяется по следующей формуле:

$$I_h = U_\phi / (Z_{из} / 3 + R_h), \quad (3.3)$$

где $Z_{из}$ – сопротивление изоляции проводов;

R_h – сопротивление тела человека, $R_h = 1000 \text{ Ом}$.

Сопротивление изоляции проводов представляет собой параллельную веточку, состоящую из двух параллельно соединенных сопротивлений: омического сопротивления изоляции и емкостного сопротивления сети. Емкостное сопротивление сети зависит от ее протяженности.

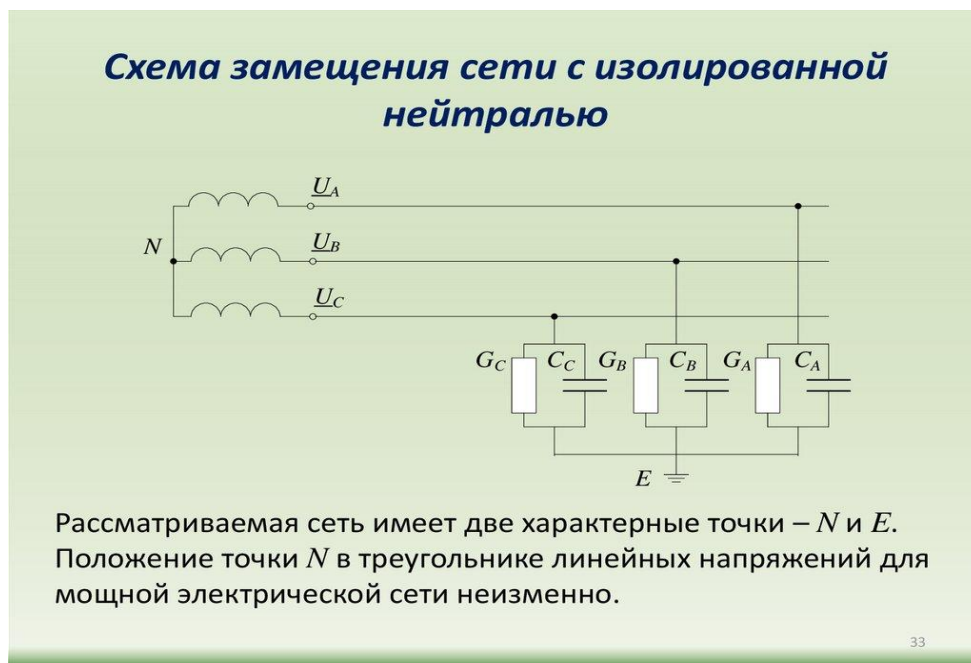


Рисунок 3.2 – Схема замещения сети с изолированной нейтралью

Оценим опасность прикосновения к фазному проводу для следующих трех случаев.

1. Сеть короткая, неразветвленная (рисунок 3.3).

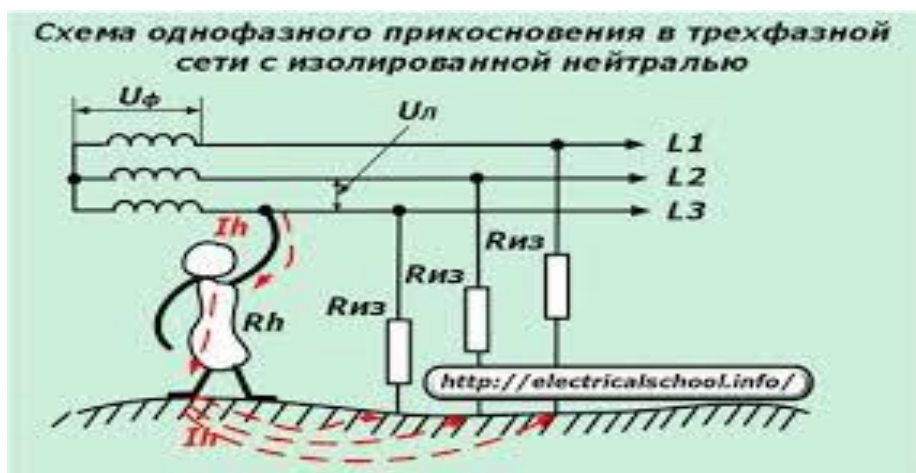


Рисунок 3.3 – Схема короткой (неразветвленной сети) с изолированной нейтралью

Для такой сети емкость $C \rightarrow 0$, тогда $X_c \rightarrow \infty$, при некоторой протяженности получается, что $R_{из} \ll X_c$ тогда выражение (3.3) будет иметь следующий вид:

$$I_h = U_{\phi} / (R_{из}/3 + R_h). \quad (3.4)$$

Анализ формулы (3.4) показывает, что для коротких или неразветвленных сетей большое значение имеет уровень омического сопротивления сети. Например, для сети номинальным напряжением $U_n = 10$ кВ ($U_{\phi} = 10 \cdot 10^3 / 1,73 = 5780,35$ В) уровень изоляции отвечает требованиям ПУЭ и составляет 500 кОм. Тогда ток, проходящий через тела человека, определенный по формуле 3.4, будет составлять:

$$I_h = \frac{5780,35}{\frac{500000}{3} + 1000} = 0,034 \text{ А} = 34 \text{ мА}.$$

1. Сеть длинная, разветвленная (рисунок 3.4).

Для такой сети емкость сети увеличивается $\uparrow C$, емкостное сопротивление уменьшается $\downarrow X_c$ и при некоторой протяженности сети $X_c \ll R_{из}$, тогда выражение (3.3) будет иметь следующий вид:

$$I_h = U_{\phi} / (X_c/3 + R_h). \quad (3.5)$$

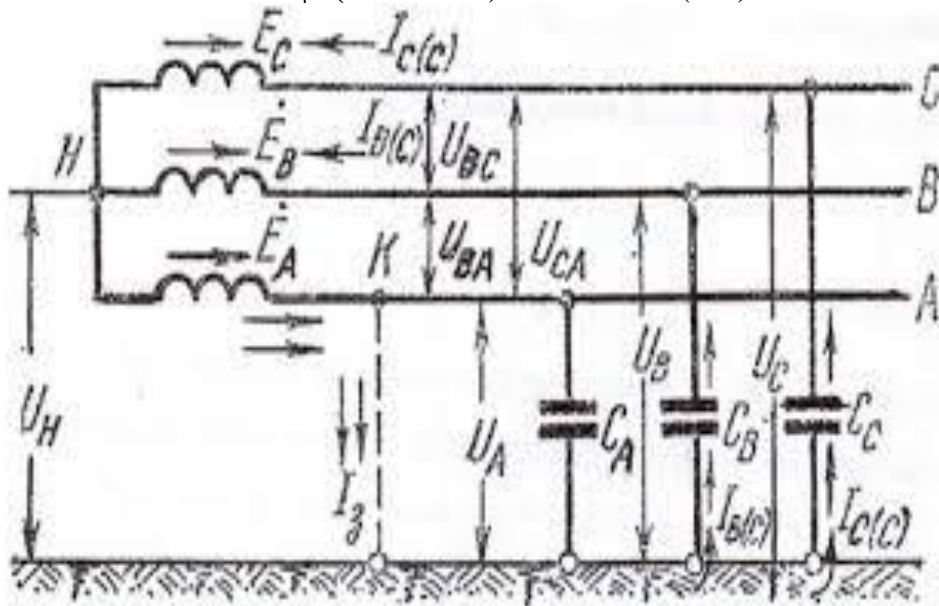
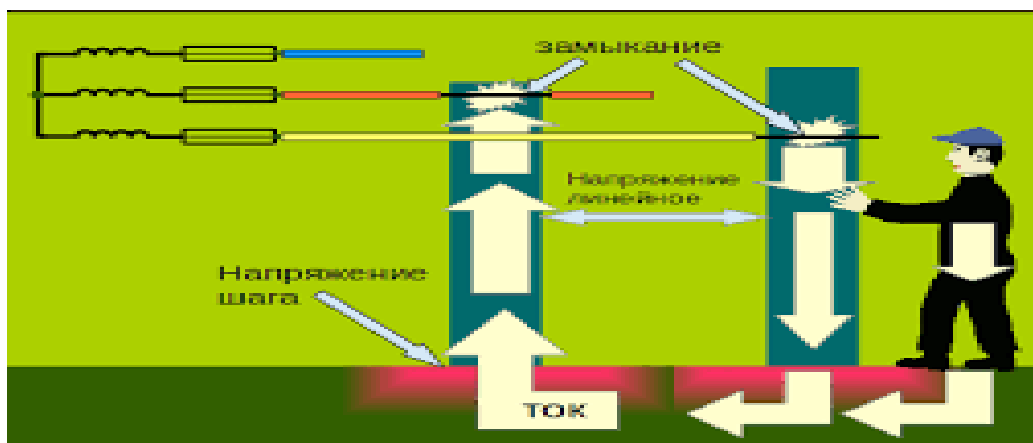


Рисунок 3.4 – Схема сети с изолированной нейтралью большой протяженности

Анализ формулы (3.5) показывает, что сети длинные, разветвленные очень опасны, и величина тока I_h увеличивается с увеличением протяженности сети.

На рисунке 3.5 показана сеть с изолированной нейтралью большой протяженности в аварийном режиме.



3.5 Рисунок – Сеть с изолированной нейтралью большой протяженности в аварийном режиме

Схема замещения сети показана на рисунке 3.6.

При аварийном режиме сети (например, одна из фаз замкнула на землю) (рисунок 3.6) напряжение прикосновения и ток, проходящий через тело человека, определяются по следующему выражению:

$$U_{np} = U_{л}, \quad (3.7)$$

$$I_h = U_{л} / R_h. \quad (3.8)$$

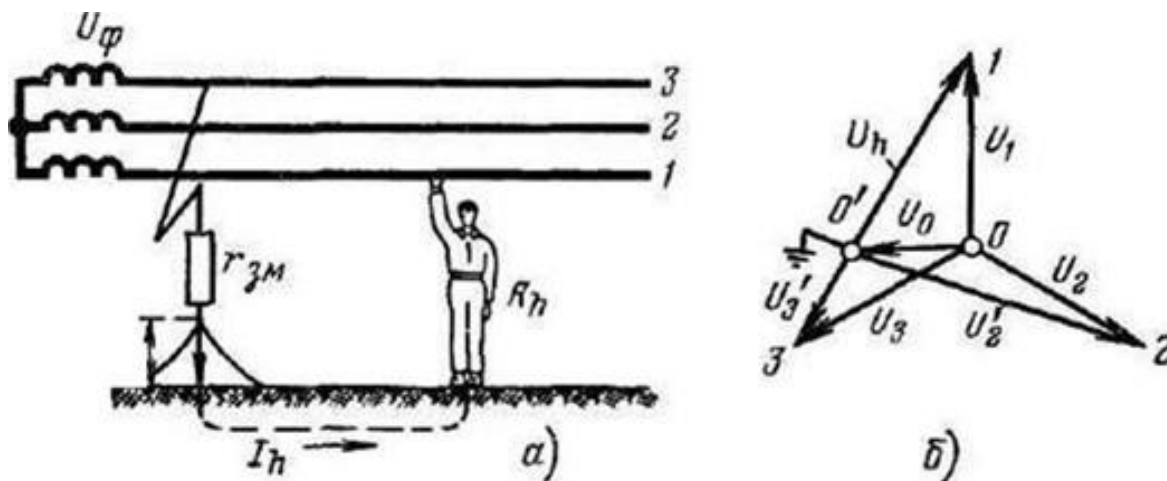


Рисунок 3.6 – Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме: а – схема сети; б – векторная анаграмма напряжений

Например, для сети напряжением $U_{л} = 6$ кВ, $U_{np} = 6 \cdot 1000 / \sqrt{3} = 3468$ В, $I_h = 3468 / 1000 = 3,468$ А.

Напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправной фазе трехфазной сети с изолированной

нейтралью, будет значительно больше фазного и приближается к линейному напряжению сети.

4 Классификация помещений, электроустановок, изделий по условиям электробезопасности

Электроустановки – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, потребления, передачи и распределения электроэнергии и преобразования ее в другие виды энергии [1, 2].

Помещения, где размещаются электрические установки, по степени опасности поражения персонала электрическим током классифицируют [1, 2] на следующие группы:

1. Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из условий, создающих повышенную опасность: сырость – относительная влажность превышает 75%; наличие токопроводящей пыли; наличие токопроводящих полов – металлических, земляных, железобетонных, кирпичных; высокой температуры – длительное время превышающей 35°C;

2. Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность – высокая сырость (относительная влажность близка к 100%); наличие химической, агрессивной среды, действующей разрушающе на изоляцию и токоведущие части оборудования; одновременное действие двух и более условий повышенной опасности;

3. Помещения без повышенной опасности – в них отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Электроустановки по условиям электробезопасности подразделяют на электроустановки с напряжением до 1000 В и электроустановки с напряжением выше 1000 В.

По режиму нейтрали: с изолированной нейтралью, с глухо заземленной нейтралью и с эффективно заземленной нейтралью. По токам замыкания на землю: установки с большими токами замыкания ($I_z \geq 500$ А) и с малыми токами замыкания ($I_z < 500$ А).

Электротехнические изделия по способу защиты человека от поражения электрическим током делят на 5 классов защиты:

0 – изделия, имеющие рабочую изоляцию и не имеющие элементов заземления;

0I – изделия с рабочей изоляцией, элементом для заземления и проводом без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания;

I – изделия, в которых предусмотрена рабочая изоляция, элемент для заземления и провод с заземляющей жилой и вилкой с заземляющим контактом;

II – изделия с двойной или усиленной изоляцией, без элементов заземления;

III – изделия, в которых нет внутренних и внешних электрических цепей с напряжением выше 42 В.

5 Технические способы и средства обеспечения электробезопасности. Защита от прямых прикосновений

5.1 Виды прикосновений в электроустановках

Поражение электрическим током происходит в результате прикосновения или недопустимого приближения человека к металлическим частям, находящимся или оказавшимся под напряжением.

Прикосновения к неизолированным токоведущим частям, находящимся под напряжением (оголённые провода, клеммы, шины и т.п.), называют прямыми; прикосновения к нетокковедущим частям, оказавшимся под напряжением (металлические корпуса электрооборудования), называют косвенными.

Различают однополюсные и двухполюсные прикосновения [13]. При однополюсном прикосновении человек, стоящий на земле, одной рукой касается неизолированной токоведущей части или корпуса электроприёмника, оказавшегося под напряжением. Ток протекает по петле: рука – нога. При двухполюсном прикосновении человек, изолированный от земли, двумя руками касается неизолированных проводов разных фаз или фазного и нулевого провода. Изоляция человека от земли может обеспечиваться сопротивлением пола и обуви. Петля тока: рука – рука.

Наиболее опасным является прямое двухполюсное прикосновение.

Однополюсные прикосновения, как прямое, так и косвенное, в установках напряжением до 1000 В с глухо заземленной нейтралью также опасны.

Прямые прикосновения случаются, как правило, по вине человека – самого пострадавшего либо должностного лица, не обеспечившего безопасность. Косвенные прикосновения происходят из-за повреждения изоляции, как правило, не по вине человека и могут рассматриваться как отказ техники.

5.2 Номенклатура видов защиты

В соответствии с ГОСТ 12.1.019–79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» для обеспечения безопасности при прямых прикосновениях необходимо применять следующие технические способы и средства [14]:

- защитные оболочки;

- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная);
- изоляция рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

Для защиты от поражения электрическим током при косвенных прикосновениях применяют следующие способы и средства:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциала;
- система защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляция нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- малое напряжение;
- контроль изоляции;
- компенсация токов замыкания на землю;
- средства индивидуальной защиты.

Технические способы и средства защиты применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

5.3 Защитные оболочки, ограждения. Безопасное расположение токоведущих частей

Для защиты от случайного прикосновения к незащищённым токоведущим частям или приближения к ним на опасное расстояние они располагаются на недоступной высоте или в недоступном месте.

Если токоведущие части доступны для людей, то они могут закрываться ограждениями или заключаться в оболочки.

Ограждения обычно закрывают токоведущие части не со всех сторон, то есть обеспечивают частичную защиту от прикосновения.

Ограждения могут быть временными или стационарными, сплошными или сетчатыми. Оболочки обеспечивают различную степень защиты вплоть до полной защиты от:

- соприкосновения с токоведущими частями и попадания твёрдых тел;
- проникновения воды внутрь оболочки.

Степени защиты оболочек и их маркировка установлены [15.16].

При использовании указанных способов защиты должны быть соблюдены установленные правилами изоляционные расстояния от токоведущих частей до ограждений, оболочек, а также до работающего

поблизости человека с учётом всех его возможных поз и используемых инструментов, и приспособлений.

5.4 Изоляция токоведущих частей

ГОСТ 12.1.009–76 «Электробезопасность. Термины и определения» различает следующие виды изоляции: рабочую, дополнительную, двойную, усиленную [17.18].

Рабочая изоляция обеспечивает нормальную работу электроустановок и защиту от поражения электрическим током.

Дополнительная изоляция предусмотрена наряду с рабочей для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения рабочей изоляции.

Двойной называется изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной. Материалы, используемые для рабочей и дополнительной изоляции, имеют различные свойства, что делает маловероятным одновременное их повреждение.

Усиленная изоляция – это улучшенная рабочая изоляция, обеспечивающая такую же степень защиты от поражения электрическим током, как и двойная изоляция, но конструктивно выполненная так, что каждую из составляющих изоляции отдельно испытать нельзя.

С двойной изоляцией изготавливаются отдельные электротехнические изделия, например, ручные светильники, ручные электрические машины (электроинструмент), разделяющие трансформаторы. Часто в качестве дополнительной изоляции используется корпус электроприёмника, выполненный из изоляционного материала. Такой корпус защищает от поражения электрическим током не только при пробое изоляции внутри изделия, но и при случайном прикосновении рабочей части инструмента к токоведущей части. Если же корпус изделия металлический, то роль дополнительной изоляции играют изоляционные втулки, через которые питающий кабель проходит внутрь корпуса, и изолирующие прокладки, отделяющие электродвигатель от корпуса.

Усиленная изоляция используется только в тех случаях, когда двойную изоляцию затруднительно применить по конструктивным причинам, например, в выключателях, щёткодержателях и др.

Изделия, имеющие двойную изоляцию и металлический корпус, запрещается заземлять или занулять.

На паспортной табличке такого изделия помещается знак – квадрат внутри квадрата.

При эксплуатации электроинструмента с двойной изоляцией необходимо ежемесячное испытание изоляции мегаомметром, а при каждой выдаче для работы – проверка отсутствия замыкания на корпус при помощи специального прибора - нормометра.

5.5 Изоляция рабочего места

Согласно ПУЭ, этот способ защиты применяется при невозможности выполнения заземления, зануления и защитного отключения.

ГОСТ 12.1.019–79 предусматривает изоляцию пола, настила, площадки и т. п., а также металлических деталей в области рабочего места, потенциал которых отличается от потенциалов токоведущих частей и прикосновение к которым является предусмотренным или возможным.

Допускается обслуживание электрооборудования с изолирующих площадок при условии, что прикосновение к незаземлённым (незанулённым) частям возможно только с этих площадок и исключена возможность одновременного прикосновения к электрооборудованию и частям здания или другого оборудования.

5.6 Малое напряжение

В соответствии с ГОСТ 12.1.009–76 малым называется номинальное напряжение не более 50 В переменного и не более 110 В постоянного тока, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током.

Малое напряжение применяется, например, для питания ручного электрифицированного инструмента (класса III); местного освещения на станках; ручных светильников в помещениях с повышенной и особой опасностью; светильников общего освещения с лампами накаливания при высоте их подвеса менее 2,5 м.

При работах в особо неблагоприятных условиях должны применяться ручные светильники напряжением не выше 12 В.

Источниками малого напряжения могут быть: гальванические элементы, аккумуляторы, выпрямители, преобразователи. Наиболее же часто применяются понижающие трансформаторы.

Категорически запрещается использовать для этой цели автотрансформаторы, а также резисторы или реостаты, включенные по схеме потенциометра, так как эти устройства имеют гальваническую (электрическую) связь между первичной и вторичной сторонами, что создаёт опасность электропоражения.

В зависимости от режима нейтрали, питающей сети, следует заземлять или занулять корпус понижающего трансформатора, а также один из выводов вторичной обмотки – на случай пробоя изоляции между обмотками.

Корпуса электроприёмников малого напряжения не требуется заземлять (занулять), кроме электросварочных устройств и электроприёмников во взрывоопасных помещениях, а также при работах в особо неблагоприятных условиях (в металлических котлах, сосудах, трубопроводах и т. п.).

Применение малого напряжения является эффективным способом защиты, однако при двухполюсном прикосновении опасность поражения

остается. Широкому распространению способа препятствует его неэкономичность: снижение напряжения ведёт к возрастанию тока, что вызывает необходимость увеличения сечения проводов.

5.7 Сигнализация, блокировка, знаки безопасности

Сигнализация (звуковая, световая) применяется в дополнение к другим способам и средствам защиты. Чаще всего она предупреждает о наличии напряжения на электроустановке или её части. Имеются устройства, сигнализирующие о недопустимом приближении к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Таковы сигнализаторы, встроенные в монтёрскую защитную каску, или устройства, подающие звуковой и световой сигналы при приближении стрелы автокрана к проводам воздушной линии [18].

Недоступность токоведущих частей может обеспечиваться применением различного рода блокировок (электрических, механических и др.) Блокировки исключают доступ к токоведущим частям, пока с них не снято напряжение, либо обеспечивают автоматическое снятие напряжения при появлении возможности прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям. Часто блокировка применяется совместно с сигнализацией.

В Правилах подчёркивается, что устройства, сигнализирующие об отключённом состоянии аппаратов, блокирующие устройства, являются только вспомогательными средствами, на основании показаний или действия которых не допускается делать заключение об отсутствии напряжения. Вместе с тем указание этих устройств о наличии напряжения являются безусловным признаком недопустимости приближения к данному оборудованию.

Плакаты и знаки безопасности относятся к электробезопасным средствам. По своему назначению они делятся на предупреждающие, запрещающие, предписывающие и указательные, а по характеру применения могут быть постоянными и переносными.

Перечень, размеры, форма, места и условия применения плакатов и знаков безопасности регламентированы Правилами применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках.

5.8 Электрическое разделение сети

Как самостоятельный способ защиты или в дополнение к другому, например, к малому напряжению, можно применять разделение сети на отдельные, электрически не связанные между собой участки. Для этого применяют разделяющий трансформатор. По ГОСТ 12.1.009-76 – это специальный трансформатор, предназначенный для отделения приёмника энергии от первичной сети и сети заземления (рисунок 5.1)

ПУЭ [1.2] предъявляют к разделяющим трансформаторам определённые требования.

Они должны удовлетворять специальным техническим условиям в отношении надёжности конструкции и повышенных испытательных напряжений, что исключает пробой изоляции между первичной и вторичной обмотками.

От разделяющего трансформатора разрешается питание только одного электроприёмника с номинальным током плавкой вставки или расцепителя автомата на первичной стороне не более 15 А.

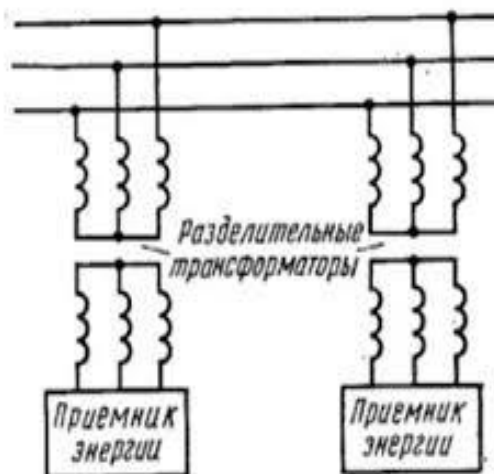


Рисунок 5.1 – Схема использования разделяющего трансформатора

Заземление вторичной обмотки трансформатора не допускается. Корпус трансформатора в зависимости от режима нейтрали питающей сети должен быть заземлён или занулён. Заземление корпуса электроприёмника, присоединённого к такому трансформатору, не требуется.

Первичное напряжение трансформатора должно быть до 1000 В, а вторичное до 380 В, то есть трансформатор может понижать напряжение, например, до малого, но может иметь коэффициент трансформации, равный 1.

Выполнение приведённых требований обеспечивает надёжную изоляцию вторичной цепи от первичной сети, сети заземления и земли, что гарантирует безопасность однополюсного прикосновения к токоведущей части или к корпусу электроприёмника, оказавшемуся под напряжением. Сохраняется опасность поражения при двухполюсных прикосновениях, а также при двойных замыканиях во вторичной сети, однако при соблюдении всех требований ПУЭ к разделяющим трансформаторам и надлежащем контроле за их техническим состоянием вероятность таких замыканий невелика.

Разделение сети можно осуществить также с помощью преобразователя, имеющего отдельные (не связанные электрически) обмотки, и питающего только один электроприёмник (например, преобразователь частоты на 200 или 400 Гц).

Способ отличается высокой эффективностью защиты, применяется в установках до 1 кВ, работающих в условиях повышенной и особой опасности

(например, ручной электроинструмент). Недостатком способа является его неэкономичность (для каждого электроприёмника нужен разделяющий трансформатор или преобразователь).

5.9 Контроль изоляции

Поддержание сопротивления изоляции на высоком уровне уменьшает вероятность замыканий на землю, на корпус и поражений людей электрическим током. Контроль изоляции может быть приёмосдаточным, периодическим или постоянным (непрерывным) [19].

В мало разветвлённых сетях с изолированной нейтралью, где ёмкость фаз относительно земли невелика, сопротивление изоляции является основным фактором безопасности. Поэтому ПУЭ требует в сетях до и выше 1 кВ с изолированной нейтралью осуществлять постоянный контроль изоляции.

В сетях с большой ёмкостью и в сетях с заземлённой нейтралью сопротивление изоляции не определяет безопасности, однако повреждение изоляции может стать причиной поражения при прикосновении к изолированной токоведущей части. Поэтому и в таких сетях должен проводиться контроль изоляции, правда, можно ограничиться периодическим контролем.

Правила предусматривают проведение периодических проверок сопротивления изоляции мегаомметром. Измеряется сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли и между фазами на каждом участке между двумя последовательно установленными предохранителями, выключателями и другими устройствами или за последним предохранителем (выключателем).

Сопротивление изоляции каждого участка в установках напряжением до 1000 В, согласно ПУЭ, должно быть не ниже 0,5 МОм на фазу. Неудобство таких измерений состоит в том, что они должны проводиться при полном снятии напряжения с установки и при отключённых электроприёмниках (в осветительных сетях – при вывернутых лампах накаливания). В настоящее время разработаны приборы, позволяющие измерять сопротивление изоляции под напряжением и при включённых электроприёмниках.

Постоянный (непрерывный) контроль изоляции проводится под рабочим напряжением с подключёнными потребителями, поэтому он даёт информацию о величине сопротивления изоляции всей электроустановки. Наиболее простой схемой постоянного контроля изоляции является схема трёх вольтметров (рисунок 5.2).

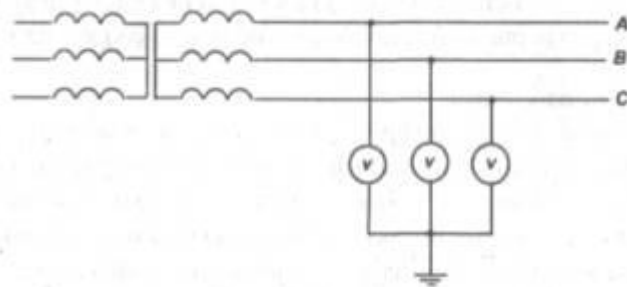


Рисунок 5.2 – Схема трёх вольтметров

Принцип действия схемы трёх вольтметров можно уяснить с помощью векторных диаграмм (рисунок 5.3).

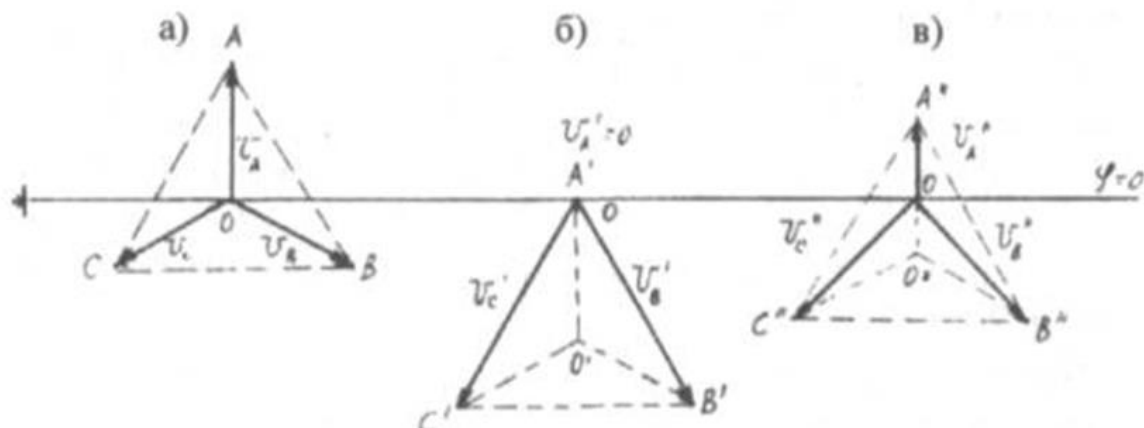


Рисунок 5.3 – Три стадии ухудшения изоляции фазы А
 а) изоляция исправна; б) глухое заземление на землю фазы А;
 в) неполное замыкание на землю фазы А

При нормальном состоянии изоляции (рисунок 5.3, а) каждый из вольтметров показывает напряжение соответствующей фазы относительно земли.

При полном (металлическом, глухом) замыкании одной из фаз, например, фазы А, на землю (рисунок 5.3, б) вольтметр, подключённый к этой фазе, покажет нуль, а вольтметры подключённые к другим фазам – линейное напряжение.

На практике чаще возникают замыкания на землю через переходное сопротивление (неполное замыкание).

В этом случае (рисунок 5.3, в) вольтметр повреждённой фазы покажет напряжение больше нуля, но меньше фазного, а вольтметры исправных фаз – напряжение больше фазного, но меньше линейного.

Конкретные значения показаний вольтметров определяются величиной переходного сопротивления в месте замыкания на землю.

Следует подчеркнуть, что в сети с изолированной нейтралью при замыкании фазы на землю искажаются лишь напряжения фаз и нейтральной точки относительно земли, тогда как напряжения междуфазные (линейные) и напряжения фаз относительно нейтральной точки сохраняются неизменными, что видно из рисунка 5.3.

Поэтому при указанных неисправностях электроснабжение потребителей не нарушается.

Вместе с тем режим однофазного замыкания на землю является аварийным и согласно ПУЭ должен быть устранен за время, не превышающее 2-х часов.

5.10 Компенсация токов замыкания на землю

Компенсация емкостного тока замыкания на землю в сетях 6–35 кВ применяется для уменьшения тока замыкания на землю, снижения скорости восстановления напряжения на поврежденной фазе после гашения заземляющей дуги, уменьшения перенапряжений при повторных зажиганиях дуги и создания условий для ее самопогасания.

Этот способ защиты применяется только в сетях выше 1 кВ с изолированной нейтралью, имеющих большую протяжённость, а следовательно, большую ёмкость фаз по отношению к земле [19,20].

В таких сетях даже при высоком качестве изоляции в случае однофазного прикосновения человек может быть поражён большой ёмкостной составляющей тока замыкания на землю (рисунок 5.4)

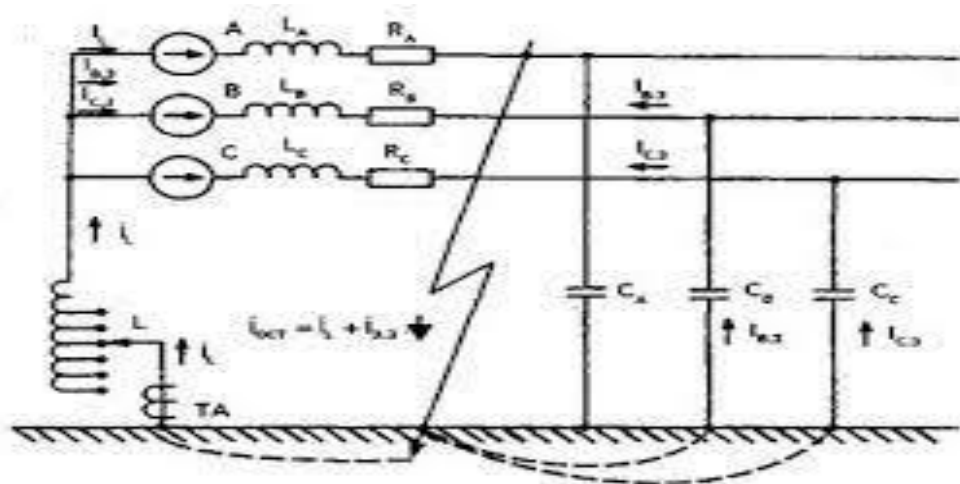


Рисунок 5.4 – Схема сети с компенсацией емкостной составляющей тока
На рисунке 5.5 приведена векторная диаграмма токов сети с компенсацией емкостной составляющей тока.

Компенсация осуществляется при помощи дугогасящего реактора, включённого между нейтралью трансформатора и землёй.

Индуктивный ток реактора и ёмкостная составляющая тока замыкания на землю находятся в противофазе и взаимно компенсируются в теле человека.

Меняя индуктивность реактора, можно добиться полной компенсации, когда ток через человека будет практически равен нулю (при исправной изоляции), то есть однофазное прикосновение человека даже к токоведущей части будет безопасным.

В этом смысле данный способ теоретически можно рассматривать как защиту не только от косвенных, но и от прямых прикосновений.

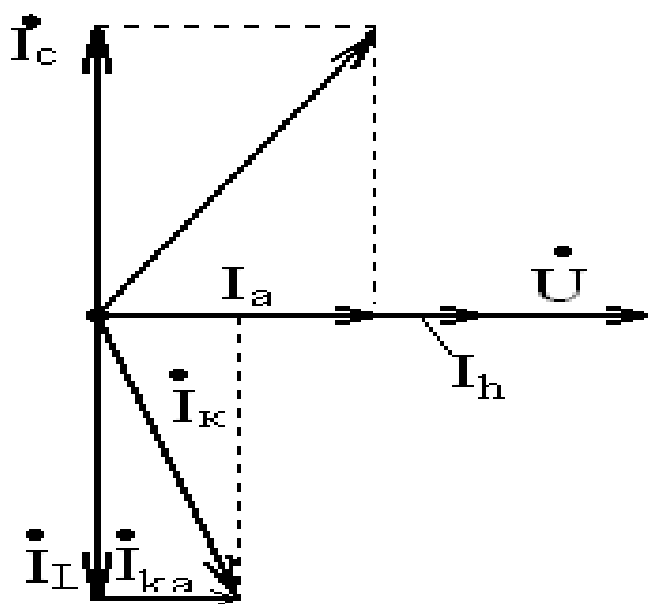


Рисунок 5.5 – Векторная диаграмма токов

5.11 Требования ПУЭ к электробезопасности электроустановок напряжением до 1 кВ

В новой редакции ПУЭ [2] для электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:

	<p>система TN</p>	<p>- система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухо заземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;</p>
	<p>система TN-C</p>	<p>- система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рисунок 5.6);</p>

Продолжение

<u>система TN-S</u>	- система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рисунок 5.7);
<u>система TN-C-S</u>	- система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то его части, начиная от источника питания (рисунок 5.8);
<u>система IT</u>	- система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы и устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рисунок 5.9);
<u>система TT</u>	- система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически не зависящего от глухо заземленной нейтрали источника (рисунок 5.10).

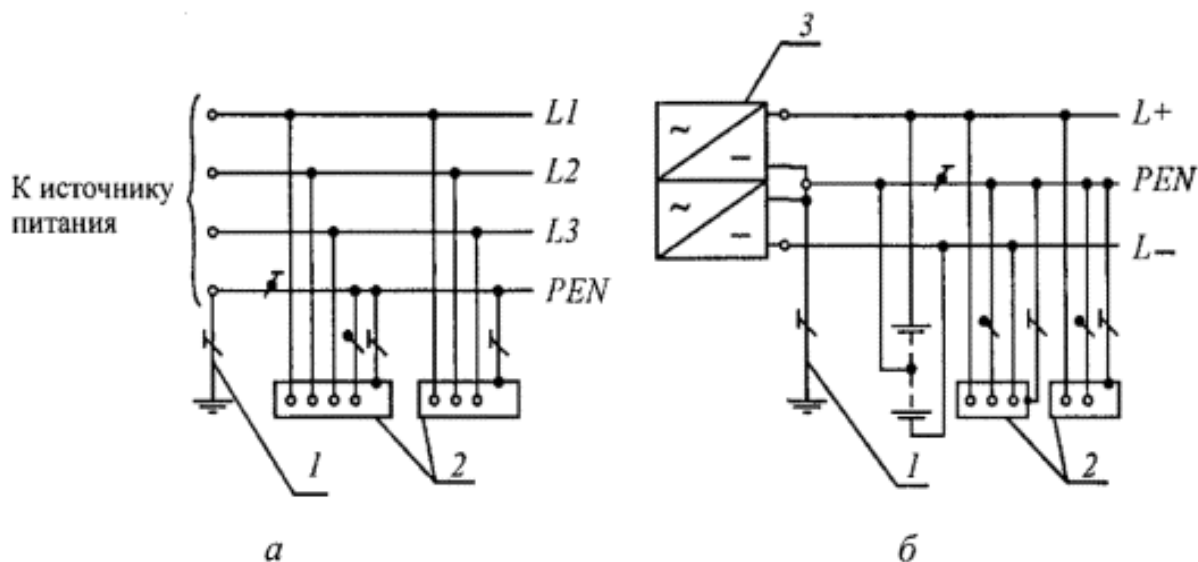


Рисунок 5.6 – Система TN-C переменного (а) и постоянного (б) тока.

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике: 1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания; 2 – открытые проводящие части; 3 – источник питания постоянного тока

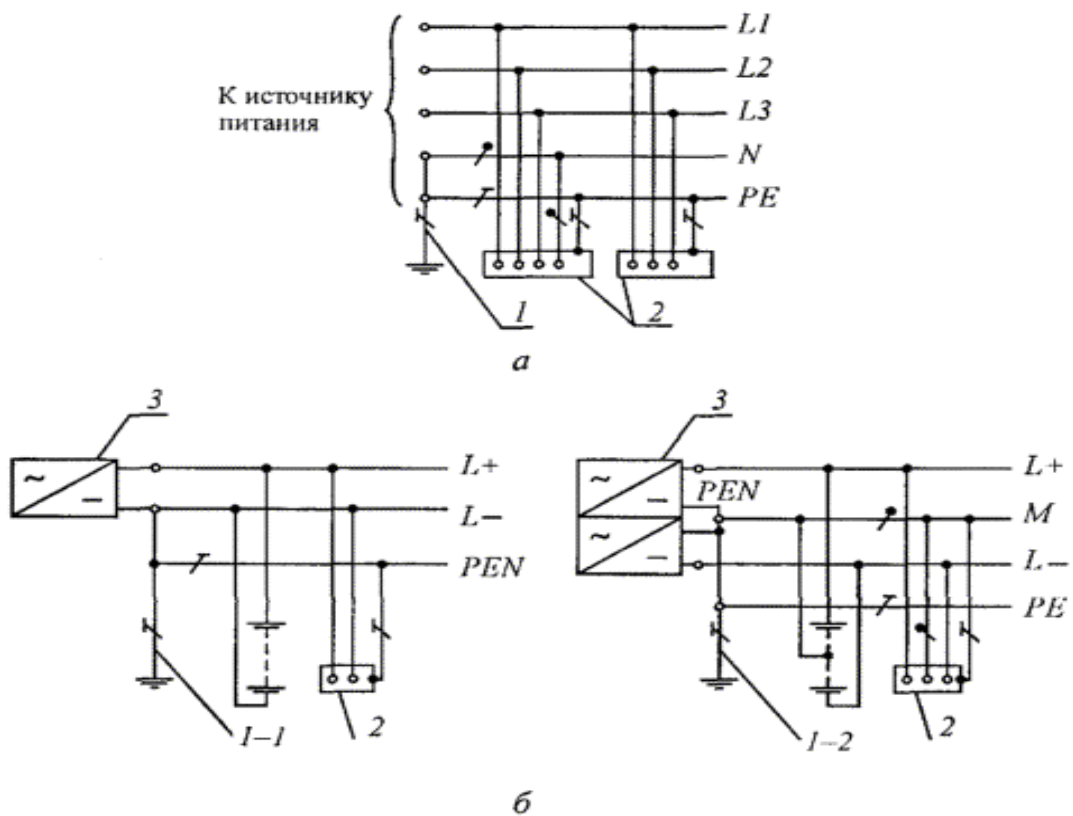


Рисунок 5.7 – Система TN-S переменного (а) и постоянного (б) тока. Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 1-1 – заземлитель вывода источника постоянного тока; 1-2 – заземлитель средней точки источника постоянного тока; 2 – открытые проводящие части; 3 – источник питания

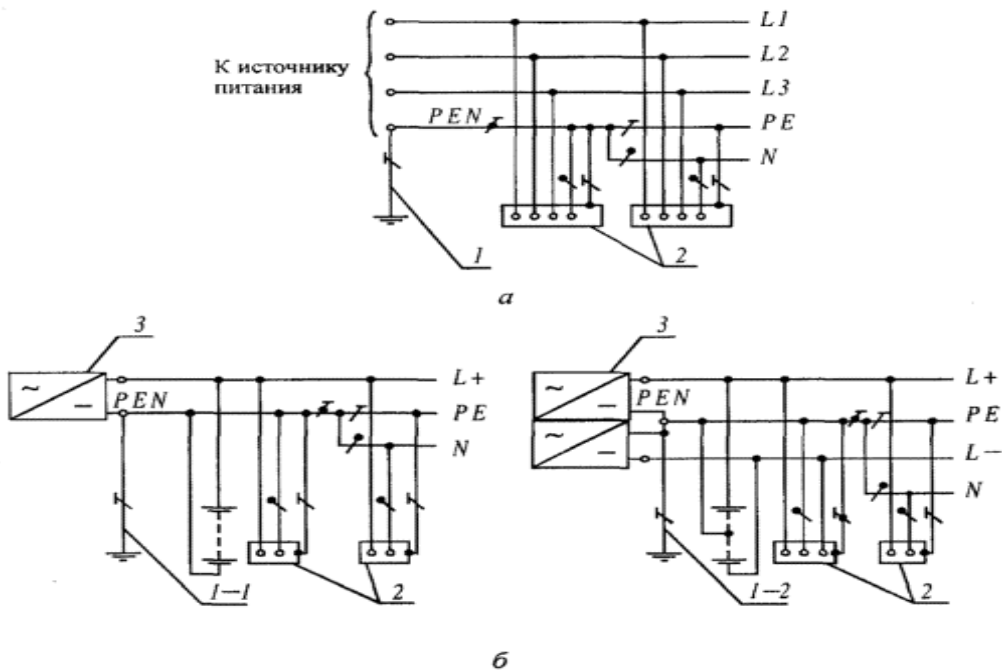


Рисунок 5.8 – Система TN-C-S переменного (а) и постоянного (б) тока.

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы: 1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 1-1 – заземлитель вывода источника постоянного тока; 1-2 – заземлитель средней точки источника постоянного тока; 2 – открытые проводящие части, 3 – источник питания

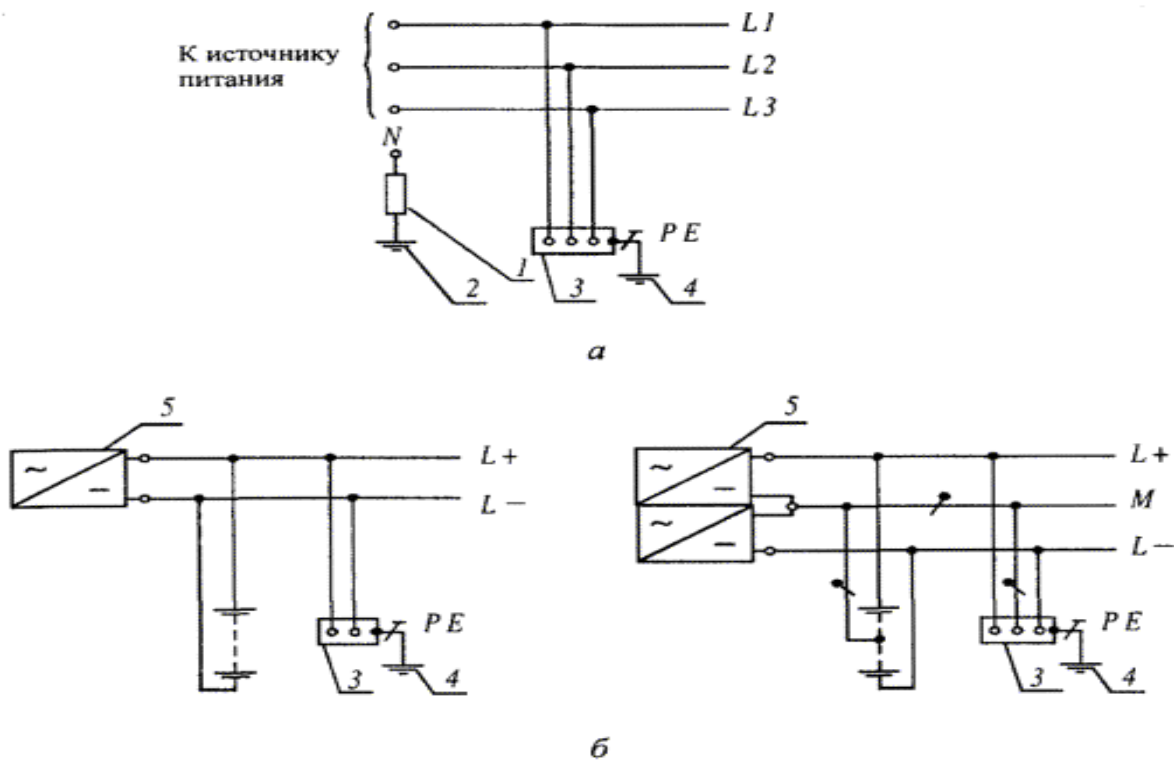


Рисунок 5.9 – Система IT переменного (а) и постоянного (б) тока. Открытые проводящие части электроустановки заземлены. Нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через большое сопротивление:

1 – сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется); 2 – заземлитель; 3 – открытые проводящие части; 4 – заземляющее устройство электроустановки; 5 – источник питания.

Первая буква – состояние нейтрали источника питания относительно земли:

- T** – заземленная нейтраль;
- I** – изолированная нейтраль.

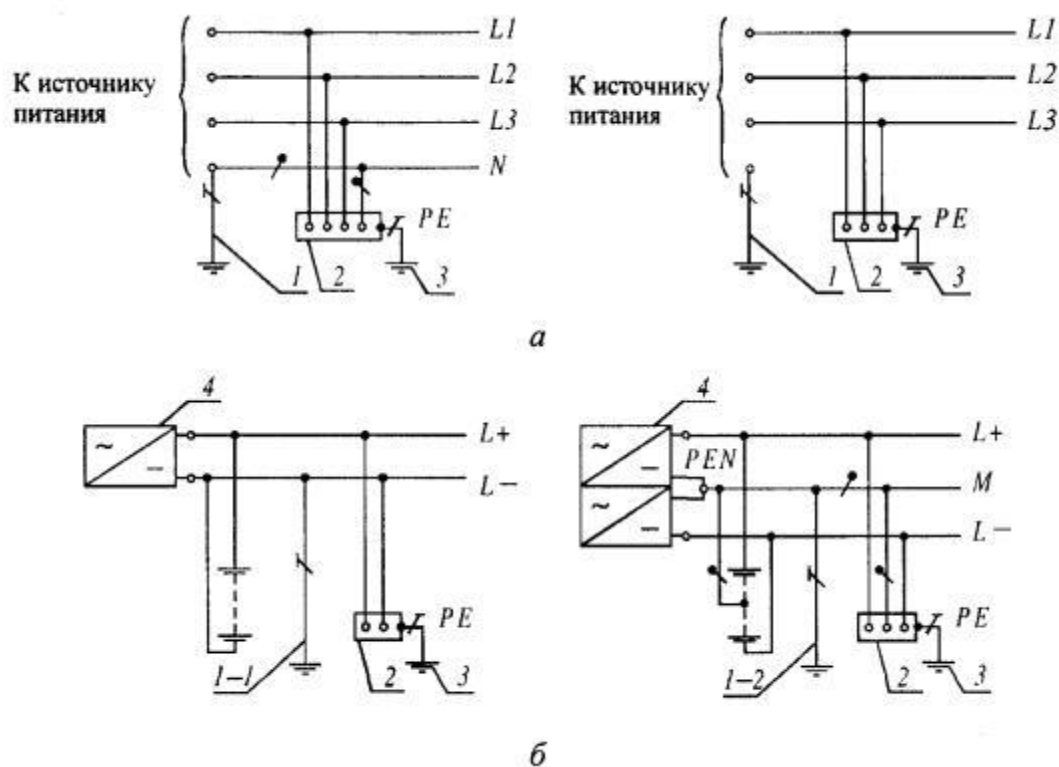


Рисунок 5.10 – Система ТТ переменного (а) и постоянного (б) тока. Открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземления, электрически независимого от заземлителя нейтрали:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 1-1 – заземлитель вывода источника постоянного тока; 1-2 – заземлитель средней точки источника постоянного тока; 2 – открытые проводящие части; 3 – заземлитель открытых проводящих частей электроустановки; 4 – источник питания

Вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли:
 Т – открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети;
 N – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

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

Третья и четвертая буквы (после N) – совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

С – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (PEN-проводник);

N – нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

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

PEN – совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

6 Технические способы и средства обеспечения электробезопасности

6.1 Защита от косвенных прикосновений

Выше рассмотрены технические меры защиты от поражения электрическим током при прямых прикосновениях к токоведущим частям. Некоторые из этих мер могут защитить не только от прямых, но и от косвенных прикосновений и в этом смысле являются универсальными. Далее рассматриваются специфические меры защиты от косвенных прикосновений. Следует подчеркнуть, что эти меры не могут по своему принципу действия обеспечить защиту от прямых прикосновений. Здесь же рассматриваются некоторые варианты совместного применения отдельных способов и средств защиты

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

- 1) защитное заземление;
- 2) автоматическое отключение питания;
- 3) уравнивание потенциалов;
- 4) выравнивание потенциалов;
- 5) двойная или усиленная изоляция;
- 6) сверхнизкое (малое) напряжение;
- 7) защитное электрическое разделение цепей.

В настоящее время наиболее широкое применение находят следующие средства: защитное заземление; зануление; защитное отключение; защитное разделение сетей; применение малых напряжений; применение изоляции; защита от случайного прикосновения; изолирующие защитные средства.

6.2 Защитное заземление

Защитное заземление – это преднамеренное соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Эквивалентом земли может быть вода реки или моря, каменный уголь в коренном залегании и т. п. Защитное заземление следует отличать от рабочего заземления и заземления молниезащиты [19.20.21].

Защитное заземление защищает от поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус. Сущность защитного заземления в сетях с изолированной нейтралью состоит в том, что все эти металлические конструкции соединяются с землей через малое сопротивление, во много раз меньшее сопротивления тела

человека, чтобы основная часть тока прошла через землю, а напряжение прикосновения снизилось до безопасного значения [21–23].

Поясним работу защитного заземления на примере сети с изолированной нейтралью (см. рисунок 6.1, а).

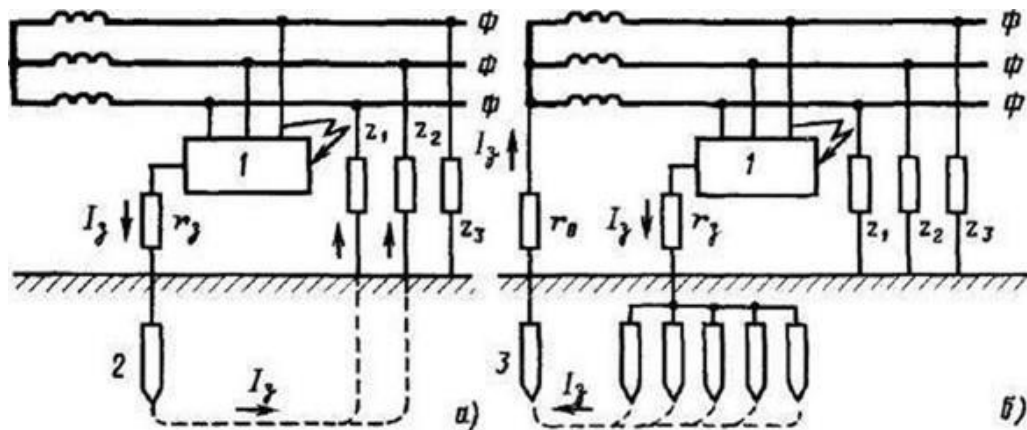


Рисунок 6.1 – Принципиальные схемы защитного заземления в сетях трехфазного тока:

а – в сети с изолированной нейтралью до 1000 В и выше, б – в сети с заземленной нейтралью выше 1000 В, 1 — заземленное оборудование, 2 – заземлитель защитного заземления, 3 — заземлитель рабочего заземления; R_0 , R_3 — сопротивления рабочего и защитного заземления

Когда заземление отсутствует, фаза так же опасна, как и непосредственное прикосновение к токоведущей части фазного провода:

$$U_{np} = U_{\phi}. \quad (6.1)$$

Тогда ток, проходящий через тело человека, будет равен:

$$I_h = (U_{np}) / R_h = I_3 R_3 / R_h * \alpha_1 * \alpha_2. \quad (6.2)$$

Если корпус заземлен, то тело человека и заземлитель оказываются включенными параллельно, образуя для общего тока I_3 замыкания на землю ветви с сопротивлениями $R_ч$ и $R_з$.

Например, в сетях с изолированной нейтралью до и выше 1000 В величина тока замыкания определяется по следующей формуле (6.3):

$$I_h = U_{\phi} / (Z_{uz}/3 + R_h). \quad (6.3)$$

В сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы

сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли. С увеличением сопротивления опасность уменьшается. С другой стороны, опасность возрастает с увеличением протяженности линий.

Рассмотрим два частных случая:

1. Сеть короткая, неразветвленная. Для этих сетей емкость сети C стремится к 0, а $X_c \rightarrow \infty$, тогда:

$$I_z = U\phi / (R_h + R_{из}/3). \quad (6.4)$$

2. Сеть длинная, разветвленная. Для этих сетей емкость сети C растет, X_c стремится к 0 и при некоторой длине сети $X_c \ll R_{из}$, тогда:

$$I_z = U\phi / (R_h + X_c/3) \quad (6.5)$$

Например, при напряжении сети $U=6$ кВ и емкости сети $C=0,03$ мкФ, $X_c=100\,000$ Ом и величина тока замыкания составит 0,101 А или 0,101 мА.

При отсутствии заземления $I_h = I_z = 101$ мА, при наличии защитного заземления $I_h = 0,101 * 4/1000 = 0,404$ мА, что значительно меньше допустимого.

Так как время срабатывания защиты превышает 1 с, то допустимый ток $I_{доп} = 6$ мА. Значит защитное заземление в сетях с изолированной нейтралью до и выше 1000 В эффективно.

Принцип действия в сетях с эффективно заземленной нейтралью. Величина тока замыкания в сетях с эффективно заземленной нейтралью определяется из выражения:

$$I_z = U\phi / (R_0 + R_z * R_h / R_z * R_h) = U\phi / (R_0 + R_z). \quad (6.6)$$

Для сети 110 кВ $\alpha_1 = 0,1$ и $\alpha_2 = 0,01$, $R_0 = R_z = 0,5$ Ом,

$$I_z = 110000 / \sqrt{3}(0,5+0,5) = 63584 \text{ А.}$$

Такая величина тока вызывает мгновенное (0,01–0,05 с) срабатывание защиты и допустимый ток через человека составит 650 мА.

Тогда $I_h = 63584 * 0,1 * 0,01 * 0,5 / 1000 = 0,0318 \text{ А} = 31,8 \text{ мА.}$

Это безопасная величина тока. В сетях с эффективно заземленной нейтралью защита обеспечивается за счет малого сопротивления защитного заземления, применения частой сетки с вертикальными электродами по периметру и увеличения сопротивления в дополнительной цепи человека.

Рассмотрим сеть до 1000 В с глухозаземленной нейтралью, для которой:

$$R_0 = R_z = 4 \text{ Ом, } U\phi = 220 \text{ В,}$$

$$I_h = 220/4+4 = 27,5 \text{ А.}$$

Такая величина тока не вызовет срабатывания защиты. Ток, проходящий через тело человека, составит:

$$I_h = 27,5 * 4 / 1000 = 0,108 \text{ А} = 108 \text{ мА.}$$

Величина тока 108 мА является опасной величиной, приводящей к фибрилляции и остановке сердца. То есть защитное заземление в сетях с глухозаземленной нейтралью не эффективно.

Область применения защитного заземления:

- сети напряжением до 1000 В переменного тока – трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью, однофазные двухпроводные, изолированные от земли, а также постоянного тока двухпроводные с изолированной средней точкой обмоток источника тока;

- сети напряжением выше 1000 В переменного и постоянного тока с любым режимом нейтральной или средней точки обмоток источников тока [19–21].

Заземляющее устройство состоит из трех элементов: заземлителя, магистрали заземления и заземляющих проводников. Заземление осуществляется соединением металлических нетоковедущих частей с заземлителями с помощью заземляющих проводников. Совокупность заземлителя и заземляющих проводников называется заземляющим устройством. Заземлители бывают естественные и искусственные. В качестве естественных заземлителей используют:

- проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы различных жидкостей и газов, кроме горючих и взрывоопасных;

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

- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле;

- рельсовые пути магистральных не электрифицированных железных дорог, подъездные пути и др [21–23].

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов (заземлителей) используются стальные трубы и прутки, а также угловая сталь длиной не менее 2,5...3 м. Верхние концы погруженных в землю вертикальных электродов соединяют стальной полосой с помощью сварки: образуется так называемый контур заземления. Минимальная толщина стенок стальных труб, используемых для искусственных заземлителей, должна быть не менее 3,5 мм, диаметром 25–60 мм, длиной 2,5–3,0 м.

Расчет заземления производят по заранее заданным наибольшим допустимым значениям сопротивления заземляющего устройства R_{zu} или напряжения прикосновения $U_{пр.дон}$ (*и* $U_{шага дон}$).

Наибольшие допустимые значения $R_{ЗУ}$, установленные «Правилами устройства электроустановок», составляют:

для установок до 1000 В:

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

для установок выше 1000 В:

– 0,5 Ом при эффективно заземленной нейтрали (т. е. при больших токах замыкания на землю);

– $250/I_3 \leq 10$ Ом при изолированной нейтрали выше 1000 В (т. е. при малых токах замыкания на землю);

– $125/I_3 \leq 10$ Ом при одновременном использовании в установках до и выше 1000 В. При мощности трансформатора ≤ 100 кВА не более 10 Ом, при мощности трансформатора ≥ 100 кВА не более 4 Ом.

В этих выражениях I_3 — расчетный ток замыкания на землю, А.

Расчет заземляющего устройства

Порядок расчета[21–23]:

1. Определение расчетного тока замыкания на землю.
2. Определение требуемого сопротивления заземляющего устройства.
3. Выбор типа заземлителя и составление предварительной схемы заземляющего устройства.
4. Расчет сопротивления естественных заземлителей.
5. Определение требуемого сопротивления искусственного заземлителя.

При использовании естественных заземлителей (а это дает значительную экономию средств и предписывается ПУЭ) сопротивление искусственного заземлителя $R_{и}$, Ом, меньше требуемого Ом, и равно:

$$R_{и} = \frac{R_e R_3}{R_e} + R_3, \quad (6.7)$$

где R_e – сопротивление растеканию естественного заземлителя, Ом.

6. Уточнение параметров заземлителя

После вычисления окончательного значения сопротивления искусственного заземлителя $R_{и}$ определяют сопротивление заземлителя в целом, т. е. с учетом сопротивления естественного заземлителя R_e .

7. Определение $R_{вг}$ заземлителей и расчетной величины сопротивления заземляющего устройства:

$$R_{вг} = R_{в} R_{г} / (R_{в} \eta_{г} + R_{г} \eta_{в}). \quad (6.8)$$

8. Проверка по условию:

$$R_{и} \leq R_{вг}. \quad (6.9)$$

9. Если условие (6.9) не соблюдается, то расчет повторяется, начиная с п. 3 путем изменения схемы заземляющего устройства.

Пример расчета заземлителя в однородной земле методом коэффициентов использования по допустимому сопротивлению.

Дано: понижающая подстанция имеет два трансформатора 6/0,4 кВ с заземленными нейтралью на стороне 0,4 кВ, размещена в отдельно стоящем одноэтажном кирпичном здании.

В качестве естественного заземлителя будет использоваться технологическая конструкция, частично погруженная в землю; ее расчетное сопротивление току растекания (с учетом сезонных изменений) $R_e = 15 \text{ Ом}$. Ток замыкания на землю неизвестен, однако известна протяженность линий 6 кВ: кабельных $l_k = 70 \text{ км}$, воздушных $l_{в.л} = 65 \text{ км}$. Заземлитель предполагается выполнить из вертикальных стержневых электродов длиной $l_B = 5 \text{ м}$, диаметром $d = 12 \text{ мм}$, верхние концы которых соединяются с помощью горизонтального электрода – стальной полосы суммарной длиной $L_T = 50 \text{ м}$, сечением $4 \times 40 \text{ мм}$, уложенной в землю на глубине $t_0 = 0,8 \text{ м}$. Измеренное сопротивление грунта равно $\rho_{изм} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Рассчитать заземляющее устройство подстанции.

1. Расчетный ток замыкания на землю на стороне 6 кВ определяется согласно [3] по формуле:

$$I_3 = \frac{U}{350} \cdot (35 \cdot l_k + l_{в.л}), \quad (6.10)$$

где U – линейное напряжение сети, В;

l_k и $l_{в.л}$ – длины электрически связанных кабельных и воздушных линий, км.

$$I_3 = \frac{6}{350} \cdot (35 \cdot 70 + 65) = 43 \text{ А}.$$

2. Требуемое сопротивление растеканию заземлителя, который принимается общим для установок 6 и 0,4 кВ согласно требованиям ПУЭ, определяется по формуле:

$$R_3 = \frac{125}{I_3}; \quad (6.11)$$

$$R_3 = \frac{125}{43} = 2,9 \text{ Ом}.$$

3. Требуемое сопротивление искусственного заземлителя при использовании естественного заземлителя рассчитывается по формуле (6.7):

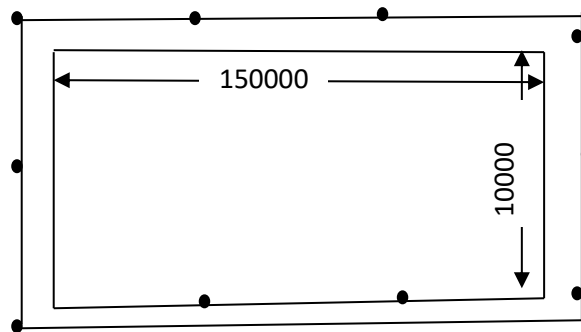
$$R_{и} = \frac{R_e \cdot R_3}{(R_e - R_3)},$$

где R_e – сопротивление растеканию естественного заземлителя, Ом.

$$R_{и} = \frac{15 \cdot 2,9}{(15 - 2,9)} = 3,6 \text{ Ом.}$$

4. Тип заземлителя в данном случае контурный, размещенный по периметру подстанции. Предварительную схему заземляющего устройства наносим на план подстанции с ее основными размерами.

При этом вертикальные электроды размещаем на расстоянии $a = 5$ м один от другого.



5. Уточняем параметры заземлителя путем проверочного расчета. Из предварительной схемы видно, что в принятом нами заземлителе суммарная длина горизонтального электрода равна 50 м, а количество вертикальных электродов равно 10 шт.

Определяем расчетные сопротивления току растекания вертикального и горизонтального электродов:

$$R_B = \frac{\rho_{расч.в}}{2\pi \cdot l_B} \left(\ln \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t+l_B}{4t-l_B} \right), \quad (6.12)$$

где $\rho_{расч.в}$ – расчетное удельное сопротивление грунта.

$$\rho_{расч} \cdot \varphi = \rho_{изм} \cdot \varphi_{в}, \quad \text{Ом} \cdot \text{м} \quad (6.13)$$

где $\rho_{изм}$ – измеренное сопротивление грунта (см. вариант задания)
Ом·м,

$\varphi_{в}$ – коэффициент сезонности вертикального электрода, учитывающий изменение удельного сопротивления грунта в течение года.

В зависимости от температурной зоны вариант задания см. в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности φ

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны Казахстана			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	От –20 до –15	От –14 до –10	От – 10 до 0	От 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	От +16 до +18	От +18 до +22	От +22 до +24	От +24 до +26
Среднегодовое количество осадков, см	40	50	50	30-50
Продолжительность замерзания вод, дни	190- 170	150	100	0

Таблица 6.2 – Коэффициенты сезонности φ для однородной земли

Климатическая зона по таблице 2.3	Состояние земли во время измерений ее сопротивления		
	Повышенной влажности	Нормальной влажности	Малой влажности
Вертикальный электрод длиной 3 м			
I	1,9	1,7	1,5
II	1,7	1,5	1,3
III	1,5	1,3	1,2
IV	1,3	1,1	1
Вертикальный электрод длиной 5 м			
I	1,5	1,4	1,3
II	1,4	1,3	1,2
III	1,3	1,2	1,1
IV	1,2	1,1	1
Горизонтальный электрод длиной 10 м			
I	9,3	5,5	4,1
II	5,9	3,5	2,6
III	4,2	2,5	2
IV	2,5	1,5	1,1
Горизонтальный электрод длиной 50 м			
I	7,2	4,5	3,6
II	4,8	3,0	2,4
III	3,2	2,0	1,6
IV	2,2	1,4	1,12

t – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя определяемое по формуле:

$$t = t_0 + 0,5 L_э, \text{ м}, \quad (6.14)$$

где t_0 – расстояние от поверхности земли до горизонтального электрода:

$$t = 0,8 + 0,5 \times 5 = 3,3 \text{ м},$$

$$R_B = \frac{120}{2\pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 27,1 \text{ Ом},$$

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{расч.г}}}{2\pi \cdot L_\Gamma} \ln \frac{L_\Gamma^2}{0,5 \cdot b \cdot t_0}, \quad (6.15)$$

где $\rho_{\text{расч.г}}$ – расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтальных электродов:

$$\rho_{\text{расч.г}} = \rho_{\text{изм}} \cdot \varphi_2 \text{ Ом}\cdot\text{мм}, \quad (6.16)$$

где φ_2 – коэффициент сезонности горизонтальных электродов (см. таблицу 6.1);

$$R_\Gamma = \frac{176}{2\pi \cdot 50} \ln \frac{50^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 6,7 \text{ Ом}.$$

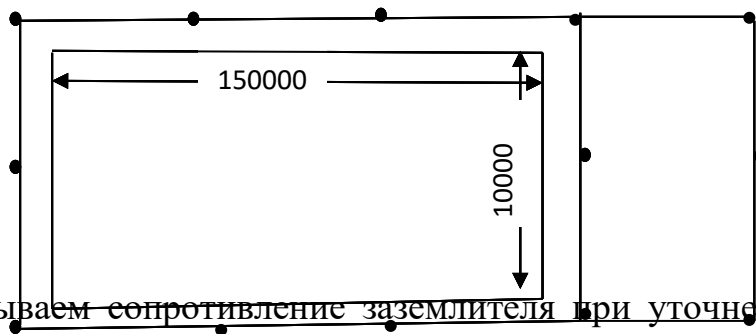
6. По таблице для принятого количества вертикальных электродов находим значения коэффициентов использования ($\eta_B = 0,56, \eta_\Gamma = 0,34$).

7. Рассчитываем сопротивление группового заземлителя по формуле:

$$R = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \cdot \eta_\Gamma + R_\Gamma \cdot \eta_B \cdot n}, \quad (6.17)$$

$$R = \frac{27,1 \cdot 6,7}{27,1 \cdot 0,34 + 6,7 \cdot 0,56 \cdot 10} = 4,1 \text{ Ом}.$$

Расчетное сопротивление больше, чем требуемое (3,6 Ом), поэтому необходимо увеличить в контуре заземлителя количество вертикальных электродов до 13 штук. Также изменится предварительная схема заземлителя.



Рассчитываем сопротивление заземлителя при уточненном количестве вертикальных электродов:

$$R = \frac{27,1 \cdot 6,7}{27,1 \cdot 0,31 + 6,7 \cdot 0,53 \cdot 13} = 3,3 \text{ Ом}.$$

Это сопротивление меньше требуемого, значит проектируемый заземлитель – контурный, состоит из 13 вертикальных стержневых электродов длиной 5 м и диаметром 12 мм и горизонтального электрода в виде стальной полосы длиной 70 м и сечением 4×40 мм, заглубленных в землю на 0,8 м.

6.3 Зануление. Назначение, принцип действия и область применения

Зануление — преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей электроустановки, могущих оказаться под напряжением, с глухо заземленной нейтральной точкой обмотки источника тока в трехфазных сетях, с глухо заземленным выводом обмотки источника тока в однофазных сетях и с глухо заземленной средней точкой обмотки источника энергии в сетях постоянного тока[21–23].

Принципиальная схема зануления в сети трехфазного тока показана на рисунке 6.2.

Проводник, обеспечивающий указанные соединения зануляемых частей с глухозаземленными нейтральной точкой, выводом и средней точкой обмоток источников тока, называется нулевым защитным проводником.

Нулевой защитный проводник следует отличать от так называемого нулевого рабочего проводника, который также соединен с глухо заземленной нейтральной точкой, выводом и средней точкой обмоток источников тока, но предназначен для питания током электроприемников, т. е. является частью цепи рабочего тока, и по нему проходит рабочий ток.

Нулевой рабочий проводник должен, как правило, иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников; сечение его должно быть рассчитано на длительное прохождение рабочего тока.

Нулевой рабочий проводник рекомендуется использовать одновременно и как нулевой защитный, т. е. для зануления приемников энергии (за исключением приемников однофазного и постоянного тока).


В этом случае нулевой рабочий проводник должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к нулевым рабочим и защитным проводникам. В нулевом рабочем проводнике, если он не используется одновременно как нулевой защитный, допускается ставить предохранители.

Совмещенным нулевым рабочим и защитным проводником (PEN) в электроустановках до 1 кВ называется проводник, сочетающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

Проводники, используемые в различных типах сетей, должны иметь определённые обозначения и расцветку (см. таблицу 6.3).

Указанная выше расцветка проводников (жил кабеля) соответствует международным стандартам и введена с целью предотвращения ошибочного подключения к корпусу электроприемника фазного проводника вместо нулевого защитного.

Таблица 6.3 – Условные обозначения и расцветки жил кабеля

Наименование проводника	Обозначение		Расцветка
	Буквенное	Графическое	
Нулевой рабочий	N		голубой
Нулевой защитный	PE		желто-зеленый
Совмещенный нулевой рабочий и нулевой защитный	PEN		желто-зеленый с голубыми метками по концам, наносимыми при монтаже
Фазный	в трех фазной цепи	L_1, L_2, L_3	все цвета, кроме вышеперечисленных
	в однофазной цепи	L	

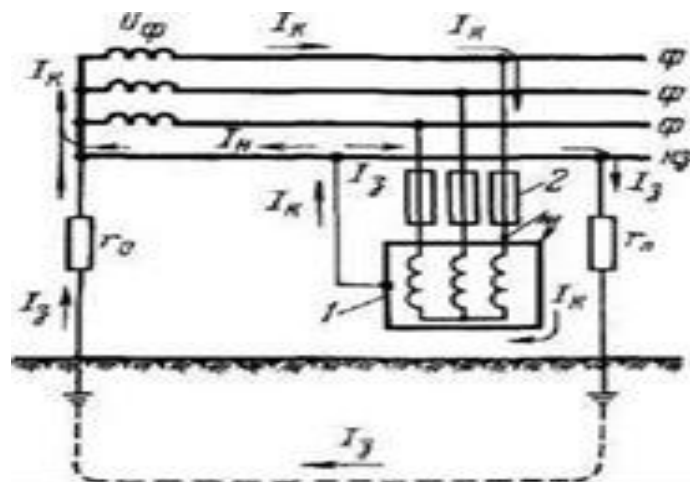


Рисунок 6.2 – Принципиальная схема зануления в трехфазной сети до 1000 В.

1 – корпус электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т. п.),
 2 – аппараты защиты от токов КЗ (предохранители, автоматические выключатели и т.п.); R_0 – сопротивление заземления нейтрали обмотки источника тока, R_n – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника $I_{кз}$ – ток КЗ; I_n – часть тока КЗ, протекающего через нулевой защитный проводник; I_3 — часть тока КЗ, протекающего через землю

Область применения — трехфазные четырехпроводные сети до 1000 В с глухозаземленной нейтралью, в том числе наиболее распространенные сети напряжением 380/220 В, а также сети 220/127 и 660/380 В. Зануление применяется и в трехпроводных сетях постоянного тока с глухозаземленной

средней точкой обмотки источника энергии, а также в однофазных трехпроводных сетях переменного тока с глухозаземленным выводом обмотки источника тока [26–28].

Назначение нулевого защитного проводника в схеме зануления — обеспечить необходимое для отключения установки значение тока однофазного короткого замыкания путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением [29–31].

Например, при $U_{\phi} = 220 \text{ В} / (4+4) = 27,5 \text{ А}$. Такая величина тока не вызывает срабатывания защиты. Для увеличения тока замыкания на корпус необходимо уменьшить сопротивление в цепи тока, что достигается соединением корпуса электроустановки с нулевым защитным проводником, сопротивление которого значительно ниже 1 Ом. Увеличение тока замыкания приводит к быстрому срабатыванию аппаратов защиты. В качестве аппаратов защиты используются автоматические выключатели и предохранители.

В трехфазной сети до 1000 В с заземленной нейтралью без нулевого защитного проводника невозможно обеспечить безопасность при замыкании фазы на корпус, поэтому такая сеть применяться не должна.

Принцип действия зануления — превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (т. е. замыкание между фазным и нулевым защитным проводниками) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную электроустановку от питающей сети. Такой защитой являются: плавкие предохранители или автоматы максимального тока, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания; магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой; контакторы в сочетании с тепловыми реле, осуществляющие защиту от перегрузки; автоматы с комбинированными расцепителями, осуществляющие защиту одновременно от токов короткого замыкания и перегрузки [21–23].

При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключится, если значение тока однофазного короткого замыкания (т. е. между фазным и нулевым защитным проводниками) $I_{кз}$, А, удовлетворяет условию:

$$I_{кз} \geq k I_{ном}, \quad (6.18)$$

где: $I_{ном}$ – номинальный ток аппарата защиты (номинальный ток плавкой вставки предохранителя или установки тока срабатывания автоматического выключателя, А;

k – коэффициент кратности номинального тока, $k = 3$ для предохранителей,

$k = 1,25–6$ в зависимости от типа применяемого автоматического выключателя.

Если защита осуществляется автоматическим выключателем, имеющим только электромагнитный расцепитель (отсечку), т. е. срабатывающим без выдержки времени, ток принимается в пределах 1,25–1,4.

Значение $I_{кз}$ зависит от фазного напряжения сети U_{ϕ} и сопротивлений цепи, в том числе от полных сопротивлений трансформатора $Z_{тр}$, фазного проводника Z_{ϕ} , нулевого защитного проводника $Z_{н.з.}$, внешнего индуктивного сопротивления петли (контура) фазный проводник — нулевой защитный проводник (петли фаза — нуль) X_n .

Расчетная схема зануления приведена на рисунке 6.3.

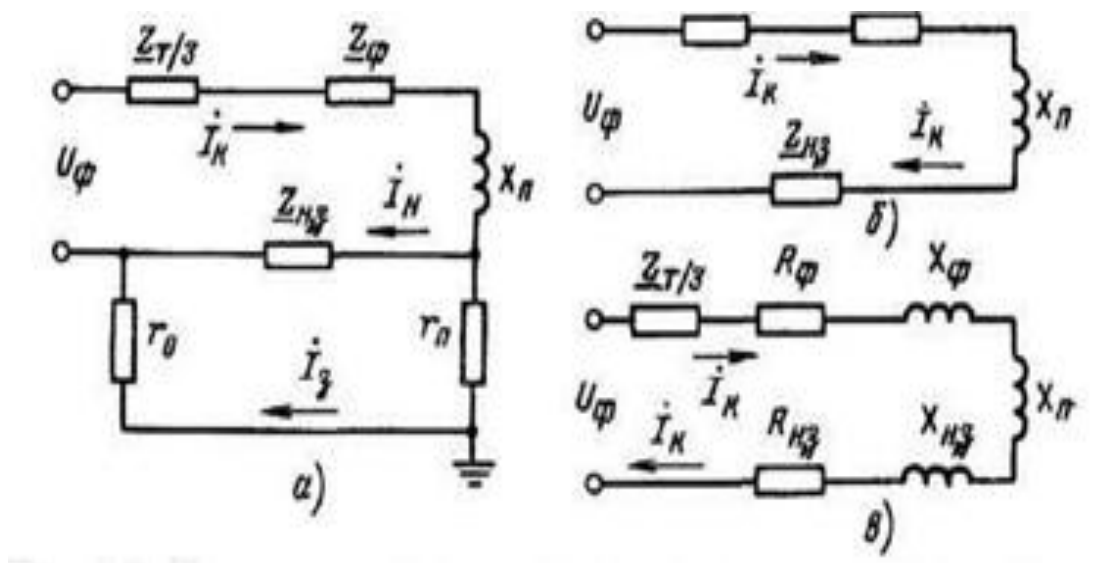


Рисунок 6.3 – Расчетная схема зануления:
а) полная: б) упрощенная

При расчете зануления допустимо применять приближенную формулу для вычисления действительного значения (модуля) тока короткого замыкания $I_{кз}$, А, в которой модули сопротивлений трансформатора и петли фаза – нуль $Z_{тр}$ и Z_n , складываются арифметически:

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_{тр} / 3 + Z_n). \quad (6.20)$$

Полное сопротивление петли фаза — нуль в действительной форме (модуль) равно, Ом:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_{н.з.})^2 + (X_{\phi} + X_{н.з.} + X_n)^2}.$$

Расчетная формула имеет следующий вид:

$$k \cdot I_{ном} \leq U_{\phi} / (Z_{тр} / 3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_{н.з.})^2 + (X_{\phi} + X_{н.з.} + X_n)^2}). \quad (6.21)$$

В качестве нулевых защитных проводников ПУЭ рекомендуют применять неизолированные или изолированные проводники, а также различные металлические конструкции зданий, подкрановые пути, стальные трубы электропроводок, трубопроводы и т. п. Рекомендуется использовать нулевые рабочие провода одновременно и как нулевые защитные. При этом нулевые рабочие провода должны обладать достаточной проводимостью (не менее 50% проводимости фазного провода) и не должны иметь предохранителей и выключателей.

Таким образом, расчет зануления на отключающую способность является поверочным расчетом правильности выбора проводимости нулевого защитного проводника, а точнее, достаточности проводимости петли фаза – нуль.

Таким образом, зануление осуществляет два защитных действия — быстрое автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети и снижение напряжения зануленных металлических нетоковедущих частей, оказавшихся под напряжением, относительно земли.

При этом отключение осуществляется лишь при замыкании на корпус, а снижение напряжения — во всех случаях возникновения напряжения на зануленных металлических нетоковедущих частях, в том числе при замыкании на корпус, электростатическом и электромагнитном влиянии соседних цепей, выносе потенциала от других электроустановок и т. п.

Основные характеристики сетей с занулением представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Характеристики сетей с занулением

Тип сети	Количество фаз	Наружная проводка (питающая линия)		Внутренняя проводка (групповые линии)		Положение точки разветвления нулевых проводов
		Количество проводов	Наименование проводов	Количество проводов	Наименование проводов	
1	2	3	4	5	6	7
TN-C	однофазная	2	L, PEN	2	L, PEN	на вводе в электроприемник
	трехфазная	4	L ₁ , L ₂ L ₃ PEN	4	L ₁ , L ₂ L ₃ PEN	
TN-C-S	однофазная	2	L, PEN	3	L, N, PE	на вводе в здание (объект)
	трехфазная	4	L ₁ , L ₂ L ₃ PEN	5	L ₁ , L ₂ L ₃ , PEN, N	
TN-S	однофазная	3	L, N, PE	3	L, N, PE	на подстанции в нейтрали трансформатора
	трехфазная	5	L ₁ , L ₂ L ₃ , PEN, N	5	L ₁ , L ₂ L ₃ , PEN, N	

Разновидности системы TN (см. таблицу 6.4) различаются между собой уровнем безопасности, который в свою очередь зависит от вероятности обрыва PEN-проводника. При такой неисправности в системах TN-C и TN-C-S имеет место вынос потенциала фазы на все занулённые металлические корпуса электроприёмников, подключенных после точки обрыва по ходу энергии, по цепи: фаза – рабочая обмотка электроприёмника – нулевой рабочий проводник – точка соединения нулевого рабочего и защитного проводников – нулевой защитный проводник – корпус.

Наибольшей вероятностью обрыва PEN -проводника характеризуется система TN-C, где этот обрыв может произойти как в питающей линии (особенно, если она воздушная), так и во внутренней электропроводке. Система TN-C-S обеспечивает более высокий уровень безопасности, т. к. обрыв может произойти практически только в питающей линии.

Однако переход к системе TN-C-S требует дополнительных затрат: групповые линии внутренней проводки выполняются не двух-, а трёхпроводными. Наибольшей степенью безопасности характеризуется система TN-S, где PEN – проводник отсутствует, а значит, рассматриваемая неисправность исключена.

Однако это достигается существенным увеличением затрат, т.к. в питающей линии по всей её длине от подстанции до потребителя необходимо иметь нулевой защитный проводник (PE), то есть питающая линия в системе TN-S имеет на один провод больше, чем в системах TN-C и TN-C-S.

На практике должны чётко соблюдаться указанные выше области применения защитного заземления и зануления. Недопустимо применение зануления в сети с изолированной нейтралью, равно как и защитного заземления (без соединения металлических корпусов с нулевым проводом) в сети с глухозаземленной нейтралью (сеть типа TT). Нарушение этого требования может привести к поражению электрическим током.

6.4 Повторное заземление нулевого защитного проводника

При замыкании фазы на зануленный корпус нулевой защитный проводник на участке за ближайшим к месту замыкания повторным заземлением (т. е. за точкой А на рис. 6.5), а также зануленное оборудование, присоединенное к этому участку проводника, оказываются под некоторым напряжением относительно земли U_n . Наибольшее значение этого напряжения U :

$$U_{max} = I_h r_n / n. \quad (6.22)$$

Повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на отключающую способность схемы зануления, и в этом смысле без него можно обойтись.

Однако при отсутствии повторного заземления нулевого защитного проводника возникает опасность для людей, прикасающихся к заземленному оборудованию в период, пока существует замыкание фазы на корпус. Кроме того, в случае обрыва нулевого защитного проводника и замыкания фазы на корпус за местом обрыва эта опасность резко повышается, поскольку напряжение относительно земли оборванного участка нулевого провода и присоединенных к нему корпусов может достигать фазного напряжения сети.

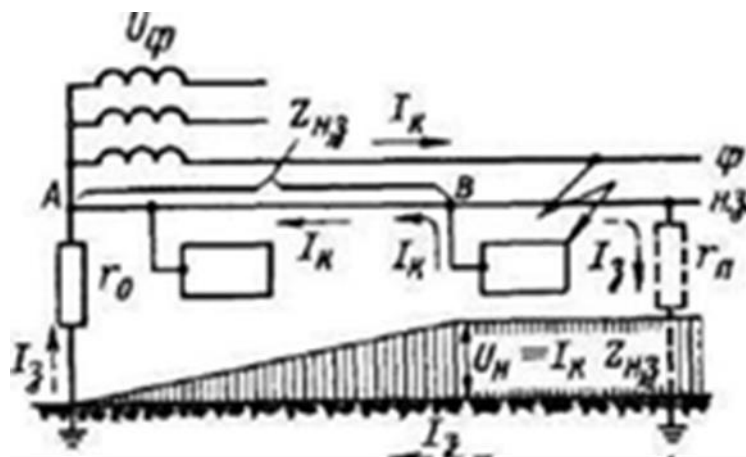


Рисунок 6.5 – Замыкание на корпус в сети, не имеющей повторных заземлений нулевого защитного проводника

Рассмотрим оба эти случая.

При замыкании фазы на корпус в сети, не имеющей повторного заземления нулевого защитного проводника (рисунок 6.5), участок нулевого защитного проводника, находящийся за местом замыкания и все присоединенные к нему корпуса окажутся под напряжением относительно земли U_n , равным:

$$U_n = I_{кз} * Z_{н.з.}, \quad (6.23)$$

где:

$I_{кз}$ – ток КЗ, проходящий по петле, фаза – нуль, А;

$Z_{н.з.}$ – полное сопротивление участка нулевого защитного проводника, обтекаемого током $I_{кз}$ Ом (т. е. участка АВ):

$$Z_{н.з.} = \sqrt{R_n + X_n}, \quad (6.24),$$

где R_n , X_n — активное и внутреннее индуктивное сопротивления нулевого защитного проводника (участка АВ), Ом.

На другом участке нулевого защитного проводника (ближе к источнику энергии) напряжение будет изменяться от U_n до 0 по прямой линии (рисунок 6.5).

Эти напряжения будут существовать в течение аварийного периода, т. е. с момента замыкания фазы на корпус до автоматического отключения поврежденной установки от сети.

Если для упрощения пренебречь сопротивлением обмоток источника тока и индуктивным сопротивлением петли фаза — нуль, а также считать, что фазный и нулевой защитный проводники обладают лишь активными сопротивлениями, то формула примет вид:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_n} U_n. \quad (6.25)$$

Если принять $R_n < 2R_{\phi}$ (что обычно имеет место в практических условиях), то $U_n \leq (2/3) U_{\phi}$. Например, в сети 380/220 В при $R_n = 2R_{\phi}$ напряжение относительно земли участка нулевого защитного проводника, находящегося за местом замыкания, и всех присоединенных к нему (т. е. зануленных) металлических частей составит $U_n = (2/3)220 = 147$ В. Очевидно, что при этом создается реальная угроза поражения людей электрическим током.

Если нулевой защитный проводник будет иметь повторное заземление с сопротивлением R_n , Ом (на рисунке 6.5 это заземление показано пунктиром), то U_n снизится до значения, В:

$$U_n = I_z * R_n, \quad (6.26)$$

$$U_n = \frac{U_{аб}}{R_{п} + R_0} R_{п}. \quad (6.27)$$

При тех же допущениях выражение 6.27 примет вид:

$$U_{\phi} = \frac{2U_{\phi}}{3} * \frac{R_{п}}{R_{п} + R_0}. \quad (6.28)$$

При одинаковых значениях R_0 и R_n получим $U_n = U_{\phi} / 3$, т. е. при $U_{\phi} = 220$ В $U_n = 74$ В. Это в 2 раза меньше, чем при отсутствии повторного заземления. При меньшем значении R_n или увеличении количества повторных заземлений U_n может быть снижено до требуемых значений.

Итак, повторное заземление нулевого защитного проводника снижает напряжение на зануленных корпусах в период замыкания фазы на корпус.

При случайном обрыве нулевого защитного проводника и замыкании фазы на корпус за местом обрыва (при отсутствии повторного заземления) напряжение относительно земли участка нулевого защитного проводника за

местом обрыва и всех присоединенных к нему корпусов, в том числе корпусов исправных установок, окажется близким по значению фазному напряжению сети (рисунок 6.5, а). Это напряжение будет существовать длительно, поскольку поврежденная установка автоматически не отключится и ее будет трудно обнаружить среди исправных установок, чтобы отключить вручную.

Если же нулевой защитный проводник будет иметь повторное заземление, то при обрыве его сохранится цепь тока I_z через землю (рисунок 6.5, б), благодаря чему напряжение зануленных корпусов, находящихся за местом обрыва, снизится до:

$$U_n = I_z * R_n \text{ или } U_n = \frac{U_{\phi} R_n}{R_n + R_0}. \quad (6.29)$$

В частном, наиболее благоприятном случае, когда $R_n + R_0$, все установки, присоединенные к нулевому защитному проводнику, как до места обрыва, так и после него, будут находиться под одинаковым напряжением, U_n :

$$U_n = U_0 = 0,5U_{\phi}.$$

Итак, повторное заземление нулевого защитного проводника значительно уменьшает опасность поражения током, возникающую в результате обрыва нулевого защитного проводника и замыкания фазы на корпус за местом обрыва, но не может устранить ее полностью, т. е. не может обеспечить тех условий безопасности, которые существовали до обрыва.

В связи с этим требуется тщательная прокладка нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва; в нулевом защитном проводнике запрещается ставить выключатели, предохранители и другие приборы, способные нарушить его целостность [29–32].

Назначение нулевого защитного проводника – снижение напряжения относительно земли зануленных конструкций в период замыкания фазы на корпус как при исправной схеме зануления, так и в случае обрыва нулевого защитного проводника.

Согласно указаниям «Правил устройства электроустановок» повторному заземлению подвергаются лишь нулевые рабочие провода воздушных линий, которые используются одновременно и как нулевые защитные проводники.

При этом повторные заземления выполняются на концах воздушных линий (или ответвлений) длиной более 200 м, а также на вводах воздушных линий в электроустановки, которые подлежат занулению.

Выполнение системы зануления

Зануление, как и защитное заземление, должно выполняться в следующих случаях:

а) в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных в отношении поражения электрическим током, а также вне помещений при

напряжениях электроустановок, превышающих 42 В переменного и 110 В постоянного тока;

б) в помещениях без повышенной опасности при напряжении электроустановок 380 В и выше переменного и 440 В и выше постоянного тока;

в) во взрывоопасных зонах всех классов независимо от напряжения электроустановок, в том числе при напряжении до 42 В переменного и до 110 В постоянного тока.

Нейтраль источника тока – генератора или трансформатора — на стороне до 1000 В должна быть присоединена к заземлителю и выведена на щит управления распределительного устройства. Нейтраль присоединяется к заземлителю специальным проводником, который называется заземляющим. Обычно это полосовая сталь, сечение которой зависит от мощности генератора (трансформатора) и должно быть не меньше 24 мм² при прокладке в здании и 48 мм² при прокладке в земле.

Заземлитель, к которому присоединяется нейтраль источника тока, должен быть расположен в непосредственной близости от источника. В отдельных случаях, например во внутрицеховых подстанциях, заземлитель допускается сооружать около самой стены здания.

Нулевой защитный проводник прокладывают, начиная от щита распределительного устройства, на который выведена нулевая точка источника тока, по трассе фазных проводов и возможно ближе к ним.

В качестве нулевых защитных проводников в первую очередь должны быть использованы нулевые рабочие проводники, а там, где это невозможно, следует применять специально предназначенные для этой цели проводники. Обычно это неизолированная полосовая сталь (сечением не менее 24 мм² при прокладке в зданиях и 48 мм² при прокладке в наружных установках или в земле и толщиной не менее соответственно 3 и 4 мм) или прутковая сталь (диаметром не менее 5, 6 и 10 мм при прокладке соответственно в зданиях, наружных установках и в земле).

В качестве нулевого защитного проводника рекомендуется использовать алюминиевые оболочки кабелей, металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т. п.) и производственных установок (подкрановые пути, шахты лифтов, подъемников, обрамления каналов и т. п.), стальные трубы электропроводок, металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений, кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, канализации и отопления [1,21–23].

Во всех случаях полная проводимость нулевого защитного проводника должна быть не менее 50% проводимости фазного проводника.

Запрещается использовать в качестве нулевых защитных проводников металлические оболочки трубчатых проводов, несущие тросы при тросовой электропроводке, металлические оболочки изоляционных трубок, металл рукава, броню и свинцовые оболочки проводов и кабелей, нулевые рабочие проводники, идущие к переносным электроприемникам однофазного и

постоянного тока. Запрещается также использовать алюминиевые проводники для прокладки в земле в качестве нулевых защитных проводников.

На воздушных линиях электропередачи (ВЛ) нулевой защитный проводник, как правило, не прокладывают. Его роль исполняет нулевой рабочий провод, подвешиваемый на тех же опорах, что и фазные провода. Этот провод должен быть изготовлен из того же материала, что и фазные, иметь полную проводимость не менее половины проводимости фазного провода; его следует прокладывать на таких же изоляторах, как и фазные, и располагать ниже всех фазных (и фонарного, если он имеется) проводов на опоре.

Повторные заземления выполняют согласно указаниям ПУЭ лишь для нулевого рабочего провода воздушных линий, который одновременно является нулевым защитным проводником.

Повторные заземления осуществляются на концах воздушных линий или ответвлений длиной более 200 м, а также на вводах от воздушных линий к электроустановкам, которые подлежат занулению.

Зануление корпусов переносных электроприемников осуществляется специальной жилой (третья жила служит для электроприемников однофазного и постоянного тока, четвертая — для электроприемников трехфазного тока), находящейся в одной оболочке с фазными жилами переносного провода и соединяющей корпус электроприемника с нулевым защитным проводником линии.

Присоединять корпуса переносных электроприемников к нулевому рабочему проводу линии недопустимо, потому что в случае его обрыва (перегорания предохранителя) все корпуса, присоединенные к нему, окажутся под фазным напряжением относительно земли.

Контроль исправности зануления

Измерение сопротивления петли фаза – нуль должно производиться на электроприемниках наиболее мощных, а также наиболее удаленных от источника тока, но не менее чем на 10% их общего количества.

Измерение имеет целью определить истинное значение полного сопротивления петли фаза – нуль; оно должно быть таким, чтобы ток однофазного КЗ был достаточным для отключения поврежденной установки от сети. На рис. 6.15 показана одна из схем измерения сопротивления петли фаза — нуль с помощью вольтметра и амперметра.

Эта схема требует отключения испытываемой установки от сети.

Для измерения необходимы однофазный понижающий трансформатор напряжением 42 или 12 В, реостат, амперметр, вольтметр и провода.

Один вывод вторичной обмотки понижающего трансформатора присоединяют к нулевому защитному проводнику возможно ближе к силовому трансформатору (чтобы учесть сопротивление нулевого проводника на всем участке, где проходит испытательный ток), другой — к одному из фазных

проводников, идущих к электроприемнику, после рубильника P2, который при этом должен быть отключен.

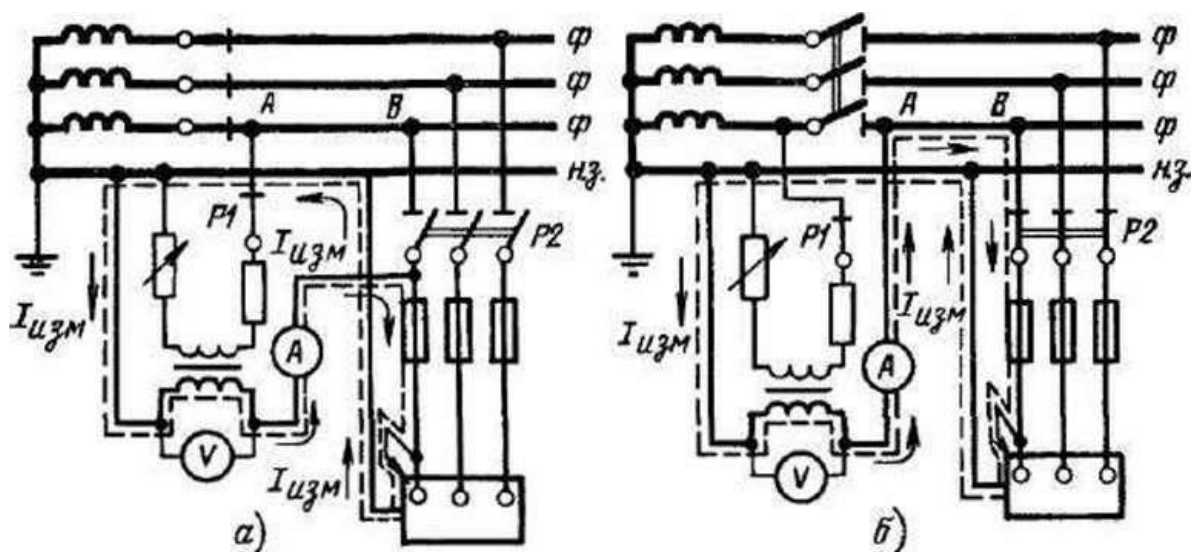


Рисунок 6.5 – Схема измерения сопротивления петли фаза — нуль:
а — с отключением испытуемого электроприемника от сети; б — с отключением всей сети

Фазный проводник и корпус электроприемника соединяют надежной перемычкой, имитирующей замыкание фазы на корпус.

После включения рубильника P2 реостатом в цепи устанавливают некоторый ток, достаточный для отсчета показаний вольтметра $U_{цзМ}$, В, и амперметра $I_{цзМ}$, А. Частное от деления этих показаний является полным сопротивлением петли фаза – нуль, Ом.

6.5 Совместное применение отдельных видов защиты

Рассмотренные выше технические способы и средства защиты могут применяться как отдельно, так и в определённых сочетаниях одно с другим, что может существенно повысить электробезопасность. Сказанное иллюстрируется классами электротехнических устройств по способам защиты от поражения электрическим током (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Класс электротехнических устройств по способам защиты от поражения электрическим током

Класс защиты	Характеристика изделия	Способы (средства) защиты от поражения электрическим током
1	2	3
0	Изделия, имеющие рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления	Рабочая изоляция
01	Изделия, имеющие рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику	а) Рабочая изоляция б) Защитное заземление (зануление)
I	Изделия, имеющие рабочую изоляцию и элемент для заземления. Провод для присоединения к источнику питания имеет заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом.	а) Рабочая изоляция б) Защитное заземление (зануление)
II	Изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию	Двойная (усиленная) изоляция
III	Изделия, не имеющие ни внутренних, ни внешних электрических цепей с напряжением выше 50 В. При использовании в качестве источника питания трансформатора или преобразователя его входная и выходная обмотки не должны быть электрически связаны, и между ними должна быть двойная или усиленная изоляция	а) Рабочая изоляция б) Малое напряжение в) Электрическое разделение сети

7 Устройство защитного отключения

7.1 Общие сведения

Устройство защитного отключения (УЗО) – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека током, обеспечивающая безопасные для человека сочетания тока и времени его прохождения при замыканиях на корпус или снижении уровня изоляции ниже определённого значения [5, 31].

Такая опасность может возникнуть, в частности, при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети ниже определенного предела

и, наконец, в случае прикосновения человека непосредственно к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Указанные безопасные сочетания тока и времени установлены ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». Например, при времени воздействия не более 0,1 с допустимый ток через тело человека составляет 500 мА, при 0,2 с – 250 мА, при 0,5 с – 100 мА и т. д. Следовательно, защита обеспечивается быстрым отключением электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током. Другими словами, электрозщитная функция УЗО заключается в ограничении не тока через человека, а времени его протекания. Кроме того, УЗО выполняет ещё одну важную функцию – защиту электроустановок от возгораний, первопричиной которых являются утечки, вызванные ухудшением изоляции. Известно, что более трети пожаров возникает от неисправностей электропроводок, поэтому вполне справедливо УЗО называют «противопожарным сторожем».

Современные устройства защитного отключения (УЗО) имеют быстроедействие от 0,03 до 0,2 с.

УЗО создаются на различных принципах действия.

Таким образом, если при прикосновении человека к корпусу оборудования или фазе сети напряжение прикосновения (или ток через человека) превысит длительно допустимое значение, то возникнет реальная угроза поражения человека током, и мерой защиты в этом случае может быть, в частности, быстрый разрыв цепи тока через человека, т. е. отключение соответствующего участка сети. Для выполнения этой задачи и предназначено защитное отключение.

Основными элементами устройства защитного отключения (УЗО) являются прибор защитного отключения и исполнительный орган — автоматический выключатель.

Прибор защитного отключения — совокупность отдельных элементов, которые воспринимают входную величину, реагируют на ее изменения и при заданном ее значении дают сигнал на отключение выключателя. Этими элементами являются:

1) датчик — входное звено устройства, воспринимающее воздействие извне и осуществляющее преобразование этого воздействия (т. е. входной величины) в соответствующий сигнал; датчиком служат, как правило, реле соответствующего типа, а иногда измерительные трансформаторы, вход усилителя, фильтры тока и напряжения нулевой последовательности и т. п.;

2) усилитель, предназначенный для усиления сигнала датчика, если он оказывается недостаточно мощным;

3) цепи контроля, служащие для периодической проверки исправности защитного отключения;

4) вспомогательные элементы — сигнальные лампы и измерительные приборы (например, омметр), характеризующие состояние электроустановки.

Исполнительный орган — автоматический выключатель, обеспечивающий отключение соответствующего участка электроустановки (электрической сети) при получении сигнала от прибора защитного отключения.

В сетях до 1000 В в качестве выключателей, удовлетворяющих требованиям защитного отключения, успешно применяются контакторы, т. е. выключатели, снабженные электромагнитным управлением в виде удерживающей катушки; магнитные пускатели — трехфазные контакторы переменного тока, снабженные тепловыми реле для автоматического отключения при перегрузках потребителей; автоматические выключатели — наиболее сложные отключающие аппараты до 1000 В, в том числе быстродействующие автоматы; специальные выключатели, предназначенные для работы в устройствах защитного отключения.

Основные требования, которым должны удовлетворять УЗО:

- 1) высокая чувствительность;
- 2) малое время отключения;
- 3) селективность действия;
- 4) способность осуществлять самоконтроль исправности;
- 5) достаточная надежность.

Чувствительность УЗО — их способность реагировать на малые изменения входной величины — оказывает непосредственное влияние на степень безопасности.

Время отключения — интервал времени с момента возникновения аварийной ситуации до момента прекращения тока во всех полюсах выключателя, равный времени действия прибора и времени действия выключателя.

Селективность — избирательность действия УЗО — выражается в способности отключать от сети лишь поврежденный объект, т. е. объект, в котором возникла опасность поражения человека током.

Это очень важное свойство защитного отключения, поскольку из-за не селективности вместе с поврежденными объектами может отключаться исправное оборудование. К сожалению, селективностью обладают лишь некоторые схемы защитного отключения.

Самоконтроль — способность реагировать на неисправности в собственной схеме путем отключения защищаемого объекта — является желательным для всех типов защитно-отключающих устройств. Однако этим свойством обладают далеко не все схемы.

Самоконтроль исправности необходим для схем УЗО, которые применяются взамен заземления или зануления, ибо в противном случае при отсутствии заземления (зануления) и неисправности УЗО замыкание на корпус останется не отключённым и создаст реальную опасность поражения током.

Надежность УЗО характеризуется постоянной готовностью к действию, способностью срабатывать во всех случаях нарушения нормального режима

работы защищаемого объекта с возникновением опасности поражения током и, наконец, способностью не реагировать на все другие случаи нарушения режима.

Надежность должна быть достаточно высокой, так как отказы УЗО могут создавать опасные для людей условия в смысле поражения током (например, устройство не сработало при замыкании фазы на незаземленный корпус) или сопровождаться беспричинными отключениями работающего оборудования.

Область применения устройств защитного отключения практически не ограничена: они могут применяться в сетях любого напряжения и с любым режимом нейтрали.

Тем не менее, наибольшее распространение УЗО получили в сетях до 1000 В, где они обеспечивают безопасность при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети относительно земли ниже некоторого предела, прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением, и т. п.

Однако эти свойства зависят от типа УЗО и параметров электроустановки.

Защитное отключение является весьма рациональной мерой защиты в любых электроустановках, но особенно, когда по каким-либо причинам трудно осуществить эффективное заземление или зануление, а также, когда высока вероятность случайного прикосновения людей к токоведущим частям. Такие условия чаще всего возникают в передвижных электроустановках, а также в стационарных, расположенных в районах с плохо проводящими грунтами, испытательных устройствах и т. п.

Защитное отключение незаменимо для ручных электрических машин (электроинструментов), которые в огромном количестве применяются во всех отраслях народного хозяйства.

Типы устройств защитного отключения. Возникновение условий, опасных в отношении поражения человека током, обуславливается изменением проводимости фаз сети относительно земли. УЗО условно делятся на следующие типы, реагирующие на:

- 1) потенциал корпуса;
- 2) ток замыкания на землю;
- 3) напряжение нулевой последовательности;
- 4) ток нулевой последовательности;
- 5) напряжение фазы относительно земли;
- 6) оперативный ток.

Ниже рассматриваются некоторые из перечисленных типов устройств защитного отключения.

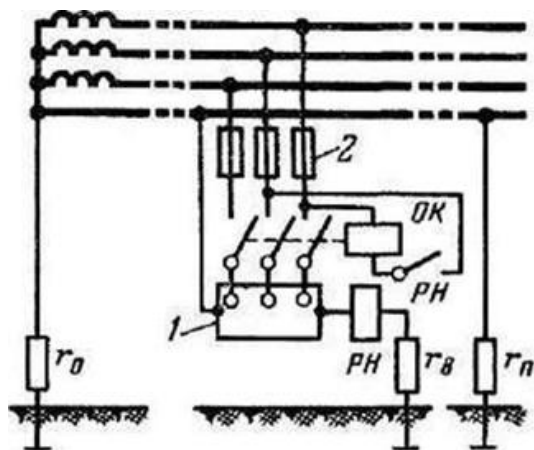


Рисунок 7.1 – Схема УЗО, реагирующего на потенциал корпуса:
1 – корпус электродвигателя, 2 – предохранитель

Реле максимального напряжения можно включать также между корпусом электроприемника и землей, как показано на рисунке 7.1, или нулевым проводником (рисунок 7.2)

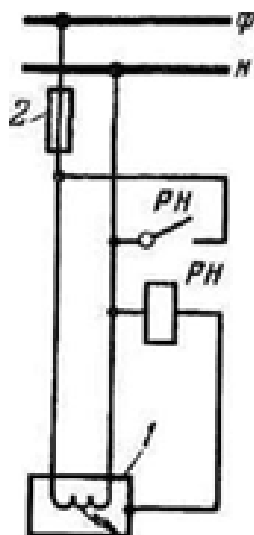


Рисунок 7.2 – Схема УЗО, реагирующего на потенциал корпуса однофазного электроприемника

При замыкании фазы на корпус реле сработает, вызвав перегорание предохранителя, т. е. отключение потребителя от сети. Эта схема напоминает систему зануления, однако в рассматриваемом случае благодаря наличию реле провод, который является как бы зануляющим, имеет незначительное сечение, в то время как ток короткого замыкания, вызывающий перегорание предохранителя, достигает большого значения.

Область применения. Рассматриваемый тип защитного отключения может применяться в сетях всех напряжений независимо от режима нейтрали,

когда система защитного заземления или зануления малонадежна или недостаточно эффективна. Однако с учетом не селективности работы УЗО этого типа его использование ограничивается установками с индивидуальными заземлениями (например, передвижные электроустановки).

7.2 Устройства, реагирующие на ток замыкания на землю

Назначение — устранение опасности поражения током людей при прикосновении к заземленному корпусу в период замыкания на него фазы.

Принцип действия — быстрое отключение поврежденного оборудования от сети в случае, если ток, проходящий через проводник, заземляющий корпус этого оборудования, превысит некоторый предел, при котором напряжение прикосновения имеет наибольшее длительно допустимое значение.

Принципиальные схемы приведены на рисунке 7.3. Датчиком служит токовое реле РТ, обладающее малым сопротивлением и включенное непосредственно в рассечку заземляющего провода (рисунок 7.3, а) или во вторичную обмотку трансформатора тока (рисунок 7.3, б), который применяется при большом токе замыкания на землю, когда трудно подобрать реле. Удобен насыщающийся трансформатор тока, при котором обмотка реле не перегружается, когда ток в первичной обмотке трансформатора больше номинального значения.

При замыкании фазы на корпус ток, стекающий в землю, если он превышает установку, вызывает срабатывание реле, т. е. отключение установки от сети.

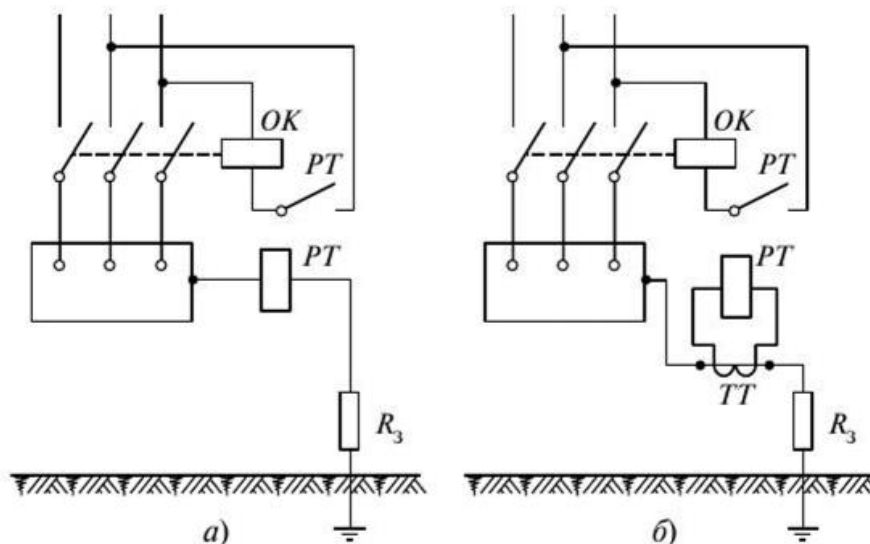


Рисунок 7.3 – Принципиальная схема УЗО, реагирующего на ток замыкания

К схемам рассматриваемого типа относятся такие схемы, применяемые в системе зануления, когда токовое реле включается в рассечку зануляющих

проводников и срабатывает под действием тока однофазного короткого замыкания (рисунок 7.4).

Такие устройства отличаются четкостью срабатывания. Реле тока включено в рассечку зануляющего проводника.

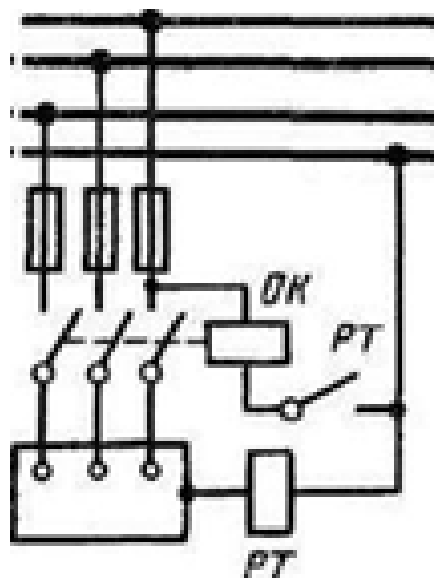


Рисунок 7.4 – Принципиальная схема УЗО, реагирующего на ток однофазного короткого замыкания

Область применения рассматриваемых УЗО ограничивается установками, корпуса которых изолированы от земли, а следовательно, и один от другого, т. е. установками, между которыми нет электрических связей помимо связи через реле.

В этом случае защита работает селективно.

Таковыми установками являются ручной электрифицированный инструмент, передвижные установки и т. п. Напряжение питающей сети и режим ее нейтрали могут быть любыми.

Недостаток указанных устройств заключается в том, что в случае обрыва заземляющего проводника УЗО перестает работать.

Вместе с тем, поскольку корпуса электроприемников кроме связи через проводники системы заземления или зануления имеют, как правило, связь через металлические конструкции зданий и сооружений, селективность работы этих устройств не может быть обеспечена.

Иначе говоря, при наличии металлической связи между защищаемыми корпусами УЗО работает неселективно.

И, наконец, недостатком является отсутствие самоконтроля исправности.

7.3 Устройства, реагирующие на напряжение нулевой последовательности

Назначение этих УЗО – устранение опасности поражения током, возникающей при глухом замыкании одной или двух фаз на землю, в том числе при замыкании фазы на заземленный корпус. Эти схемы, как правило, не отключают сеть при замыкании фазы на землю через большое сопротивление, а следовательно, и при прикосновении человека к токоведущей части.

Принцип действия – быстрое отключение сети от источника питания при возникновении напряжения нулевой последовательности, обусловленной не симметрией полных проводимостей проводов сети относительно земли выше некоторого предела.

Принципиальная схема устройства показана на рис. 7.5. Ассиметр – прибор, предназначенный для сетей до 1000 В с изолированной нейтралью, находит широкое применение в электроустановках торфопредприятий и на открытых горных разработках.

Ассиметр состоит из трех конденсаторов емкостью каждый 0,25 мкФ, соединенных в звезду, между нулевой точкой которой и землей включено электромагнитное реле. Реле имеет одну пару нормально замкнутых (размыкающих) контактов, включенных в цепь катушки нулевого напряжения автоматического выключателя или в цепь втягивающей катушки магнитного пускателя или промежуточного реле.

При замыкании фазы на землю или снижении сопротивления изоляции фазы относительно земли ниже определенного предела через катушку реле проходит ток, вызывающий его срабатывание и отключение установки. Напряжение срабатывания реле $U_{ср}$ — 88 В.

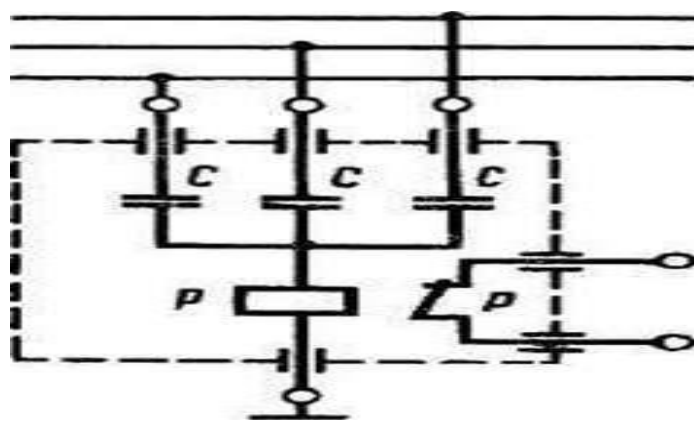


Рисунок 7.5 – Принципиальная схема УЗО, реагирующего на напряжение нулевой последовательности с фильтром из трех конденсаторов:

Область применения УЗО, реагирующих на напряжение нулевой последовательности, — трехфазные трехпроводные сети преимущественно до 1000 В малой протяженности с изолированной нейтралью, обладающие

высоким сопротивлением изоляции и небольшой емкостью относительно земли.

7.4 Устройства, реагирующие на ток нулевой последовательности

Назначение УЗО этого типа – обеспечить безопасность человека в случае прикосновения к заземленному (зануленному) корпусу при замыкании на него фазы или к токоведущей части, находящейся под напряжением. Следовательно, это устройство может служить дополнительной мерой защиты к защитному заземлению и занулению, а также как самостоятельная защита взамен заземления или зануления.

Принцип действия — быстрое отключение участка сети или потребителя энергии, если ток нулевой последовательности превышает некоторое значение, при котором напряжение прикосновения к «пробитому» корпусу или токоведущей части, находящейся под напряжением, имеет наибольшее длительно допустимое значение $U_{пр. доп.}$

Принципиальная схема показана на рисунке 7.6. Датчиком может служить трансформатор тока нулевой последовательности ТТНП, магнитопровод которого охватывает все провода сети, играющие в этом случае роль первичных одновитковых обмоток трансформатора.

В результате магнитные потоки, создаваемые в магнитопроводе ТТНП токами первичных обмоток, складываются, а суммарный поток обуславливает возникновение тока во вторичной обмотке ТТНП, замыкающегося через обмотку реле.

В сети с заземленной нейтралью ТТНП может надеваться на провод, соединяющий нейтральную точку обмоток силового трансформатора с заземлителем.

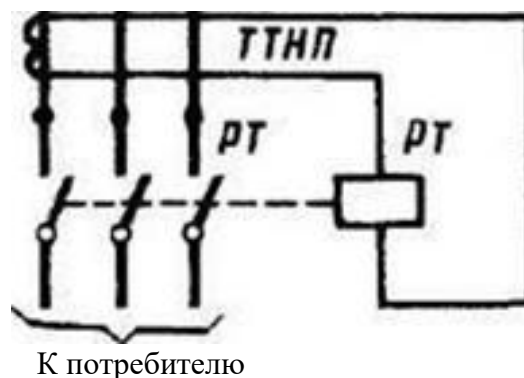


Рисунок 7.6 – Принципиальная схема УЗО, реагирующего на ток нулевой последовательности: ТТНП – датчик-трансформатор тока нулевой последовательности, РТ – токовое реле

Область применения УЗО, реагирующих на ток нулевой последовательности, — сети любых напряжений как с заземленной, так и с изолированной нейтралью.

При этом, поскольку ток нулевой последовательности зависит от соотношения проводимостей относительно земли участков сети в зоне защиты и вне ее в сети с изолированной нейтралью, на четкость и надежность срабатывания УЗО влияет место установки ТТНП (или фильтра) на линии.

Наиболее эффективна в этом смысле установка ТТНП (или фильтра) в непосредственной близости от защищаемого оборудования, когда участок сети, находящийся в зоне защиты, оказывается малым по длине и обладает поэтому незначительной проводимостью относительно земли, не влияющей на ток нулевой последовательности.

И наоборот, размещение ТТНП в начале протяженной линии (в сети с изолированной нейтралью) приводит, как правило, к не селективности или отказу работы защитного отключения, поскольку ток нулевой последовательности может оказаться незначительным, несмотря на большой ток замыкания на землю.

В сети с заземленной нейтралью проводимость участка сети, находящегося вне зоны защиты, всегда достаточно велика (за счет проводимости заземления нейтрали источника тока), поэтому ТТНП можно размещать в любом месте линии, что не нарушит селективности работы устройства.

Достоинствами УЗО, реагирующих на ток нулевой последовательности, являются: возможность применения в сетях любых напряжений с различными режимами нейтрали; способность обеспечивать безопасность человека при прикосновении не только к корпусу, оказавшемуся под напряжением, но и к фазному проводу сети, находящемуся под рабочим напряжением; высокая степень надежности работы, т. е. малое количество ложных отключений; независимость работы устройства от значений сопротивления заземления и сопротивления нулевого проводника.

Последнее достоинство имеет немаловажное значение в тех случаях, когда невозможно заземлить нейтраль трансформатора, корпуса электрооборудования или нулевой проводник через малое сопротивление или когда из-за отдаленности потребителя сопротивление нулевого защитного проводника оказывается выше нормированных значений.

Недостатки — нечувствительность к симметричным снижениям сопротивления изоляции, сложность конструкции устройства, предназначенного защищать человека от поражения током при прикосновении к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Однако симметричные снижения сопротивлений возможны сравнительно редко, а сложность конструкции при современном развитии техники не является большим препятствием к устройству этого типа УЗО.

7.5 Устройства, реагирующие на оперативный ток

Об изменениях сопротивлений изоляции проводов сети относительно земли и заземления оборудования, которые чаще всего обуславливают безопасность эксплуатации электроустановки, можно судить по значению тока, проходящего через эти сопротивления и получаемого от постороннего источника. В этом случае сопротивления являются измеряемыми величинами, а ток, характеризующий их значение, – измерительным током. Его принято называть также оперативным током.

Оперативный ток может служить входной величиной устройства защитного отключения. В практике для этой цели применяют как постоянный, так и переменные токи различной частоты.

Назначение. УЗО, реагирующие на оперативный постоянный ток, предназначены для непрерывного автоматического контроля сопротивления изоляции сети, а также для защиты человека, прикоснувшегося к токоведущей части, от поражения током.

Следовательно, УЗО этого типа может служить самостоятельной мерой защиты от поражения током при прикосновении к незаземленному корпусу в период замыкания на него фазы или к токоведущей части, находящейся под напряжением. Оно может служить дополнительной защитой к заземлению.

Принцип действия – быстрое отключение сети от источника тока при снижении сопротивления ее изоляции относительно земли ниже некоторого предела, при котором ток через человека, прикоснувшегося к токоведущей части (или напряжение прикосновения), достигает наибольшего длительно допустимого значения.

Область применения устройств, реагирующих на оперативный постоянный ток сети до 1000 В с изолированной нейтралью.

При этом корпуса защищаемых объектов могут быть заземлены или изолированы от земли. В сети с заземленной нейтралью эти схемы неприменимы из-за шунтирования сопротивления изоляции проводов малым сопротивлением заземления нейтрали, вследствие чего оперативный постоянный ток замыкается через это заземление.

Кроме того, сети, в которых применяются рассматриваемые схемы, должны быть небольшой протяженности. Это обстоятельство диктуется тем, что в протяженных сетях вследствие сравнительно большой емкости проводов относительно земли и малого сопротивления изоляции, как правило, не удастся обеспечить защиту от поражения при прикосновении к фазе.

Достоинствами УЗО, реагирующих на оперативный постоянный ток, являются возможность обеспечения высокой степени безопасности для людей благодаря ограничению тока, проходящего через человека, до необходимых пределов и возможность самоконтроля исправности, поскольку при обрыве цепей прохождение тока через реле прекращается, что и служит импульсом на отключение установки.

К недостаткам этих устройств относятся сравнительная сложность их, поскольку требуется источник постоянного тока, а также неселективность работы, что приводит к неоправданным отключениям исправной сети.

Кроме того, эти УЗО не контролируют значения емкостной проводимости проводов сети относительно земли, поэтому при большой емкости, что может быть в разветвленных кабельных сетях, эффективность действия УЗО резко снижается.

8 Электрозащитные средства и приспособления

В процессе эксплуатации электроустановок нередко возникают условия, при которых даже самое совершенное конструктивное исполнение установок не обеспечивает безопасности работающего, и поэтому требуется применение специальных средств защиты – приборов, аппаратов, переносных и перевозимых приспособлений и устройств, служащих для защиты персонала, работающего в электроустановках, от поражения электрическим током, электрического поля, продуктов горения, падения с высоты и т. п. Эти средства не являются конструктивными частями электроустановок; они дополняют ограждения, блокировки, сигнализацию, заземление, зануление и другие стационарные защитные устройства.

Средства защиты, применяемые в электроустановках, могут быть условно разделены на четыре группы: изолирующие, ограждающие, экранирующие и предохранительные. Первые три группы предназначены для защиты персонала от поражения электрическим током и вредного воздействия электрического поля и называются электрозащитными средствами [24, 25]...

Изолирующие электрозащитные средства изолируют человека от токоведущих или заземленных частей, а также от земли. Они делятся на основные и дополнительные.

Основные изолирующие электрозащитные средства обладают изоляцией, способной длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. К ним относятся [24, 25]:

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

в электроустановках выше 1000 В — изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также средства для ремонтных работ под напряжением выше 1000 В.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства не обладают изоляцией, способной выдержать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому они не могут служить защитой человека от поражения током при этом напряжении. Их назначение — усилить защитное (изолирующее) действие основных изолирующих средств, вместе с которыми они должны применяться;

причем при использовании основных электрозащитных средств достаточно одного дополнительного электрозащитного средства.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства не обладают изоляцией, способной выдержать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому они не могут служить защитой человека от поражения током при этом напряжении. Их назначение — усилить защитное (изолирующее) действие основных изолирующих средств, вместе с которыми они должны применяться; причем при использовании основных электрозащитных средств достаточно одного дополнительного электрозащитного средства.

К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся:

- в электроустановках до 1000 В — диэлектрические галоши и ковры, а также изолирующие подставки;

- в электроустановках выше 1000 В — диэлектрические перчатки, боты и ковры, а также изолирующие подставки.

Ограждающие электрозащитные средства предназначены для временного ограждения токоведущих частей, к которым возможно случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние, а также для предупреждения ошибочных операций с коммутационными аппаратами. К ним относятся временные переносные ограждения — щиты и ограждения-клетки, изолирующие накладки, временные переносные заземления и предупредительные плакаты.

Экранирующие электрозащитные средства служат для исключения вредного воздействия на работающие электрические поля промышленной частоты. К ним относятся индивидуальные экранирующие комплекты (костюмы с головными уборами, обувью и рукавицами), переносные экранирующие устройства (экраны) и экранирующие тканевые изделия (зонты, палатки и т. п.).

Предохранительные средства защиты предназначены для индивидуальной защиты работающего от вредных воздействий не электротехнических факторов — световых, тепловых и механических, а также от продуктов горения и падения с высоты. К ним относятся защитные очки и щитки, специальные рукавицы, изготовленные из трудновоспламеняемой ткани, защитные каски, противогазы, предохранительные монтерские пояса, страховочные канаты, монтерские когти.

а) Условия, нормы и сроки испытаний

Для проверки диэлектрических свойств все изолирующие электрозащитные средства, находящиеся в эксплуатации, подвергаются периодическим электрическим испытаниям повышенным напряжением. Лишь штанги, предназначенные исключительно для наложения временных заземлений и не имеющие металлических звеньев, и изолирующие подставки периодическим испытаниям не подвергаются

Электрозащитные средства	Напряжение электроустановки, В	Испытательное напряжение, кВ	Продолжительность испытаний, мин	Ток утечки, мА не более	Сроки периодических испытаний, мес
Перчатки резиновые диэлектрические	Любое	6	1	6	6
Галоши резиновые диэлектрические	До 1	3,5	1	2	12
Боты резиновые диэлектрические	Любое	15	1	7,5	36
Указатели напряжения до 1000 В	До 0,5	1	1	-	12
Указатели напряжения выше 1000 В с неоновой лампой (изолирующая часть)	2-35	3 U _л , но не менее 40	5	-	12
Указатели напряжения выше 1000 В бесконтактного типа (изолирующая часть)	10-35	70	1	—	12

б) Производство испытаний

Испытание штанг, изолирующих и электроизмерительных клещей является испытанием их изолирующей части на перекрытие по поверхности. С этой целью один провод от испытательного трансформатора присоединяют к рабочей части электрозащитного средства, а другой – к изолирующей части на границе рукоятки, выше упорного кольца.

Штанга и клещи считаются выдержавшими испытания, если в течение всего периода нахождения их под испытательным напряжением на их поверхности не возникали электрические разряды и не было отмечено колебаний в показаниях приборов (вольтметра, амперметра). Кроме того, при

ощупывании изолирующей части рукой сразу после снятия испытательного напряжения не должно ощущаться местных нагревов.

Испытание диэлектрических резиновых перчаток, бот, галош и колпаков является испытанием на пробой. Его выполняют с помощью специальной установки, в которой главным элементом кроме испытательного трансформатора является ванна — сосуд с водой. Испытуемые средства заполняют водой и погружают в ванну. При этом уровень воды как снаружи, так и внутри должен быть на 50 мм ниже края перчатки и колпака, а также отворота бот и на 10 мм ниже края борта галош, установленных горизонтально. Выступающие над водой края испытуемых средств должны быть сухими. Один электрод опускают внутрь изделия, другой – в воду. Воду применяют обычную водопроводную без каких-либо добавок.

Изделие считается выдержавшим испытание, если не произошло его пробоя и показания миллиамперметра не превышали установленных норм.

Испытание слесаро-монтажного инструмента с изолирующими рукоятками является испытанием изоляции рукояток на пробой и производится аналогично испытанию перчаток с погружением в воду большей части изолированных рукояток.

Испытание диэлектрического резинового ковра на пробой производится обычно путем его протягивания со скоростью 3 см/с между двумя вращающимися цилиндрическими электродами, к которым приложено испытательное напряжение.

Испытание указателя напряжения выше 1000 В заключается в испытании изолирующей части на перекрытие по поверхности и производится аналогично испытанию штанг. Кроме того, испытанию подвергается и рабочая часть указателя, для чего к ней прикладывается повышенное напряжение на 1 мин. При этом проверяется исправность неоновой лампы и определяется порог ее зажигания. Испытание указателя напряжения до 1000 В заключается в испытании изоляции рукояток и соединяющего их провода на пробой и в проверке схемы указателя повышенным напряжением, определении порога зажигания лампы и измерении тока, проходящего через указатель при наибольшем рабочем напряжении.

9 Организация безопасной эксплуатации электроустановок

9.1 Задачи электротехнического персонала

На предприятиях (в организациях, учреждениях) создаётся энергетическая служба. Если её нет, то обслуживание электроустановок может осуществлять специальная организация или электротехнический персонал другого предприятия по договору.

Руководитель предприятия должен обеспечить: содержание оборудования и электрических сетей в исправном состоянии; своевременное и

качественное проведение профилактических работ, ремонта энергетического оборудования; обучение электротехнического персонала и проверку знаний; надёжность электроустановок и безопасность их обслуживания; отсутствие технологий с вредным влиянием на окружающую среду; учёт и анализ неисправностей электроустановок, несчастных случаев, принятие мер по устранению причин их возникновения; разработку должностных и производственных инструкций; выполнение предписания органов Госэнергонадзора [33–35].

На предприятии (в организации) должен быть назначен ответственный за электрохозяйство (для непосредственной организации эксплуатации электроустановок) и лицо, его замещающее. Как правило, обязанности ответственного за электрохозяйство возлагаются на главного энергетика. Ответственный за электрохозяйство назначается приказом после обучения и присвоения соответствующей группы по электробезопасности (V – в электроустановках выше 1000 В и IV – в электроустановках до 1000 В). Допускается выполнение его обязанностей по совместительству.

На малых предприятиях, в кооперативах, где используются только осветительные установки, электроинструмент и электрические машины до 400 В, поступающие в розничную торговую сеть для продажи населению, ответственность за безопасную эксплуатацию электроустановок может быть возложена на руководителя без группы по электробезопасности (по согласованию с органами Энергонадзора). На индивидуальных и семейных предприятиях с электроустановками до 1000 В, используемых для производственных нужд (электродвигатели производственного и технологического назначения; электрические котлы; бойлеры и другие нагревательные приборы; сети освещения производственных помещений, складов, дворов, ферм) ответственным за электрохозяйство может быть назначен владелец предприятия, член семьи после обучения и присвоения III группы по электробезопасности (при его письменном согласии) [32–35]...

По решению руководителя могут быть назначены ответственные за электрохозяйство структурных подразделений.

Ответственный за электрохозяйство обязан обеспечить надёжную, экономичную и безопасную работу электроустановок; разработку и внедрение мероприятий по экономии электрической энергии, компенсации реактивной мощности, снижению норм удельного расхода энергии на единицу продукции; внедрение новой техники и технологии в электрохозяйство, организацию и своевременное проведение планово-предупредительного ремонта и профилактических испытаний электроустановок; систематический контроль за графиком нагрузки предприятия, поддержание режима электропотребления, установленного энергосистемой, обучение, инструктирование и периодическую проверку знаний персонала энергослужбы; учёт расхода электроэнергии; наличие и своевременную проверку средств защиты и противопожарного инвентаря; выполнение предписаний Энергонадзора в

установленные сроки; своевременное расследование аварий и отказов в работе электроустановок, а также несчастных случаев от поражения электрическим током; ведение технической документации, разработку необходимых положений; своевременное представление установленной отчетности вышестоящим организациям и предприятию «Энергонадзор».

Инженер по охране труда осуществляет ведомственный энергетический надзор за выполнением на предприятиях требований ПТЭ и ПТБ и других руководящих документов. К инспектированию электроустановок допускаются не все инженеры по охране труда, а только те, которые по своему должностному положению контролируют электрохозяйство и удовлетворяют следующим требованиям: имеют общий производственный стаж не менее 3-х лет; прошли проверку знаний в объёме IV группы по электробезопасности и получили удостоверение на право инспектирования электроустановок данного предприятия.

Инженер по охране труда, контролирующий электроустановки, выполняет следующие функции: определяет порядок организации и своевременного проведения инструктажей с электротехническим персоналом; участвует в работе комиссий по проверке знаний норм и правил работы в электроустановках, контролирует своевременность и качество проведения такой проверки; контролирует своевременность прохождения персоналом первичного и периодического медицинского освидетельствования, даёт предписание по устранению недостатков в организации безопасной эксплуатации электрохозяйства, обязательные для электротехнического персонала; принимает участие в расследовании всех случаев поражения электрическим током, нарушения норм и правил работы в электроустановках; анализирует совместно с ответственным за электрохозяйство причины электротравматизма и профзаболеваний и разрабатывает мероприятия по их устранению и профилактике; участвует в комиссии по внедрению стандартов по электробезопасности ССБТ и контролирует выполнение необходимых мероприятий; участвует в совещаниях с электротехническим персоналом по разбору случаев электротравматизма или допущенных нарушений Правил и инструкций; контролирует наличие на рабочих местах инструкций по электробезопасности и их своевременное обновление; помогает оформлению стендов, организации уголков электробезопасности в цехах, на предприятии.

Ответственность за выполнение Правил эксплуатации электроустановок потребителей. За нарушение в работе электроустановок несут персональную ответственность: работники, непосредственно обслуживающие электроустановки (за нарушение по их вине); работники, проводящие ремонт (за низкое качество ремонта); руководители и специалисты энергослужбы (за неудовлетворительное техническое обслуживание и невыполнение противоаварийных мероприятий). Это отражается в должностных инструкциях.

Ответственность может быть дисциплинарной, административной или уголовной. Она устанавливается инструкциями и действующим законодательством. При обнаружении неисправности электроустановок или средств защиты каждый работник должен немедленно сообщить об этом своему непосредственному руководителю.

Государственный надзор за соблюдением ПЭЭП осуществляется органами Госэнергонадзора.

9.2 Требования к персоналу

Электротехнический персонал предприятий подразделяется на:

административно-технический, который организует оперативные переключения, ремонтные, монтажные и наладочные работы в электроустановках и принимает непосредственно участие; обладает правами оперативного, ремонтного, оперативно-ремонтного персонала;

оперативный, ведёт оперативное управление электрохозяйством, оперативное обслуживание, переключение, подготовку рабочего места, допуск к работам и надзор за работающими; должен пройти стажировку на рабочем месте не менее двух недель;

ремонтный – за ним ремонт, реконструкция, монтаж электроустановок, испытание, измерение, наладка, регулировка электроаппаратуры; оперативно-ремонтный, функции оперативного и ремонтного персонала на закрепленных за ним электроустановках.

Электротехнологический персонал, обслуживает электротехнологические установки и процессы (электролиз, электросварка и т. п.); имеет достаточные знания и навыки для безопасного выполнения работ по техническому обслуживанию энергонасыщенного производственно-технического оборудования. Он не входит в состав электротехнической службы, имеет группу по электробезопасности II и выше.

9.3 Группы по электробезопасности в Казахстане и порядок их присвоения

В ходе обучения электробезопасности получают следующие знания:

- общие сведения об электроприборах;
- правила и нормы работы с электроустановками;
- требования, предъявляемые в настоящее время к работникам и их подготовке к эксплуатации электрооборудования;
- порядок безопасной работы с электрическими приборами;
- информацию о защитных средствах и мерах безопасности.

Профессиональная подготовка электротехнического персонала, прохождение курсов повышения квалификации, проверка знаний в сфере

электробезопасности реализуются в соответствии с требованиями государственных и отраслевых правовых документов по охране труда. Персонал в электротехнической отрасли допускают к самостоятельной работе с электроустановками исключительно после специального обучения таким навыкам, как приемы первой медицинской помощи и приемы освобождения пострадавших от воздействия тока. В этом случае у сотрудников должны быть удостоверения по электробезопасности.

Человек, по долгу службы взаимодействующий с электрооборудованием или электрическими приборами, подвержен некой доле риска, связанной с возникновением несчастных случаев. Поэтому на государственных производствах и частных предприятиях должны работать квалифицированные сотрудники, прошедшие обучение по электробезопасности и имеющие удостоверение, подтверждающее этот факт.

К эксплуатации и обслуживанию электроустановок действующего типа могут быть допущены только те лица, которые имеют одну из групп по электробезопасности (таблица 9.1). Это требование является основным условием для всего персонала, который работает в электроустановках и не имеет электротехнического образования. Вообще, весь персонал в электротехнической категории можно разделить на такие группы:

- для выполнения ремонтных работ;
- для осуществления административно-технических обязанностей;
- выполняющий электротехнологические функции;
- персонал на производственных участках;
- оперативный персонал.

В настоящее время существует 5 групп квалификации по электробезопасности для персонала, который обслуживает электроустановки или работает на них. Нужно обязательно указать мероприятия, которые предусмотрены Правилами технической эксплуатации электроустановок.

Не электротехнический персонал часто работает в таких условиях, где возникает опасность поражения электрическим током. В этом случае он должен иметь первую группу допуска. Руководитель предприятия устанавливает список должностей и профессий, которым необходимо присвоить такую группу.

Персонал должен изучить и усвоить требования по электробезопасности, которые установлены для его деятельности на производстве. Персоналу, усвоившему требования по электробезопасности, относящиеся к его производственной деятельности, присваивается группа I. Присвоение *группы I* производится путем проведения инструктажа, который завершается проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы. Присвоение I группы проводится работником из числа электротехнического персонала, имеющим группу III, назначенным распоряжением руководителя организации.

Первая группа допуска по электробезопасности у персонала организаций не позволяет находиться в непосредственной близости к электроустановкам без сопровождающего лица с группой допуска по электробезопасности не ниже четвертой.

После проведения инструктажа осуществляется проверка знаний. Она может проводиться в устной форме. Также могут проверяться приобретенные навыки работы безопасными способами или навыки оказания первой помощи в случае поражения человека электрическим током. После этого персоналу присваивается первая группа. После этого в журнал определенной формы заносятся сведения о присвоении работникам первой группы по электробезопасности. Но выдача удостоверений в данном случае не предусмотрена [5, 12].

Поэтому, прежде чем допустить сотрудника до работ на электроустановках, необходимо присвоить первую группу по электробезопасности. Этим занимается работник из электротехнического персонала. Он должен иметь не меньше 3-й группы по электробезопасности. Первую группу можно присваивать примерно один раз в году.

Вторая, третья, четвертая и пятая группы допуска по электробезопасности присваиваются лицам из числа персонала организации, относящихся к электротехническому или технологическому персоналу, деятельность которого, согласно должностной инструкции, связана с соблюдением норм правил технической эксплуатации и правил безопасности в организациях, осуществляющих деятельность по производству для собственных нужд и потреблению электрической, тепловой энергии.

Вторая группа допуска по электробезопасности присваивается лицам из числа персонала организации, которая позволяет посещать объекты (оборудование, установки) в сфере электроэнергетики с сопровождающим лицом с группой допуска по электробезопасности не ниже четвертой. Для присвоения второй группы допуска квалификации по электробезопасности собирается квалификационная комиссия. Она присваивает данную группу всему электротехническому персоналу, который обслуживает оборудование с наличием электропривода. К этой категории относятся:

- машинисты грузоподъемных машин;
- термисты установок ТВЧ;
- управляющие машинами и механизмами с электроприводом;
- электросварщики, но не имеющие права подключения;
- люди, работающие с электромашинами переносного типа.

Кроме того, на вторую группу допуска до 1000 В могут рассчитывать сотрудники, которые не продлили группу допуска больше полугода. Также она присваивается молодым электромонтерам и электромонтажникам.

Электротехническому персоналу может быть присвоена *третья группа* по электробезопасности. Третья группа допуска по электробезопасности присваивается лицам из числа персонала организации, позволяет в

соответствии с должностной инструкцией осуществлять на вверенных электроустановках самостоятельно:

1) обслуживание, подключение и отключение, в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии в электроустановках напряжением до 1000В, а также осуществление допуска ремонтных или наладочных бригад к этим электроустановкам;

2) надзор за работой бригады по строительно-монтажным, ремонтным, пуско-наладочным работам, в том числе по испытаниям-измерениям в электроустановках;

3) участие в работе бригад в качестве наблюдающего персонала за производством работ. В результате они получают возможность обслуживания и осмотра электроустановок напряжением до 1000 В. Также у них имеется возможность подключения и отключения этих устройств.

Также лицам электротехнического персонала присваивается *четвертая группа* по электробезопасности. Четвертая группа допуска по электробезопасности присваивается лицам из числа персонала организации, деятельность которых также разрешает самостоятельно, в рамках должностной инструкции:

1) ведение диспетчерских и оперативных переговоров, осуществление обхода, осмотра, контроль и выдача распоряжения на подключения, переключения и отключения электроустановок, в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии в электроустановках;

2) обслуживание, подключение и отключение, в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии в электроустановках напряжением свыше 1000 В, а также осуществление допуска ремонтных или наладочных бригад к этим электроустановкам;

3) выдача нарядов и распоряжений по допуску бригады для выполнения строительно-монтажных, ремонтных, пуско-наладочных работ, в том числе по испытаниям-измерениям в электроустановках до 1000 В;

4) решать вопросы как лицу, ответственному за электрохозяйство (участка, объекта) с электроустановками напряжением до 1000 В. Этот персонал имеет право обслуживать электроустановки с напряжением больше 1000 В. Такую группу дают ответственным за электрохозяйство в организации лицам. На нее могут рассчитывать и оперативные сотрудники, которые занимается обучением молодых специалистов на рабочих местах.

Лицам, которые несут ответственность за электрохозяйство, а также остальному инженерно-техническому персоналу присваивается *пятая группа* по электробезопасности. Они могут работать с установками напряжением больше 1000 В. Также им принадлежит право отдавать различные распоряжения.

Пятая группа допуска по электробезопасности присваивается лицам из числа персонала организации, деятельность которых разрешает самостоятельно, в рамках должностной инструкции:

1) решать вопросы, как лицу ответственному за электрохозяйство (участка, объекта) с электроустановками напряжением выше 1000 В;

2) выдачи нарядов и распоряжений по допуску бригады для выполнения строительно-монтажных, ремонтных, пуско-наладочных работ, в том числе по испытаниям-измерениям в электроустановках выше 1000 В.

Прежде чем начать работать с электрооборудованием, необходимо получить определенные знания по электробезопасности во избежание поражения током вследствие неправильного использования электроприборов.

Таблица 9.1 – Группы допуска по электробезопасности электротехнического (электротехнологического) персонала и условия их присвоения

Группа допуска по электробезопасности	Минимальный стаж (срок) работ, выполняемых в сфере электроэнергетики для подтверждения группы допуска по электробезопасности	Минимальный объем знаний для подтверждения группы допуска по электробезопасности в рамках требований, установленных должностной инструкции
1	2	3
1	С момента устройства на работу в течение одного месяца, а также лиц, не подтвердивших квалификационную группу допуска по электробезопасности по результатам квалификационной проверки знаний в срок, установленный нормативными правовыми актами в сфере электроэнергетики.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Элементарные знания об опасности электрического тока на организм человека. 2. В рамках должностной инструкции в объеме соблюдения мер безопасности при подключении к электрической проводке (через электрические розетки) и использовании бытовой и офисной техники без снятия защитных устройств (кожухов, панелей) и разборки электрических вилок, розеток, выключателей, автоматов.
2	После обучения по программе не менее 72 часов в период работы с предыдущей группой допуска по электробезопасности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Знание в объеме предыдущей группы допуска по электробезопасности, а также элементарные технические знания о закрепленных электроустановках и оборудовании. 2. Знания безопасной работы с электроприводами, электросваркой (без самостоятельного подключения), термическими установками, грузоподъемными машинами, передвижными машинами и механизмами с электроприводом, ручными электрическими машинами и другим переносным электрическим оборудованием (инструментом) с напряжением электрической сети до 1000В (одна тысяча вольт). Вторая группа допуска по электробезопасности позволяет проводить работы в электроустановках напряжением до 1000 В, в том числе снятие защитных устройств (кожухов, панелей) и разборка электрических вилок, розеток, выключателей, автоматов при отсутствии на них электрического тока и напряжения. <p>2. Отчетливое представление об опасности электрического тока, опасности приближения к токоведущим частям, а также знаний основных мер электробезопасности при работах в сфере электроэнергетики, в том числе с применением электрозащитных средств и устройств.</p>

Продолжение таблицы 9.1

3	3 месяца в предыдущей группе, а для лиц, ранее подтверждавших III и выше группу допуска по электробезопасности, по окончании одного месяца с момента устройства его на работу.	<p>1. Знание в объеме предыдущей группы допуска по электробезопасности.</p> <p>2. Знания для выполнения:</p> <p>1) на вверенных электроустановках самостоятельного обслуживания, обхода, осмотра, подключения и отключения, в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии в электроустановках напряжением до 1000В, а также для допуска ремонтных или наладочных бригад к этим электроустановкам;</p> <p>2) самостоятельного производства ремонтных работ в электроустановках, проводке и приборах автоматики, учета, регистрации применяемых на объектах энергетики, станках и машинах (стационарных и передвижных), а также бытовой и офисной техники;</p> <p>3) в составе бригады строительно-монтажных, ремонтных, пуско-наладочных работ, в том числе по испытаниям-измерениям в электроустановках, работ по проводке и приборам автоматики, учету, регистрации применяемых на объектах энергетики, станках и машинах (стационарных и передвижных).</p> <p>3. Умение обеспечить безопасное ведение работы и вести надзор за работающими в электроустановках.</p> <p>4. Знание правил освобождения пострадавшего от действия электрического тока.</p>
4	6 месяцев в предыдущей группе, а для лиц, ранее подтверждавших IV и выше группу допуска по электробезопасности, по окончании одного месяца с момента устройства его на работу.	<p>1. Знание в объеме предыдущей группы допуска по электробезопасности.</p> <p>2. Знания для выполнения:</p> <p>1) самостоятельного обслуживания, ведения диспетчерских и оперативных переговоров, обхода, осмотра, подключения, переключения и отключения электроустановок, и в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии в электроустановках напряжением выше 1000 В, а также для допуска ремонтных или наладочных бригад к этим электроустановкам;</p> <p>2) руководства при выполнении бригадой строительно-монтажных, ремонтных, пусконаладочных работ, и в том числе по испытаниям-измерениям, в рамках должностной инструкции.</p> <p>3) в соответствии с должностной инструкцией административно-технического персонала руководство работами в организации как лицу, ответственному за электрохозяйство (участка, объекта) с электроустановками напряжением до 1000В;</p> <p>4) самостоятельного осмотра, в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии, для специалистов экспертных, проектных организаций в сфере электроэнергетики, экспертов или специалистов (энергоаудиторов) в области энергосбережения и повышения энергоэффективности;</p> <p>5) самостоятельного осмотра, и в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии руководителями и специалистами служб безопасности и охраны труда организаций по вопросам электробезопасности, контроля и принятия мер по выявленным нарушениям организации в рамках должностной инструкции.</p> <p>3. Полное представление об опасности при работах в электроустановках.</p> <p>4. Умение обучать персонал правилам техники безопасности.</p>

Продолжение таблицы 9.1

5	12 месяцев в предыдущей группе, а для лиц, ранее подтверждавших V группу допуска по электробезопасности, по окончании одного месяца с момента устройства его на работу.	<p>1. Знание в объеме предыдущей группы допуска по электробезопасности</p> <p>2. Знания для выполнения:</p> <p>1) в соответствии с должностной инструкцией административно-технического персонала руководство работами в организации как лицу, ответственному за электрохозяйство (участка, объекта) с электроустановками напряжением выше 1000 В;</p> <p>2) самостоятельного осмотра, в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии, для специалистов экспертных, проектных организаций в сфере электроэнергетики, экспертов или специалистов (энергоаудиторов) в области энергосбережения и повышения энергоэффективности.</p> <p>3) самостоятельного осмотра, в том числе в схемах (системах) учета электрической энергии руководителями и специалистами служб безопасности и охраны труда организаций по вопросам электробезопасности, контроля и принятия мер по выявленным нарушениям организации, при условии требований их должностной инструкцией.</p> <p>3. Знание схем электроустановок, компоновки оборудования, технологических процессов производства.</p> <p>4. Умение организовать безопасное проведение работ и осуществлять непосредственное руководство работами в электроустановках любого напряжения.</p> <p>5. Умение четко обозначать и излагать требования о мерах безопасности при проведении инструктажа работников.</p> <p>6. Умение обучать персонал правилам техники безопасности, практическим приемам оказания первой медицинской помощи.</p>
---	---	--

9.4 Квалификационная проверка знаний

Работники организации, не имеющей в своем составе энергетические службы, проходят квалификационную проверку знаний в комиссии, создаваемой территориальным департаментам государственного органа по государственному энергетическому надзору и контролю из специалистов энергетических организаций, прошедших квалификационную проверку знаний и имеющих группу по электробезопасности не ниже четвертой.

Квалификационная проверка знаний специалистов осуществляется комиссией по квалификационной проверке знаний, создаваемой ежегодно приказом руководителя энергетической организации для проведения квалификационной проверки знаний [5,12].

Ежегодно, в срок до 25 декабря, организации составляют список специалистов, подлежащих квалификационной проверке знаний на следующий календарный год.

Согласно списку лицо, ответственное за организацию проведения квалификационной проверки знаний специалистов, направляет специалисту письменное уведомление о прохождении квалификационной проверки знаний не позднее 30 календарных дней до даты проведения квалификационной проверки знаний.

Квалификационная проверка знаний каждого специалиста проводится индивидуально в форме тестирования с использованием компьютерных программ или в письменной форме.

По итогам проведения квалификационной проверки знаний оформляется протокол квалификационной проверки знаний.

Назначенные сроки проведения квалификационной проверки знаний специалистов продлеваются руководителем организации с момента их окончания, но не более чем на месяц по уважительным причинам (болезнь, командировка, отпуск, обучение в учебных заведениях) при документальном подтверждении.

Специалистам, нарушившим сроки по прохождению первичной или периодической (очередной) квалификационной проверки знаний без уважительной причины, а также не подтвердившим свою квалификацию, понижается группа допуска по электробезопасности на одну единицу и назначается прохождение внеочередной квалификационной проверки знаний в течение 30 календарных дней, следующей за датой пропущенного срока или не подтверждения (присвоения) группы допуска по электробезопасности.

Руководитель, в подчинении которого находится электротехнологический персонал, должен иметь группу по электробезопасности не ниже, чем у подчинённого персонала. Перечень должностей ИТР и электротехнологического персонала, которым необходимо иметь группу по электробезопасности, утверждает руководитель.

Работники из электротехнического персонала до 18 лет к работе в электротехнических установках не допускаются. Практикантам из учебных заведений до 18 лет разрешается пребывание в действующих электроустановках под постоянным надзором лиц из электротехнического персонала с группой не ниже III в электроустановках до 1000 В, не ниже IV – в электроустановках выше 1000 В. Им до 18 лет запрещается допуск к самостоятельной работе и присвоение группы III и выше.

Электротехнический персонал не должен иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья электротехнического персонала определяется медицинским освидетельствованием при приёме на работу, а также периодическими осмотрами (сроки устанавливаются органами здравоохранения). От медицинского освидетельствования освобождается административно-технический персонал, не принимающий участие в оперативных, ремонтных, монтажных и наладочных работах и не организующий их.

В частности, работники, не имеющие профессиональной подготовки (со средним образованием или без него) могут получить II группу после обучения по программе не менее 72 часов в специализированных центрах подготовки персонала в учебных комбинатах.

9.5 Подготовка персонала

После проверки знаний – стажировка на рабочем месте (дублирование) продолжительностью не менее 2 недель и только после этого распоряжением по предприятию или цеху осуществляется допуск к самостоятельной работе.

Ответственность за правильность действий обучаемых и соблюдение им требований Правил несут как сам обучаемый, так и обучающий его работник.

Проверка знаний Правил и инструкций подразделяется на первичную (перед допуском к самостоятельной работе, при поступлении на работу), периодическую, внеочередную (при нарушении правил и инструкций, по требованию ответственного за электрохозяйство или органов Госэнергонадзора; после несчастных случаев или крупного нарушения техники безопасности, при плохом состоянии электрооборудования оформляется специальное предписание, которое может направить инженер по охране труда или главный инженер).

Периодическая проверка для электротехнического персонала, непосредственно обслуживающего действующие электроустановки, выполняющего электромонтажные и ремонтные работы, испытания, оформляющего распоряжения и организующего эти работы, проводится 1 раз в год; для руководителей и специалистов, не относящихся к предыдущей группе, а также для инженеров по охране труда, допущенных к инспектированию электроустановок, – 1 раз в три года. Допускается продление срока проверки на один месяц (из-за отпуска, болезни).

Получившим неудовлетворительную оценку комиссия назначает повторную проверку в срок не ранее двух недель и не позднее одного месяца со дня последней проверки. Аналогично организуется и третья проверка. При получении неудовлетворительной оценки при третьей проверке знаний производится перевод работника на другую работу, не связанную с обслуживанием электроустановок.

Проверку знаний должна проводить квалификационная комиссия в количестве не менее трёх человек:

- у ответственного за электрохозяйство предприятия, его заместителя и инженера по охране труда, контролирующего электроустановки – в составе руководителя (заместителя), инспектора энергонадзора и представителя службы охраны труда (профсоюза);

- у ответственных за электрохозяйство структурных подразделений – комиссия, назначаемая руководителем с участием ответственного за электрохозяйство предприятия;

- у остальных – комиссия, назначаемая ответственным за электрохозяйство (с участием непосредственного руководителя работника, чьи знания проверяет комиссия).

Разрешается использование ЭВМ при всех видах проверки, кроме первичной. Проверка знаний проводится индивидуально. Результаты проверки заносятся в журнал специальной формы, выдаётся удостоверение специальной

формы (инженеру по охране труда – с правом инспектирования электроустановок). Роспись членов комиссии может производиться один раз с указанием прописью числа лиц, у которых проведена проверка знаний.

Кстати, предписывается в учебных комбинатах, на курсах, факультетах повышения квалификации и других специализированных учебно-производственных подразделениях создавать комиссии приказом (распоряжением) руководителя главного или регионального энергонадзора для проверки знаний и присвоения группы по электробезопасности персоналу предприятий, организаций и учреждений, прошедших в них обучение (повышение квалификации).

Органами Госэнергонадзора выдаётся специальное разрешение на создание таких комиссий, а сами члены комиссий проходят проверку знаний электробезопасности в этих органах (выдавших разрешение). При этом председателем комиссии, как правило, назначается старший государственный инспектор по энергетическому надзору.

Во всех случаях комиссии создаются, как правило, в количестве не менее пяти человек, в приказе (распоряжении) члены комиссии перечисляются пофамильно, список членов комиссии уточняется и утверждается. Из состава комиссии назначается председатель, один или несколько заместителей. Все члены комиссии должны иметь группу по электробезопасности (за исключением председателя профкома). Председатель комиссии должен иметь V группу по электробезопасности, если в электрохозяйстве есть электроустановки на напряжение выше 1000 В; если таковых нет – председателю комиссии достаточно иметь IV группу.

В ряде случаев для работы на предприятиях, в учреждениях и организациях может привлекаться электротехнический персонал, имеющий соответствующую группу по электробезопасности, для работы по совместительству. Проверка их знаний может не проводиться, но решение об этом принимает местный орган Госэнергонадзора по письменному обращению руководителя (владельца) предприятия, учреждения, организации, принимающих специалиста для работы по совместительству. Во всех подобных случаях, поступающие на работу по совместительству специалисты должны представить удостоверение и выписку из журнала (протокола) проверки знаний норм и правил работы в электроустановках по основной работе, которая Должна быть заверена первым руководителем и печатью.

9.6 Производство работ

Работы в электроустановках в отношении мер безопасности подразделяются на выполняемые:

- со снятием напряжения;
- без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них.

К работам со снятием напряжения относятся работы, выполняемые в электроустановке (или части её), в которой с токоведущих частей снято напряжение.

К работам без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них относятся работы, производимые непосредственно на этих частях. В установках напряжением выше 1000 В, а также на воздушных линиях до 1000 В к этим же работам относятся те, что выполняются на менее допустимых от токоведущих частей расстояниях. Такие работы должны выполнять не менее двух лиц: производитель работ с группой не ниже IV, остальные – не ниже III.

9.7 Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность в электроустановках, являются [5, 12, 32]:

- а) оформление работы нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- б) допуск к работе;
- в) надзор во время работы;
- г) оформление перерыва в работе, переводов на другое рабочее место, окончания работы.

Лицами, ответственными за безопасность являются:

- а) лицо, выдающее наряд, отдающее распоряжение; утверждающее перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- б) допускающий – ответственное лицо из оперативного персонала;
- в) ответственный руководитель;
- г) производитель работ;
- д) наблюдающий;
- е) члены бригады.

Межотраслевые правила чётко определяют права и обязанности указанных лиц, а также организационные меры при выполнении всех видов работ.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения

При подготовке рабочего места для работ со снятием напряжения оперативным персоналом должны быть выполнены в указанном порядке следующие технические мероприятия:

- а) произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;
- б) на приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационной аппаратурой вывешены запрещающие плакаты;

в) проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, на которых должно быть наложено заземление для защиты людей от поражения электрическим током;

г) наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);

д) вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты, ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части. В зависимости от местных условий токоведущие части ограждаются до и после наложения заземлений.

В Межотраслевых Правилах по охране труда определён порядок и правила выполнения каждого из указанных мероприятий.

9.8 Работы без снятия напряжения

В электроустановках напряжением до 1000 В при работе под напряжением необходимо:

- оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение;

- работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на резиновом диэлектрическом ковре;

- применять изолированный инструмент (у отверток, кроме того, должен быть изолирован стержень), пользоваться диэлектрическими перчатками.

Не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры и т. п.

Не допускается при работе около не ограждённых токоведущих частей располагаться так, чтобы эти части находились сзади работника или с двух боковых сторон.

Не допускается прикасаться без применения электрозащитных средств к изоляторам, изолирующим частям оборудования, находящегося под напряжением.

9.10 Производство работ в действующих электроустановках

а) Категории работ

Ремонтные, монтажные, наладочные, строительные и другие работы, выполняемые в действующих электроустановках, в том числе на воздушных и кабельных линиях, в отношении мер безопасности делятся на три категории: работы со снятием напряжения; работы без снятия напряжения; работы под напряжением [5, 12, 32].

Работы со снятием напряжения выполняют при полном или частичном отключении электроустановки.

При работах с частичным отключением работающих не должен приближаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на расстояния меньше указанных в таблице 9.2.

Запрещается работать в согнутом положении, если при выпрямлении расстояние до токоведущих частей будет меньше указанного в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением

Напряжение электроустановок, кВ	Расстояние от работников и применяемых ими инструментов и приспособлений до временных ограждений, м	Расстояния от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении до стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м
ВЛ до 1	0,6	1,0
Остальные электроустановки:		
до 1	не нормируется (без прикосновения)	1,0
1 - 35	0,6	1,0
60 \leq * \geq - 110	1,0	1,5
150	1,5	2,0
220	2,0	2,5
330	2,5	3,5
400* - 500	3,5	4,5
750	5,0	6,0
1150	8,0	10,0

* Постоянный ток.

В электроустановках электростанций и подстанций 6—110кВ при работе около не ограждённых токоведущих частей запрещается располагаться так, чтобы эти части находились сзади или с двух боковых сторон.

Работы без снятия напряжения выполняют без отключения электроустановки. При этом работать разрешается за постоянными и временными ограждениями токоведущих частей, на корпусах оборудования, на поверхности оболочек кабелей, а также на расстояниях от не ограждённых токоведущих частей, находящихся под напряжением больше указанных в таблице 9.2.

Работы под напряжением выполняют непосредственно на токоведущих частях, находящихся под рабочим напряжением, с применением электрозащитных средств.

Электрозащитные средства, применяемые при этих работах (изолирующие штанги и клещи, диэлектрические перчатки и т. п.), используют для изоляции человека от токоведущих частей, находящихся под напряжением, либо от земли (диэлектрические ковры, боты и галоши, изолирующие подставки, специальные изолирующие устройства и т. п.).

б) Условия производства работ

В электроустановках все работы необходимо производить при обязательном соблюдении следующих условий:

- 1) работу можно выполнять только с разрешения уполномоченного на это официального лица в соответствии с заданием, оформленным в виде наряда или распоряжения;
- 2) работу должны вести, как правило, не меньше чем два лица;
- 3) должны быть выполнены организационные и технические мероприятия, обеспечивающие персоналу безопасные условия работ.

Организационные мероприятия имеют целью обеспечить безупречную организацию выполнения работ в электроустановках для исключения несчастных случаев с людьми при высокой производительности труда и хорошем качестве работ. Такими мероприятиями являются:

- а) выдача нарядов и распоряжений на производство работ;
- б) допуск бригады к работе;
- в) надзор за бригадой во время работы;
- г) оформление перерывов в работе и окончания работ.

Технические мероприятия имеют целью обеспечить безопасность персонала при выполнении работ с полным или частичным снятием напряжения с электроустановки. К ним относятся:

- предотвращение ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры (блокирование, механический запор приводов, снятие предохранителей и т. п.);
- вывешивание переносных плакатов по технике безопасности и при необходимости установка временных ограждений;
- проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях установки, предназначенной для работы;
- наложение временных заземлений.

Лица, ответственные за безопасность производства работ

Организационные мероприятия. Ответственным за организацию и выполнение высокопроизводительного и безопасного процесса работ в действующих электроустановках является:

- 1) лицо, выдающее наряд или отдающее распоряжение на производство работ в действующей электроустановке;
- 2) руководитель работ, выполняемых по наряду;
- 3) лицо, дающее разрешение на подготовку рабочего места и допуск бригады к работе;
- 4) лицо, подготавливающее рабочее место;
- 5) лицо, допускающее бригаду к работе;
- 6) производитель работ (наблюдающий).

Лицо, выдающее наряд или отдающее распоряжение на производство работ, назначается из числа административно-технического персонала предприятия и его структурных подразделений, имеющего квалификационную группу по электробезопасности не ниже V.

Руководителем работ, выполняемых по наряду, назначается инженерно-технический работник с группой не ниже V. Он обязан перед допуском бригады к работе проверить правильность подготовки рабочего места, проинструктировать бригаду при допуске и организовать безопасное производство работ.

Лицом, дающим разрешение на подготовку рабочего места и допуск бригады к работе, является дежурный с группой V, в оперативном управлении которого находится данная электроустановка.

Дежурный, выдавая разрешение на подготовку рабочего места и допуск бригады к работе, обязан сообщить лицам из числа оперативно-ремонтного персонала или дежурным, подготавливающим рабочее место, а также допускающим о предварительно выполненных операциях по отключению и наложению временных защитных заземлений. Он должен также вести учет допущенных к работе бригад.

Лицом, подготавливающим рабочее место, является дежурный или лицо из числа оперативно-ремонтного персонала. Он обязан выполнить относящиеся к нему указанные в наряде меры по подготовке рабочего места, а также принять дополнительные меры безопасности, требуемые Правилами техники безопасности (установка плакатов, ограждений и т. п.).

Допускающий к работе – лицо, имеющее электротехническую специальность, лично допускающее бригаду к работе. Его обязанность — убедиться в правильности подготовки рабочих мест и допустить бригаду к работе. Допускающими должны назначаться лица из числа дежурного и оперативно-ремонтного персонала с группой IV при работе в электроустановках выше 1000 В и с группой III – в установках до 1000 В. На ВЛ допускающими могут быть производители работ ремонтных бригад

Производитель работ является непосредственным руководителем бригады. При работах, выполняемых по наряду в электроустановках выше 1000 В, производитель работ должен иметь группу IV, а в электроустановках до 1000

В – группу III. При работах, выполняемых по распоряжению во всех электроустановках, производитель работ может иметь группу III.

Наблюдающий – лицо, имеющее электротехническую специальность, назначаемое для надзора за бригадами работников различных специальностей, не имеющих права самостоятельно работать в электроустановках по нарядам или распоряжениям (плотники, уборщики, монтажники и т. п.).

Наблюдающие должны иметь группу не ниже III. Их назначают при работах со снятием напряжения и работах на нетоковедущих частях без снятия напряжения.

Производитель работ (наблюдающий) обязан:

- принять рабочее место от допускающего, выяснить у него, какие меры безопасности приняты при подготовке этих мест, а в пределах рабочих мест убедиться осмотром в их выполнении;

- проинструктировать бригаду о мерах безопасности, которые необходимо соблюдать при выполнении работы,

- обеспечить выполнение членами бригады необходимых мер безопасности;

- контролировать исправность и пригодность инструмента, инвентарных средств защиты, такелажных приспособлений и т. п., а также сохранность установленных на рабочих местах заземлений, ограждений, плакатов, запирающих устройств приводов.

Наблюдающий обязан контролировать наличие установленных на рабочем месте заземлений, ограждений, плакатов, запирающих устройств приводов и обеспечить безопасность членов бригады от поражения электрическим током электроустановки.

На предприятии письменным указанием руководства должно быть оформлено предоставление прав работникам предприятия: выдающим наряд, распоряжение; допускающим из числа оперативно-ремонтного персонала; руководителям, производителям работ; наблюдающим.

Выдача нарядов и распоряжений на производство работ. Наряд — это составленное на специальном бланке задание на безопасное производство работы, определяющее ее содержание, место, время начала и окончания, необходимые меры безопасности, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность выполнения работы.

Распоряжение – это задание на безопасное производство работы, определяющее ее содержание, место, время, меры безопасности (если они требуются), и лиц, которым поручено ее выполнение. Распоряжение может быть устным либо письменным, произвольной формы.

Распоряжение имеет разовый характер; срок его действия определяется продолжительностью рабочего дня исполнителей.

По нарядам должны производиться следующие виды работ в электроустановках электростанций, подстанций, распределительных устройств, а также на кабельных линиях электропередачи:

- при напряжении выше 1000 В — со снятием напряжения; под напряжением на токоведущих частях без снятия напряжения на нетоковедущих частях, когда требуется установка временных ограждений с применением в РУ механизмов и грузоподъемных машин;

- при напряжении до 1000 В – на сборных шинах распределительных устройств, распределительных щитов и сборок, а также на их присоединениях, по которым может быть подано напряжение.

На воздушных линиях электропередач и по нарядам должны производиться следующие работы: со снятием напряжения; под напряжением на токоведущих частях; без снятия напряжения, в том числе с подъемом на опору выше 3 м от уровня земли, считая от ног человека; с разборкой конструктивных частей опоры; с откапыванием стоек опоры на глубину более 0,5 м с применением механизмов и грузоподъемных машин в охранной зоне; по расчистке трассы ВЛ, когда требуется принимать меры, предотвращающие падение на провода вырубаемых деревьев; по расчистке трассы ВЛ 0,4—10 кВ, когда обрубка веток и сучьев связана с опасным приближением людей к проводам или с возможностью падения веток и сучьев на провода.

По распоряжениям могут выполняться остальные работы, кроме перечисленных, в том числе работы на электродвигателях, от которых отсоединен кабель и концы его замкнуты накоротко и заземлены, работы в помещении КРУ. Для предотвращения самопроизвольного или ошибочного включения ручные приводы разъединителей, отделителей и выключателей нагрузки, которыми может быть подано напряжение к месту работы, должны быть заперты на замок в отключенном положении (рисунок 9.1). Если эти аппараты имеют дистанционное управление, то у их приводов должны быть отключены цепи силовые и оперативного тока, а у пневматических приводов, кроме того, должен быть закрыт и заперт на замок вентиль на подводящем трубопроводе сжатого воздуха и выпущен сжатый воздух. У грузовых и пружинных приводов включающий груз или включающие пружины должны быть приведены в нерабочее положение, а устройства подъема этого груза или заводки пружин деблокированы [5,12,32].

Бригада при работе по наряду должна состоять не менее чем из 2 человек: производителя работы и члена бригады с группой II или наблюдающего и члена бригады с группой I.

По распоряжению допускается работать единолично. Перечень работ, которые по распоряжению может выполнять одно лицо, должен быть утвержден руководством предприятия.

д) Отключение токоведущих частей

В электроустановках выше 1000 В при работах со снятием напряжения на месте производства работ должны быть отключены:

- а) токоведущие части, на которых будут производиться работы;
- б) не огражденные токоведущие части, к которым требуется приближаться людям.

Отключение должно производиться так, чтобы выделяемые для выполнения работы часть электроустановки или электрооборудование были отделены со всех сторон от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

При этом с каждой стороны, откуда коммутационным аппаратом может быть подано напряжение на рабочее место, должен быть видимый разрыв, образованный отключением разъединителей.



Рисунок 9.1 – Ручной привод разъединителя, запертый на замок в отключенном положении

У разъединителей, управляемых оперативной штангой, стационарные ограждения должны быть заперты на механический замок.

В электроустановках 6–10 кВ с однополюсными разъединителями для предотвращения их ошибочного включения разрешается надевать на ножи резиновые колпаки.

Для исключения возможности появления напряжения на отключенном участке вследствие обратной трансформации трансформаторы напряжения и силовые трансформаторы, связанные с этим участком, необходимо отключить и со стороны напряжения до 1000 В, а также вывесить плакат «Не включать — работают люди» (на рубильнике, автомате, предохранителе и т. п.) (рисунок 9.2).

При этом приводы отключающих аппаратов следует запереть механически или установить изолирующие накладные между их контактами.



Рисунок 9.2 – Плакаты по электробезопасности

В электроустановках до 1000 В с токоведущих частей, на которых будет производиться работа, напряжение со всех сторон должно быть снято отключением коммутационных аппаратов с ручным приводом, а при наличии в схеме предохранителей — снятием последних. При отсутствии в схеме предохранителей «Не включать — работают люди», а отключенных для производства работ на воздушных или кабельных линиях — плакаты «Не включать – работа на линии» (рисунок 9.2);

б) у разъединителей, управляемых оперативной штангой, указанные плакаты размещают на ограждениях, а у разъединителей с полюсным приводом – на приводе каждого полюса;

в) на присоединениях до 1000 В, не имеющих автоматов, выключателей или рубильников, плакаты «Не включать — работают люди» или «Не включать — работа на линии» вывешивают у снятых предохранителей;

г) на вентилях, закрывающих доступ сжатого воздуха в пневматические приводы разъединителей, которыми произведено отключение, вывешивают плакаты «Не открывать — работают люди»;

д) в закрытых электроустановках на сетчатых или сплошных ограждениях (дверях) ячеек, соседних с местом работ и противоположащих, вывешивают плакаты «Стой – напряжение» (рисунок 9.2);

е) в ОРУ на веревочных ограждениях вывешивают плакаты «Стой – напряжение» (рисунок 9.2). При этом надписи должны быть обращены внутрь огражденного пространства; вывешивает персонал, производящий отключение, сразу после отключения соответствующего аппарата, а также при подготовке рабочего места.

Плакаты необходимо вывешивать в соответствии со следующими указаниями:

а) на приводах разъединителей, отделителей и выключателей нагрузки, на ключах и кнопках дистанционного управления ими;

ж) на подготовленных рабочих местах после наложения переносных заземлений вывешивают плакат «Работать здесь».

Предотвращение ошибочного включения коммутационных аппаратов должно быть обеспечено такими мерами, как запираание рукояток или дверец шкафа, закрытие кнопок, установка между контактами изолирующих накладок и др. Если коммутационный аппарат имеет дистанционное управление, то после его отключения должны быть отсоединены концы проводов от включающей катушки этого аппарата.

Если позволяют конструктивное исполнение аппаратуры и характер работы, перечисленные выше меры могут быть заменены расциновкой или отсоединением концов кабеля, проводов от коммутационного аппарата либо от оборудования, на котором должна производиться работа.

е) Вывешивание переносных плакатов по технике безопасности и ограждение места работ

Плакаты по технике безопасности вывешивают в аппаратуре до 1000 В (автоматы, рубильники, выключатели), отключенной при подготовке рабочего места в электроустановках электростанций, подстанций и РУ.



Рисунок 9.3 – Запрещающий плакат, вывешенный на ключе дистанционного управления выключателем при подготовке рабочего места на воздушной (или кабельной) линии

з) при работе наверху конструкции ОРУ, где возможен проход от места работы к соседним находящимся под напряжением ячейкам, устанавливают хорошо видимые плакаты «Стой — напряжение». Внизу на конструкции или лестнице, по которой должен происходить подъем работающих наверх, вывешивают плакат «Влезать здесь», а на соседних конструкциях – плакаты и «Не влезай – убьет!».

Временные ограждения устанавливают у соседних и противоположащих месту работ ячеек РУ, не имеющих ограждений, у проходов в соседние

помещения электроустановки, куда персоналу не следует входить, а также у тех участков электроустановки, которые близко расположены к месту работ и к не отключенным частям, к которым возможно случайное приближение на опасное расстояние.

Для временного ограждения токоведущих частей, оставшихся под напряжением, можно применять щиты, ширмы, экраны и т. п., изготовленные из дерева или других изоляционных материалов.

При установке временных ограждений расстояние от них до токоведущих частей, находящихся под напряжением, должно быть не менее указанного в таблице 9.2. В электроустановках 6—15 кВ это расстояние при необходимости может быть уменьшено до 0,35 м.

Таблица 9.2 – Наименьшие допустимые расстояния от механизмов и грузоподъемных машин, а также от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов до токоведущих частей электроустановки, находящихся под напряжением

Напряжение электроустановки, кВ	До 1	1 - 35	60 - 110	150	220	330	400-500	750	800 постоянного тока
Наименьшее допустимое расстояние, м	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,5	4,5	6,0	4,5

В ОРУ при работах, проводимых с земли и на оборудовании, установленном на фундаментах и отдельных конструкциях, рабочее место должно быть ограждено (с оставлением прохода) канатом или шнуром из растительных либо синтетических волокон.

Плакаты и ограждения, установленные при подготовке рабочих мест, запрещается убирать или переставлять до полного окончания работы.

ж) Проверка отсутствия напряжения на отключенных токоведущих частях

Отсутствие напряжения проверяют указателем напряжения, исправность которого перед применением должна быть установлена с помощью предназначенных для этой цели специальных приборов или приближением к токоведущим частям, расположенным поблизости и заведомо находящимся под напряжением. Отсутствие напряжения следует проверять на всех зажимах отключенного оборудования: на шинных спусках — на трех фазах; у разъединителя — на трех ножах и трех его баках и трех шинах выше проходных изоляторов (рисунок 9.4).



Рисунок 9.4 – Проверка отсутствия напряжения на токопроводящих частях перед их заземлением с помощью указателя напряжения с помощью изолирующей оперативной штанги

В электроустановках 35 кВ и выше, в том числе на воздушных линиях электропередачи, для проверки отсутствия напряжения допустимо также пользоваться изолирующей штангой: приближая ее рабочую часть к проводу, можно по возникновению или отсутствию искрения либо потрескивания определить, есть или нет напряжение на проводе (рисунок 9.4).

На одноцепных ВЛ 330 кВ и выше достаточным признаком отсутствия напряжения является отсутствие коронирования проводов.

Кроме того, отсутствие напряжения можно проверять прослеживанием схемы электроустановки в натуре. Такой способ проверки разрешается применять в ОРУ и ВЛ напряжением 330 кВ и выше. Он допустим также в ОРУ и ВЛ более низких напряжений, КРУН и КТП наружной установки при тумане, дожде и снегопаде в случае отсутствия указателей напряжения, пригодных для работы в этих условиях.

з) Наложение временных заземлений

Отключенные для работы токоведущие части должны быть временно заземлены со всех сторон, откуда может быть подано напряжение, а провода воздушных линий электропередачи, кроме того, – на месте производства работ. Дополнительно заземлить отключенные токоведущие части, т. е. на рабочем месте, необходимо и в других электроустановках, если возможно возникновение на этих частях наведенного потенциала от влияния соседних частей, остающихся под напряжением (рисунки 9.5 и 9.6).

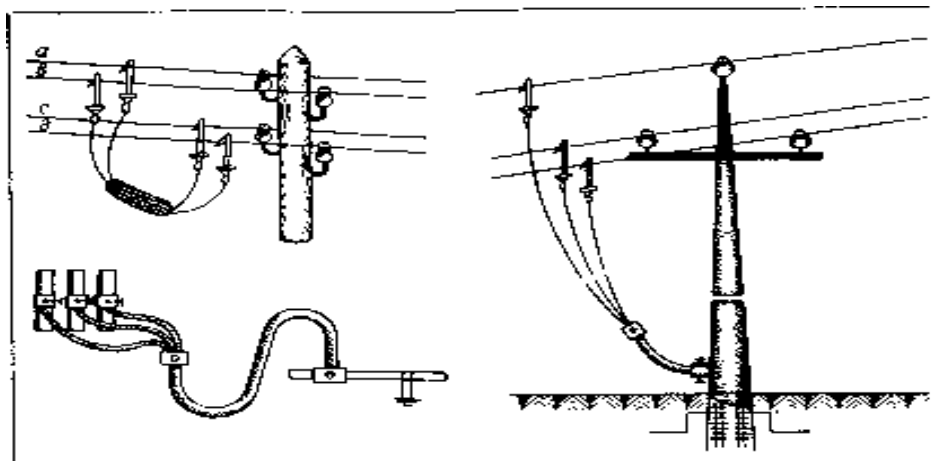


Рисунок 9.5 – Наложение временных заземлений

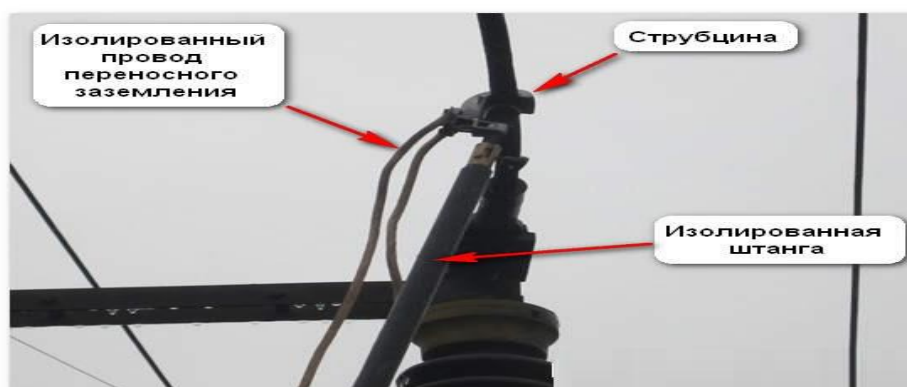


Рисунок 9.6 – Наложение временных заземлений

Заземление токоведущих частей на месте их отключения осуществляется путем включения специальных заземляющих ножей, являющихся постоянным элементом схемы электроустановки, либо путем наложения временных переносных заземлений.

Эти операции выполняют лица из числа дежурного или оперативно-ремонтного персонала, обслуживающего данную электроустановку.

и) Допуск бригады к работе

Бригада может приступить к работе лишь после допуска ее к работе специальным лицом — допускающим.

Перед допуском бригады к работе допускающий обязан получить на это разрешение дежурного, в оперативном управлении которого находится данная электроустановка. Затем он должен путем личного осмотра, а также по записям в оперативном журнале, по оперативной схеме, по сообщениям дежурных, оперативно-ремонтного персонала и персонала потребителей убедиться, что технические мероприятия по подготовке рабочего места выполнены. Производитель работ также проверяет подготовку рабочего места. х

к) Надзор во время работы

Надзор во время работы. Надзор производится в целях предупреждения нарушений требований техники безопасности и возлагается на производителя

работ или наблюдающего. Производитель работ и наблюдающий должны все время находиться на месте работы по возможности на том участке, где выполняется наиболее ответственная работа.

Наблюдающему запрещается совмещать надзор с выполнением другой работы. Допускается кратковременная отлучка одного или нескольких членов бригады. В этом случае производитель работ (наблюдающий) должен дать этим лицам необходимые указания по технике безопасности.

Количество членов бригады, оставшихся на рабочем месте, должно быть не менее двух, включая производителя работ.

Возвратившиеся члены бригады могут приступить к работе только с разрешения производителя работ. До возвращения отлучившихся производитель работ (наблюдающий) не имеет права покидать рабочее место.

л) Перерывы в работе и окончание работ

При перерывах в работе на протяжении рабочего дня (на обед, по условиям производства работ) бригада удаляется из помещения электроустановки, и двери помещения запираются на замок.

Наряд остается на руках у производителя работ (наблюдающего). Плакаты, ограждения и заземления остаются на месте.

Ни один из членов бригады не имеет права после перерыва войти в помещение или на территорию электроустановки в отсутствие производителя работ или наблюдающего. Допуск после такого перерыва выполняется производителем работ (наблюдающим) без оформления в наряде.

По окончании рабочего дня бригада убирает рабочее место. Предупредительные плакаты, заземления и ограждения остаются на местах. Наряд производитель работ оформляет подписью и передает допускающему, а при отсутствии последнего оставляет в отведенном для этого месте, например в папке действующих нарядов.

Полное окончание работ оформляется в наряде подписью производителя работ, а по нарядам, выданным с назначением руководителя работ, и его подписью после приемки им рабочих мест.

Допускающий после получения им от производителя работ наряда, в котором оформлено полное окончание работ, должен осмотреть рабочие места и сообщить лицу, выдавшему ему разрешение на подготовку рабочих мест и допуск бригады к работе, о полном окончании работ и о возможности включения электроустановки.

Включать электроустановку в работу можно только после получения на это разрешения (распоряжения) лица, выдавшего разрешение на подготовку рабочих мест и допуск бригады к работе, или лица, его сменившего.

Перед включением должны быть восстановлены постоянные ограждения и сняты установленные дежурным или оперативно-ремонтным персоналом при подготовке рабочих мест временные ограждения, переносные плакаты по технике безопасности и временные заземления.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. М.: ЭНАС, 2018. – 552 с.
2. Правила устройства электроустановок. Утверждены приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 20 марта 2015 года № 230.
3. Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 20 марта 2015 года № 230 Об утверждении Правил устройства электроустановок (с изменениями по состоянию на 31.05.2016 г.).
4. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей Республики Казахстан. Утверждены 30 марта 2015 г. приказом Министра энергетики Республики Казахстан № 246.
5. Калиничева О.А. Основы электробезопасности в электроэнергетике: Учебное пособие. – Архангельск: «С(А)ФУ», 2015–126 с.
6. Аванесов В.М., Гусева Т.В. Основы электробезопасности в организациях и в промышленности. – 6 изд., перераб. и доп. – М.: МИЭЭ, 2021. – 184 с.
7. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М., «Энергоатомиздат», 1985 г.
8. Маньков В. Д., Заграничный С. Ф. Опасность поражения человека электрическим током и порядок оказания первой помощи при несчастных случаях на производстве [Текст]: Практическое руководство. 9-е изд., испр. – СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ» «Электро Сервис», 2008. – 84 с.
9. Качалов А.Г., Наумов В.В. Основы электробезопасности. Методические материалы для работников охраны труда — 7-е изд., перераб. и доп. — Мытищи: Талант, 2012, — 136 с.
10. ГОСТ 12.1.038—82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
11. Жандаулетова Ф.Р., Хакимжанов Т.Е., Санатова Т.С. Учебник (для студентов высших учебных заведений специальности «БЖД и ЗОС»). – Алматы: АУЭС, 2018. – 351 с.
12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей в вопросах и ответах: Пособие для изучения и подготовки к проверке знаний / авт. сост. В. В. Красник. — М. : ЭНАС, 2014. – 136 с.
13. Качалов А.Г., Наумов В.В. Основы электробезопасности. Методические материалы для работников охраны труда — 7-е изд., перераб. и доп. — Мытищи: Талант, 2012, — 136 с.
14. ГОСТ 12.1.019–79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
15. ГОСТ 14254–80 «Изделия Электротехнические. Оболочки. Степени защиты».
16. ГОСТ 14255–80 «Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Оболочки. Степени защиты».
17. ГОСТ 12.1.009–76 «Электробезопасность. Термины и определения».

18. Ревякин А.И., Кашолкин Б.И. Электробезопасность и противопожарная защита в электроустановках. – М., «Энергия», 1980 г.
19. А. Ф. Монахов. Защитные меры в электроустановках: Методическое пособие по курсу "Безопасность жизнедеятельности" для всех специальностей ЭТФ, РТФ и АВТФ / Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : ЦНИТ МЭИ, 2001 . – 32 с.
20. А. Ф. Монахов. Защитные меры электробезопасности в электроустановках: Учебное пособие / М.: Энергосервис, 2006 . – 152 с. – ISBN 5-900835-94-4.
21. ГОСТ 12.1.0.30–81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
22. Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность. – М.: РадиоСофт, 2014. – 448 с.
23. Аипов А.К. Охрана труда и безопасность жизнедеятельности. – Астана.: «КазУЭФМТ», 2013.
24. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках СО 153–34.03.603-2003 (Москва, 2003).
25. Объем и нормы испытаний электрооборудования СТО 34.01-23.1-001-2017.
26. Дюсебаев М.К. Еңбекті қорғау және тіршілік қауіпсіздігі. – А.: «АЭЖБУ», 2013.
27. Сибикин Ю.Д. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий. Справочник. – М.: «Кнорус», 2013.
28. Аманжолов Ж. Охрана труда в энергосистемах. – А.: «Фолиант», 2010.
29. Санатова Т.С., Мананбаева С.Е. Безопасность жизнедеятельности. «Расчет зануления». Методические указания к выполнению выпускной работы студентов. – Алматы: АУЭС, 2011. – 26 с.
30. Санатова Т.С., Мананбаева С.Е. Охрана труда. Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях до 1000 В. – Алматы: АУЭС, 2013. – 18 с.
31. Санатова Т.С., Мананбаева С.Е. Охрана труда. Исследование эффективности зануления. МУ к выполнению лабораторной работы. – Алматы: АУЭС, 2014. – 18 с.
32. Охрана труда в энергетике. Под ред. Б.А. Князевский. – М.,1985.
33. <http://elib.pnzgu.ru/library/>
- 34.. <http://spislit.ru/articles/122-spisok-literatury-po-predmetu-bezopasnost-zhiznedejatelnosti-i-ohrana-truda.html>
35. <http://booktech.ru/books/ohrana-truda>

Тоты Сабировна Санатова,
Асель Амангельдиевна Абикинова,
Фарида Рустембековна Жандаулетова

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДО И ВЫШЕ 1000 В**

Учебное пособие

Редактор

Жанабаева Е.Б.

Подписано в печать ____ . ____ .2022
Тираж 100 экз. Формат 60×84 1/16

Бумага типографская №2
Уч.-изд. л. 8,0. Заказ № _____
Цена 4000 тенге.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи имени
Гумарбека Даукеева»
г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1