

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Часть 3 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

*Утверждено Учёным советом университета
в качестве курса лекций для студентов
всех направлений бакалавриата и специалитета*



Тамбов
• Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ» •
2012

УДК 621.3(075.8)
ББК з29-5н65я73
Б40

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

В.П. Ярцев

Кандидат технических наук, доцент,
преподаватель-организатор ОБЖ ТОГБОУ
«Кадетская школа-интернат (многопрофильный кадетский корпус)»

В.В. Панкратов

А в т о р с к и й к о л л е к т и в:

В.М. Дмитриев, В.Ф. Егоров, В.Г. Однолько

Е.А. Сергеева, Л.А. Харкевич

Б40 Безопасность жизнедеятельности. Ч. 3. Основы электробезопасности : курс лекций / В.М. Дмитриев, В.Ф. Егоров, В.Г. Однолько и др. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с. – 100 экз. ISBN 978-5-8265-1128-2.

Изложены основные сведения по оценке опасности электропоражения, методы и средства обеспечения электробезопасности.

Рассмотрены основные виды электрического тока и их воздействие на человека. Выявлены основные факторы, определяющие исход поражения человека электрическим током.

Проведён анализ опасности основных электрических сетей, рассмотрены основные промышленные способы защиты человека от поражения электрическим током.

Предназначен для студентов всех направлений бакалавриата и специалитета.

УДК 621.3(075.8)

ББК з29-5н65я73

ISBN 978-5-8265-1128-2

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2012

ВВЕДЕНИЕ

Быстрое развитие энерговооружённости современных видов промышленности обусловило рост интенсивности взаимодействия практически всех работающих с электрическими приборами. При этом отличительной особенностью является то, что, в отличие от прочих опасностей, человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить её, оценить и принять правильные и эффективные меры по своей защите. Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту работающих от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрические устройства, применяемые на производстве, представляют большую потенциальную опасность. Кроме поражения людей электрическим током нарушение режима работы электроустановок может сопровождаться в отдельных случаях возникновением пожара или взрыва. Анализ статистических данных показывает, что электротравматизм в общем балансе травматизма на производстве невысок – всего 0,5...1%. Однако по числу случаев со смертельным исходом электротравматизм занимает одно из первых мест, достигая в отдельных отраслях 30...40%. При этом до 80% случаев со смертельным исходом приходится на электроустановки напряжением 127...380 В.

Наибольшее количество электротравм, приходящееся, как правило, на установки напряжением до 1000 В, связано с тем, что данные электроустановки находят широкое распространение и, как правило, обслуживаются персоналом, не имеющим специальной электрической подготовки. Таким образом, при эксплуатации электрического оборудования, аппаратуры и приборов большое значение приобретают вопросы защиты обслуживающего персонала и других лиц от опасности поражения электрическим током.

Наиболее эффективным путём предупреждения электротравматизма является воспитание осознанного отношения к вопросам электробезопасности на основе понимания работниками основных аспектов физических процессов при использовании электроэнергии.

Основы электробезопасности [1] предполагают осознанное изучение *совокупности организационных, технических, медицинских и административных мероприятий, вытекающих из современного представления о механизме действия электрического тока на человека, основанных на всестороннем моделировании электротравм, направленных на повышение надёжности электрооборудования в процессе проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации.*

Лекция 1. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

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

– постоянный ток:

Обозначение (–) или DC (Direct Current – постоянный ток);

– переменный ток:

Обозначение (~) или AC (Alternating Current – переменный ток).

При использовании источников постоянного тока электрический ток течёт в одном направлении. Постоянный ток получают от широко распространённых сухих батарей, солнечных батарей и аккумуляторов для приборов с небольшим потреблением электротока. Для мощных потребителей требуется постоянный ток большой силы, который создаётся с помощью выпрямления переменного тока или генераторов постоянного тока.

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

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

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

В современной практике распространено использование переменного тока частотой от 50 Гц до 300 ГГц.

Весь диапазон переменного тока по использованию разбит на ряд поддиапазонов:

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

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

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

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

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

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

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

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

Лекция 2. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЧЕЛОВЕКА

При протекании электрического тока через человека различают три вида отрицательного воздействия на организм человека: термическое, электролитическое и биологическое.

Термическое действие проявляется в нагреве и ожогах разной степени всех видов биологических тканей.

Электролитическое действие проявляется в разложении крови и других жидкостей, входящих в состав организма, с образованием анионов и катионов, присутствие которых вызывает значительные нарушения процессов нормального функционирования отдельных систем человека.

Биологическое действие проявляется в виде нарушения нормальной работы нервной системы и приводит к возбуждению живых тканей организма, к болезненным судорожным сокращениям мышц, в том числе лёгких и сердца.

При действии электрического тока на человека различают два вида поражения: местные электрические травмы и общие электрические травмы, так называемые электрические удары.

К местным электрическим травмам относятся электрические ожоги, металлизация кожи, электрические знаки, электроофтальмия и механические повреждения. Электрические ожоги являются достаточно распространённой травмой. Различают два вида ожогов: контактный и дуговой. Токовый ожог возникает при прохождении тока через человека при непосредственном контакте с токоведущими частями электрических приборов и является следствием локального преобразования электрической энергии в тепловую. Токовые ожоги возникают при напряжениях не выше 1...2 кВ и классифицируются как ожоги I и II степени (покраснение и отслоение кожных покровов, образование

пузырей). Дуговой ожог образуется при значительных напряжениях между токоведущими частями и телом человека при возникновении электрической дуги с температурой 3...5 тыс градусов, что вызывает локальное выгорание или испарение органических тканей. Дуговые ожоги относятся к тяжёлым и классифицируются как ожоги III или IV степени.

Электрическими знаками принято называть пятна серого или бледно-жёлтого цвета на поверхности кожи человека, возникающие в местах действия электрического тока. В большинстве случаев электрические знаки безболезненны и хорошо излечиваются.

Металлизация кожи возникает при внедрении в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося в электрической дуге. Такие явления характерны при коротких замыканиях, аварийных отключениях открытых частей электрооборудования и других случаях.

Электроофтальмия – поражение глаз под действием ультрафиолетового излучения электрической дуги.

Основная причина механических повреждений – неуправляемые судорожные сокращения мышц под воздействием электрического тока, что приводит к разрыву кожных покровов, повреждению кровеносных сосудов и нервов, а также может привести к вывихам суставов, разрывам связок и даже перелому костей. К электротравмам также относятся ушибы и переломы, полученные при падении человека с высоты, вызванном воздействием тока.

Электрический удар проявляется как возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, характеризующееся непрерывными судорожными сокращениями мышц. Электрические удары по тяжести последствий подразделяются на четыре степени:

- первая – судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- вторая – судорожное сокращение мышц, потеря сознания, дыхание и деятельность сердца сохраняются;
- третья – потеря сознания, нарушение сердечной деятельности или дыхания или того и другого вместе;
- четвёртая – клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.

При поражении человека электрическим током различают понятия клинической (мнимой) и биологической (истинной) смерти. Длительность клинической смерти определяется временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели отдельных областей головного мозга, особо чувствительных к кислород-

ному голоданию. Обычно состояние клинической смерти не превышает 5 – 7 мин (продолжительность определяется состоянием здоровья, предыдущей физической нагрузкой, температурой окружающей среды). При более длительном нахождении человека без признаков жизни в клетках и тканях организма возникают необратимые изменения, таким образом, наступает биологическая (истинная) смерть.

Лекция 3. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИСХОД ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Поражающее действие тока на организм человека зависит от многих факторов [1], из которых можно выделить наиболее существенные:

- величина тока через человека в момент поражения;
- длительность воздействия электрического тока;
- сопротивление человека в момент поражения;
- род и частота тока;
- путь протекания тока в теле человека;
- индивидуальные свойства человека;
- факторы окружающей среды.

Величина тока, проходящего через человека, является основным фактором, определяющим тяжесть электротравматизма [1, 2]. По степени воздействия электрического тока на организм человека различают три пороговых значения: осязаемое, неотпускающее и фибрилляционное.

Пороговый осязаемый ток вызывает при прохождении его через организм осязаемые раздражения в форме лёгких покалываний, когда его величина достигает 0,5...1,5 мА (указанные пределы относятся к переменному току промышленной частоты 50 Гц). Постоянный ток вызывает такие же воздействия при больших значениях тока (6...7 мА). Осязаемый ток вызывает у человека малоболлезненные раздражения, и самым главным является возможность человека самостоятельно освободиться от токоведущей части оборудования, находящейся под напряжением.

Неотпускающий ток при прохождении через человека приводит к возникновению неуправляемых судорожных сокращений мышц. Величина порогового неотпускающего тока составляет для переменного от 10 до 15 мА и для постоянного тока от 50 до 60 мА. Следует особо подчеркнуть, что при таких величинах тока человек уже не может целенаправленно управлять собственной мышечной системой и самостоятельно отключиться от электрической цепи.

Фибрилляционный ток вызывает при прохождении его через организм фибрилляцию сердца. Пороговое значение фибрилляционного тока составляет 100 мА для переменного и 300 мА для постоянного тока при длительности действия в интервале от 1 до 2 с по характерным схемам включения человека в электрическую цепь «рука – рука» или «рука – ноги».

Фибрилляция сердца проявляется в виде хаотических сокращений волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых нарушается нормальный режим кровообращения.

Характер воздействия электрического тока на нормальную работу сердца существенно зависит от того, с какой фазой сердечного цикла (рис. 3.1) совпадает время прохождения тока через область сердца [1, 2].

Сокращение длительности воздействия электрического тока уменьшает опасность поражения человека вследствие некоторых особенностей работы сердца.

В каждом кардиоцикле различают период систолы (systole – сокращение), когда мышцы сердца сокращаются (фаза QRST) и кровь выталкивается в артериальные сосуды. Фаза Т соответствует окончанию сокращения желудочков, и они переходят в расслабленное состояние. В период диастолы (diastole – расширение) желудочки сердца наполняются кровью. Фаза Р управляет сокращением предсердий. Установлено, что сердце наиболее чувствительно к воздействию электрического тока во время фазы Т кардиоцикла и что фибрилляция сердца чаще всего возникает при совпадении момента воздействия электрического тока с нарастающей частью фазы Т, продолжительность которой 0,15...0,2 с.

Если длительность прохождения электрического тока больше времени кардиоцикла (0,75...1,0 с), то внешний ток искажает управляющие импульсы всех фаз работы сердца, что крайне опасно для ор-

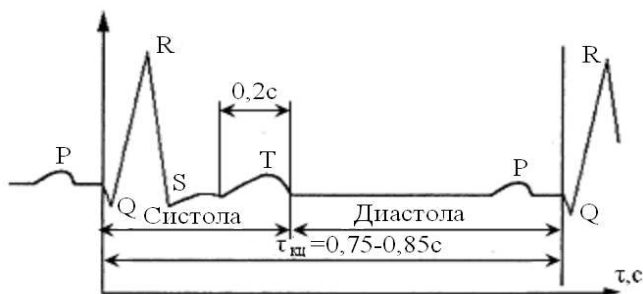


Рис. 3.1. Кардиоцикл работы сердца

ганизма человека. Если же время воздействия тока меньше продолжительности кардиоцикла ($<0,5$ с), то вероятность совпадения момента прохождения тока с наиболее уязвимой фазой работы сердца значительно уменьшается. С сокращением длительности воздействия электрического тока вероятность такого совпадения становится меньше, а следовательно, уменьшается опасность фибрилляции сердца. Указанное обстоятельство используется в быстродействующих устройствах защитного отключения, в которых время срабатывания составляет менее $0,15 \dots 0,2$ с.

Рассмотренные реакции организма на действие электрического тока позволили установить три критерия электробезопасности и соответствующие им уровни безопасных токов:

1. *Неощутимый ток*, который не вызывает нарушений деятельности организма и допускается для длительного (не более 10 мин в сутки) протекания через тело человека при обслуживании электрооборудования. Для переменного тока частотой 50 Гц он составляет 0,3 мА, для постоянного – 1 мА.

2. *Отпускающий ток*, действие которого на человека допустимо, если длительность его протекания не превышает 30 с. Сила отпускающего тока: для переменного тока 6 мА, для постоянного 15 мА.

3. *Фибрилляционный ток*, не превосходящий пороговый фибрилляционный ток 100 мА для переменного тока и действующий кратковременно.

Длительность воздействия электрического тока на человека существенным образом определяет величины допустимых значений напряжений прикосновения и токов (табл. 3.1). Предельно допустимые величины напряжений прикосновения и токов, протекающих через

3.1. Предельно допустимые значения U_h и I_h при аварийном режиме работы бытовых электроустановок

Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина	
	U_h , В	I_h , мА		U_h , В	I_h , мА
0,01...0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	220	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	свыше 1,0	12	2

3.2. Допустимые напряжение прикосновения U_h и ток I_h , протекающий через тело человека в нормальном режиме работы электроустановки

Род и частота тока	U_h , В, не более	I_h , мА, не более
Переменный 50 Гц	2,0	0,3
Переменный 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

тело человека, нормируются в зависимости от режима работы электроустановки – нормального (табл. 3.2) или аварийного, вида установок – бытовых или производственных, длительности воздействия тока.

В аварийном режиме бытовых электроустановок при длительности воздействия более 1 с допустимые величины напряжения 12 В и тока 2 мА. В аварийных режимах производственных электроустановок допустимые величины напряжения прикосновения и тока, проходящего через человека, несколько больше: переменный ток 50 Гц – 36 В, 6 мА; 400 Гц – 36 В, 8 мА; постоянный ток – 40 В, 15 мА при длительности воздействия более 1 с.

Сопротивление тела человека в отличие от обычных проводников обусловлено не только его физическими свойствами, но и взаимосвязанными биохимическими и биофизическими процессами, характерными только для живой материи. Поэтому сопротивление тела человека является нелинейной переменной величиной, зависящей от комплекса факторов: состояния кожи, параметров полной электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, жировая ткань, сухожилия и кости имеют значительное сопротивление ($10^3 \dots 10^4$ Ом·м), а мышцы, кровь, лимфа, спинной и головной мозг – малое сопротивление (1...2 Ом·м) при промышленных частотах тока 50...60 Гц. Так как кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, то её конкретное сопротивление в момент поражения человека электрическим током является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом.

Кожа состоит из двух основных слоёв: наружного, называемого *эпидермисом*, и внутреннего, являющегося собственно кожей и носящего название *дермы*. Сопротивление тела человека можно условно считать состоящим из трёх последовательно включённых сопротивле-

ний: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи, которые в совокупности составляют так называемое наружное сопротивление тела человека, и одного, называемого внутренним сопротивлением тела. Следует учитывать, что сопротивление кожи существенным образом зависит от её состояния в момент поражения (сухая, увлажнённая, переувлажнённая, загрязнённая токопроводящими материалами, смоченная растворами солей и повреждённая). Исключая ёмкостную составляющую сопротивления тела человека, в качестве расчётной величины при воздействии переменного тока промышленных частот принимают при расчётах систем защиты человека от поражения электрическим током значение активного сопротивления тела человека, равное 1000 Ом.

Род и частота электрического тока также оказывают существенное влияние на исход поражения человека электрическим током. При напряжении до 300 В постоянный ток является более безопасным (в 3–4 раза) по сравнению с переменным (50...60 Гц) током. При больших напряжениях опасность постоянного тока возрастает существенно и он становится даже более опасным, чем переменный ток.

Для оценки опасности переменного тока следует учитывать его частоту, так как с увеличением частоты уменьшается величина полного сопротивления человека. Наибольшую опасность для человека представляет переменный ток промышленных частот (50...100 Гц). Начиная с частот 1...2 кГц, опасность переменного тока по сравнению с постоянным начинает уменьшаться и при частотах свыше 45 кГц практически выравнивается. Но при этом значительно возрастает опасность ожогов поверхностных покровов человека.

Путь прохождения электрического тока через тело человека зависит от схемы включения человека в электрическую цепь и определяет тяжесть электротравматизма. Путь прохождения тока (так называемая *петля тока*) через жизненно важные органы (головной мозг, сердце и лёгкие) является самым опасным для человека. Наиболее опасные характерные для производственной практики человека петли тока приведены в табл. 3.3 [2].

Наиболее опасные петли «голова – ноги» и «голова – руки» образуются достаточно редко, но они являются основой при проектировании и эксплуатации защитных устройств в электросистемах. Система стандартов по безопасности труда регламентирует предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов в зависимости от времени протекания тока как для бытовых, так и для промышленных условий эксплуатации электрического оборудования [3].

3.3. Характерные пути тока в теле человека

Наименование петли	Путь прохождения тока	Частота возникновения пути тока, %
Верхняя	Рука – рука	40,0
Правая полная	Правая рука – ноги	20,0
Левая полная	Левая рука – ноги	17,0
Нижняя	Нога – нога	6,0
Прямая вертикальная	Голова – ноги	5,0
Прямая горизонтальная	Голова – руки	4,0

Индивидуальные свойства человека обуславливают индивидуальное сопротивление человека, которое изменяется при физической нагрузке, заболевании человека. Например, пол и возраст существенно сказываются на пороговом ощутимом токе, для женщин он уменьшается в среднем на 30%. Физически крепкие люди легче переносят воздействие электрического тока по сравнению с ослабленными различными заболеваниями. Лица, страдающие болезнями сердца, нервными заболеваниями, а также находящиеся в состоянии усталости или алкогольного опьянения, подвергаются большей опасности поражения электрическим током.

Состояние окружающей среды также сказывается на механизме поражения. Наличие в воздухе рабочих помещений химически активных и токсичных газов, попадающих в организм человека, снижает его полное электрическое сопротивление. Во влажных и сырых помещениях нарушается нормальный влагообмен человека, что приводит к увлажнению кожи, сопровождающемуся значительным уменьшением сопротивления кожного покрова. При работе в помещениях с высокой температурой окружающей среды или со значительной физической нагрузкой характерным является усиленное потовыделение, при этом электропроводимость кожного покрова увеличивается.

Лекция 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Мероприятия по обеспечению электробезопасности работающих назначаются в зависимости от типа помещения, в котором расположено электрическое оборудование, и от характера помещения. По своему назначению различают специализированные помещения с электроустановками и помещения другого назначения (производственные, бы-

товые, служебные, торговые и т.п.). Помещения с электроустановками доступны только для обслуживающего персонала, имеющего необходимую квалификацию и допуск для обслуживания электроустановок. Помещения с электроустановками характеризуются, как правило, повышенной температурой, влажностью и значительным количеством металлического оборудования, имеющего контакт с землёй. Всё это создаёт повышенную опасность поражения электрическим током. В Правилах устройства электроустановок приведена следующая классификация помещений: *сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие и пыльные*. К сухим помещениям относятся помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60%. Влажными помещениями называют помещения, в которых пары и конденсирующая влага выделяются лишь кратковременно в незначительных количествах, относительная влажность воздуха в пределах 60...75%. К сырým помещениям относятся помещения, в которых относительная влажность воздуха превышает 75%. Особо сырými помещениями называют помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100%. Жаркими помещениями называют помещения, в которых под воздействием тепловых излучений температура превышает постоянно или периодически (более суток) 35 °С. Пыльными помещениями называют помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может осесть на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п. Пыльные помещения разделяют на помещения с токопроводящей пылью и помещения с нетокопроводящей пылью. Дополнительно различают помещения с химически активной или органической средой, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования. Согласно этим признакам помещения подразделяют на три группы по степени опасности поражения электрическим током [4]:

1. *Помещения с повышенной опасностью*, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- влажности воздуха (относительная влажность превышает 75%) или токопроводящей пыли;
- токопроводящих полов (металлических, земляных, бетонных, керамических, кирпичных и т.п.);
- высокой температуры (больше 35 °С);
- возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям (водопровод, канализация, центральное отопление), с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой.

2. *Особо опасные помещения*, которые характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- повышенной сырости (подвальные помещения);
- химически активной среды;
- одновременно двух или более условий помещений повышенной опасности.

3. *Помещения без повышенной опасности*, в которых отсутствуют условия двух предыдущих категорий помещений.

Правильно определённый класс помещения по опасности поражения током позволяет обоснованно произвести выбор исполнения электрооборудования и конструкций электроустановок, которые должны не только успешно противостоять воздействию окружающей среды, но и обеспечивать высокую степень безопасности работающих.

Лекция 5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И ИХ ОПАСНОСТЬ

Для питания промышленных и бытовых объектов используют электрические сети различных типов. Наиболее характерными из них являются: *трёхфазная с изолированной нейтралью* и *трёхфазная (четырёхпроводная) с заземлённой нейтралью*. Выбор схемы сети и режима нейтрали источника тока осуществляют в зависимости от технологических требований и условий безопасности обслуживающего персонала.

Исход поражения человека электрическим током, определяемый током, протекающим через тело человека, и напряжением прикосновения, существенно зависит от типа сети, питающей потребителя электроэнергии, и её параметров, в том числе: напряжения и частоты сети; режима нейтрали сети; схемы включения человека в электрическую цепь; сопротивления изоляции фазных проводов сети относительно земли; ёмкости фазных проводов сети относительно земли; режима работы сети.

В качестве типичного источника питания используются трёхфазные трансформаторы, позволяющие получать требуемое для потребителя напряжение. Трёхфазная электрическая сеть с изолированной нейтралью, в которой источником питания является трёхфазный трансформатор, имеющий три первичных обмотки (I) и три вторичных обмотки (II), представлена на рис. 5.1. На первичные обмотки подаётся высокое напряжение (6...10 кВ), поступающее на объект или группу объектов, со вторичных обмоток более низкое напряжение (как правило, 380 В) подаётся на электроустановки. Нейтральная точка (N) соединения вторичных обмоток от земли изолирована. К потребителю посту-

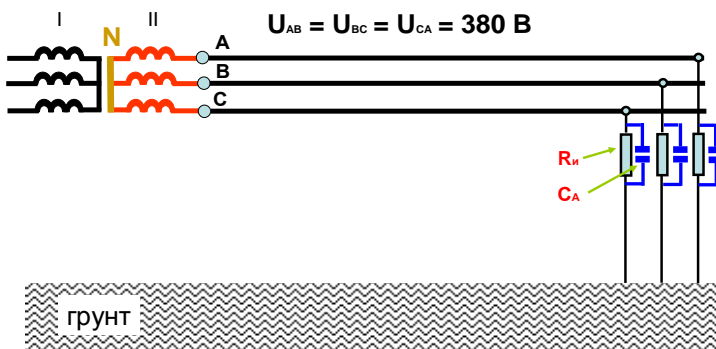


Рис. 5.1. Схема трёхфазной сети с изолированной нейтралью

пает три фазы (A, B и C), напряжения между которыми равны и называются *линейными напряжениями*. Следует отметить, что реальные сети обладают двумя недостатками, которые существенно сказываются на безопасности работающих при различных схемах поражения человека.

Первым недостатком вследствие большой протяжённости линейных проводов и постоянного пребывания изоляционных материалов во влажной атмосфере является конечное значение сопротивления изоляции ($R_{и}$) линейных проводов относительно земли. Второй недостаток – образование значительной электрической ёмкости (C) линейных проводов с землёй. Вследствие этого образуются возможные пути тока при различных схемах поражения человека.

Наиболее частым случаем включения человека в электрическую сеть является однополюсное (однофазное) прикосновение (рис. 5.2) к токоведущим частям электрооборудования. При этом последовательно с человеком включаются параллельные $R_{и}$, C элементы двух других фаз. Через человека протекают два равных по величине тока на две другие фазы (A и B на рис. 5.2). Исход поражения человека в этом случае определяется в совокупности качеством изоляции и ёмкостной проводимостью. В связи с этим электрические сети с изолированной нейтралью целесообразно применять при возможности выполнения высокого качества изоляции проводов относительно земли и при незначительной ёмкости фазных проводов относительно земли. Таким требованиям отвечают малоразветвлённые сети в условиях сухих и неагрессивных сред при постоянном контроле качества изоляции.

Расследование случаев электротравматизма показывает, что при прочих равных условиях однофазное включение человека в сеть с изолированной нейтралью менее опасно, чем в сеть с заземлённой нейтралью.

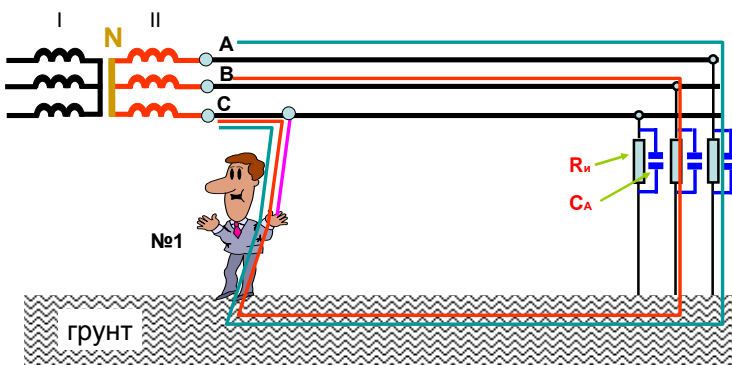


Рис. 5.2. Однофазное прикосновение человека (№ 1) к электрической сети с изолированной нейтралью (режим работы сети – нормальный)

Значительно большую опасность представляет двухфазное включение (рис. 5.3) человека в электрическую сеть, так как при этом к нему вне зависимости от режима нейтрали оказывается приложенным линейное напряжение. В этом случае при протекании тока по пути «рука – рука» его величина определяется только сопротивлением человека в момент поражения и не зависит от качества изоляции проводов и величины ёмкостной проводимости.

Из пяти протекающих через человека (№ 2) токов ток по пути «рука – рука» является максимальным и полностью определяющим исход электротравматизма.

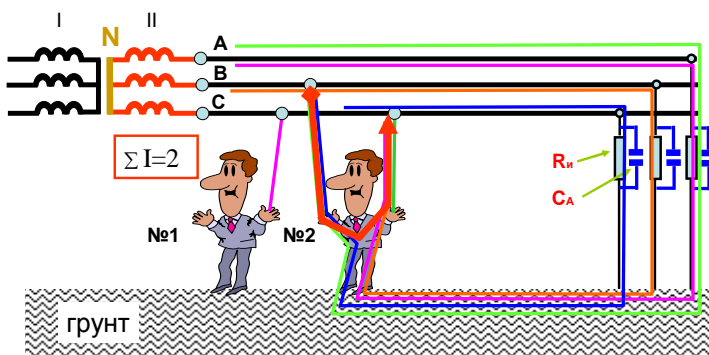


Рис. 5.3. Двухфазное прикосновение человека (№ 2) к электрической сети с изолированной нейтралью (режим работы сети – нормальный)

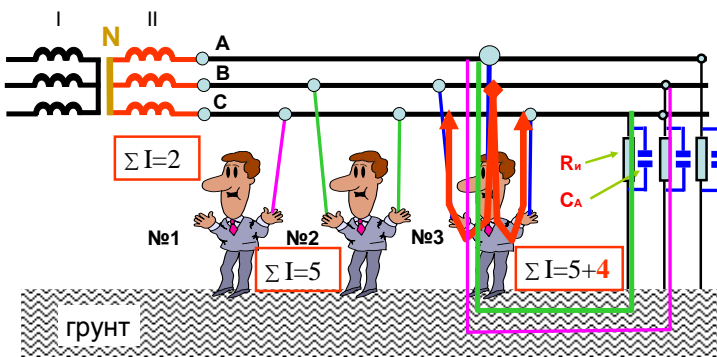


Рис. 5.4. Трёхфазное прикосновение человека (№ 3) к электрической сети с изолированной нейтралью (режим работы сети – нормальный) (на рисунке показаны токи, дополнительные к пяти возникающим при двухфазном включении)

Наиболее редким, но в то же время наиболее тяжёлым по исходу является случай трёхфазного включения человека в электрическую сеть (рис. 5.4)

Как видно из рис. 5.4, при таком включении человека через него протекают девять токов, наибольшую опасность из которых представляют три тока по путям «рука – рука» и «голова – рука».

Следует особо отметить, что в сетях с изолированной нейтралью особенно опасен аварийный режим, когда на землю замыкает одна из фаз, а человек прикасается к проводу исправной фазы. В этом случае к человеку оказывается приложенным почти полное линейное напряжение с вытекающими последствиями.

Наибольшее распространение в промышленности нашли трёхфазные электрические сети с заземлённой нейтралью (рис. 5.5), позволяющие получать два различных напряжения от одного источника питания – линейное (380 В) и фазное (220 В). Линейное напряжение обычно используется для питания силового электрооборудования, а фазное применяют для осветительных установок, средств автоматизации, компьютеров и т.п.

В таких сетях нейтральная точка (N) надёжно заземляется в месте установки трансформатора и к потребителю поступает четвёртый провод, называемый *нулевым* (0). Название указывает, что потенциал этого провода относительно земли равен нулю.

Напряжения между фазами А, В и С называются *линейными* напряжениями, а между каждой из фаз и нулевым проводом – *фазными*.

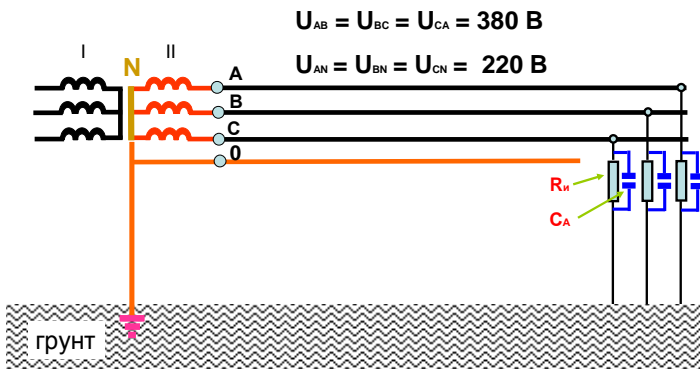


Рис. 5.5. Схема трёхфазной сети с заземлённой нейтралью

В сетях с заземлённой нейтралью сопротивление заземления нейтральной точки достаточно мало (2...6 Ом) по сравнению с сопротивлением изоляции линейных проводов относительно земли (500 и более кОм).

Исходя из этого, даже однофазное прикосновение человека к фазе исправной сети с заземлённой нейтралью (рис. 5.6.) приводит к возникновению пути тока на нейтраль. Величина тока на нулевую точку является наибольшей (из трёх токов, протекающих через человека № 1) и определяется фазным напряжением, сопротивлением человека, его обуви, сопротивлением пола и сопротивлением заземления нейтральной точки.

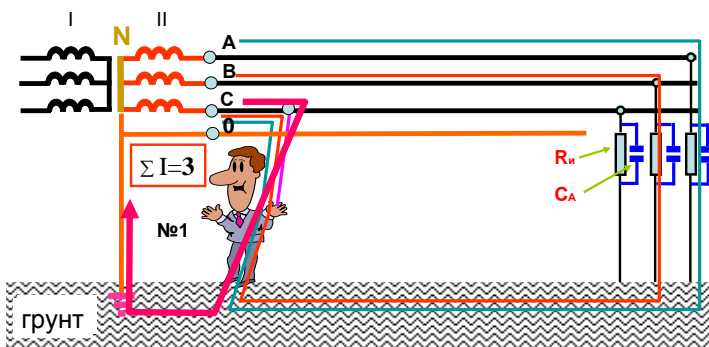


Рис. 5.6. Однофазное прикосновение человека (№ 1) к электрической сети с заземлённой нейтралью (режим работы сети – нормальный)

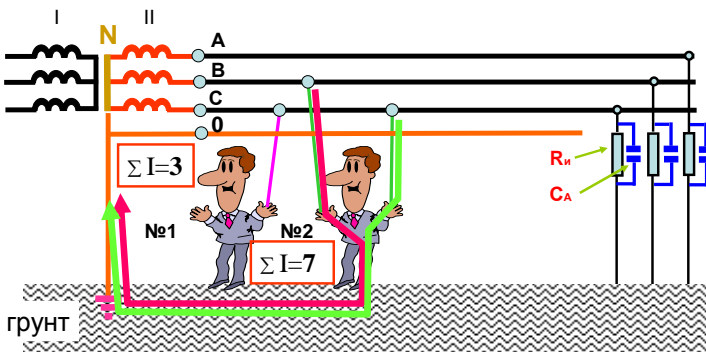


Рис. 5.7. Двухфазное прикосновение человека (№ 2) к электрической сети с заземлённой нейтралью (режим работы сети – нормальный)

При двухфазном прикосновении человека (№ 2, рис. 5.7) к исправной сети с заземлённой нейтралью через него протекают семь токов, два из которых, как показано на рис. 5.7, направлены на нулевую точку.

К человеку при таком включении приложено линейное напряжение (путь тока «рука – рука») и два фазных напряжения (путь тока «рука – нога»).

При трёхфазном прикосновении человека (№ 3, рис. 5.8) к электрической сети с заземлённой нейтралью через него протекают двенадцать токов, из которых наибольшую опасность представляют шесть токов, величины которых определяются только сопротивлением человека, его обуви и сопротивлением пола помещения.

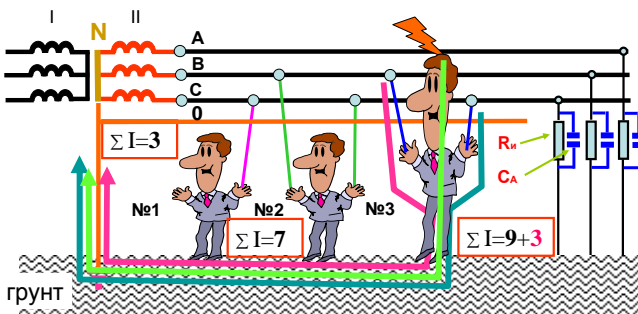


Рис. 5.8. Трёхфазное прикосновение человека (№ 3) к электрической сети с заземлённой нейтралью (режим работы сети – нормальный)

Трёхфазные сети с заземлённой нейтралью применяют при недостаточно высоком уровне изоляции проводов относительно земли при работе во влажных или агрессивных средах и наличии больших ёмкостных токов.

Лекция 6. ОПАСНОСТЬ ЗАМЫКАНИЯ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ЗЕМЛЮ

В процессе эксплуатации электроустановок, контактирующих с грунтом, при аварийных ситуациях происходит замыкание их частей, находящихся под напряжением, на корпуса этих приборов, а следовательно, на землю. Земля при этом становится участком электрической цепи тока замыкания. В трёхфазных сетях с изолированной нейтралью эти токи направлены на две другие исправные фазы через сопротивления изоляции и ёмкости проводников относительно земли (рис. 6.1). В трёхфазных сетях с заземлённой нейтралью токи замыкания на землю направлены на две другие исправные фазы через сопротивления изоляции и ёмкости проводников относительно земли и нулевую точку. При этом возникают отрицательные явления: появление потенциалов на корпусах электрооборудования и находящихся в контакте с ними металлических частях, а также на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю.

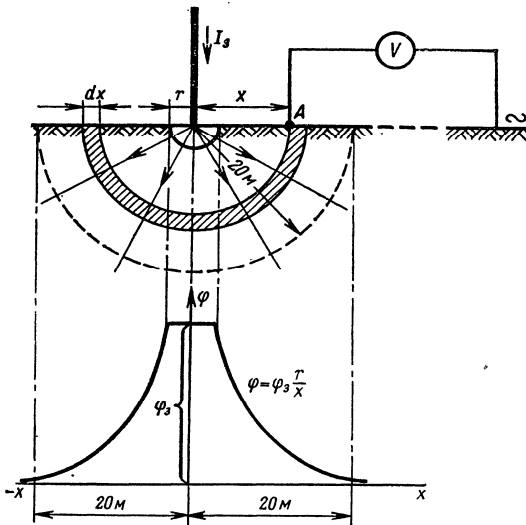


Рис. 6.1. Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полусферового заземлителя

Характер распределения потенциалов на поверхности земли можно оценить при рассмотрении случая тока замыкания I_3 (А) на землю через наиболее простой заземлитель – полушар радиусом r (м). Упростим задачу, принимая, что земля во всём своём объёме однородна, т.е. в любой точке обладает одинаковым удельным сопротивлением ρ (Ом·м).

В объёме земли, где проходит ток, возникает так называемое «поле растекания тока». Теоретически оно простирается до бесконечности. Однако в реальных условиях уже на расстоянии 20 м от заземлителя сечение слоя земли, по которому проходит ток, оказывается столь большим, что плотность тока здесь практически равна нулю. Следовательно, поле растекания можно считать распространяющимся лишь на расстояние 20 м от заземлителя.

При постоянном токе и при переменном с частотой 50 Гц поле растекания тока в проводящей однородной среде можно рассматривать как стационарное электрическое поле, напряжённость которого E (В/м) связана с плотностью тока δ соотношением $\delta = E/\rho$, являющимся законом Ома в дифференциальной форме. На основании этого можно определить потенциал любой точки на поверхности земли, отстоящей от центра заземлителя на расстоянии x : $\varphi = \varphi_0 r/x$.

Человек, находящийся в зоне растекания тока или контактирующий непосредственно с корпусами аварийных установок, подвергается двум видам опасности: *шаговому напряжению* и *напряжению прикосновения*.

Шаговое напряжение – напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек. При этом длина шага a принимается равной 0,8 м.

$$U_{\text{ш}} = \varphi_x - \varphi_{x+a}$$

Напряжение шага представляет собой падение напряжения, приложенного к человеку с сопротивлением тела R_h (Ом):

$$U_{\text{ш}} = R_h I_h, \text{ где ток проходит через человека по пути нога–нога.}$$

$U_{\text{ш}} = \varphi_0 \beta$, где β – коэффициент напряжения шага, учитывающий форму потенциальной кривой.

Напряжение шага при замыкании на землю определяется отрезком AB (рис. 6.2), величина которого зависит от расстояния до точки замыкания и формы кривой распределения потенциала в данном месте. Максимальное значение шагового напряжения будет при наименьшем расстоянии от точки замыкания, т.е. когда человек одной ногой стоит

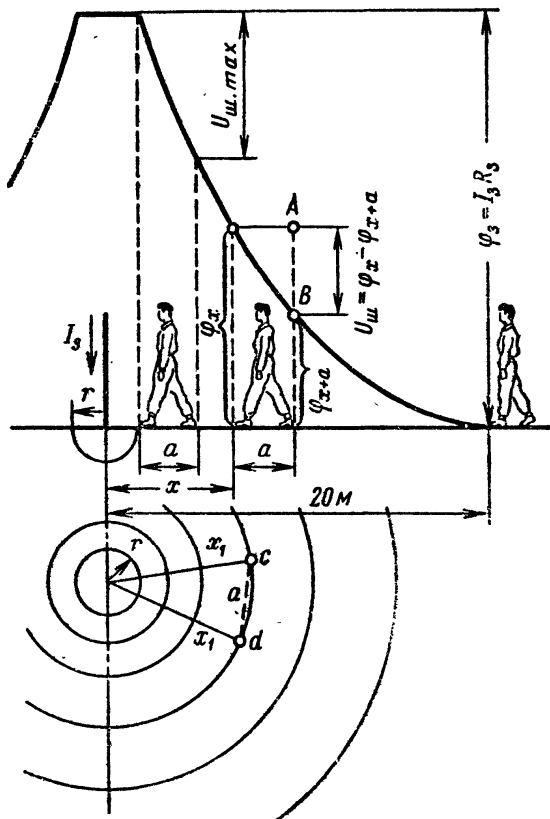


Рис. 6.2. Напряжение шага при замыкании на землю

непосредственно на точке замыкания, а другой – на расстоянии шага от него. Наименьшее значение шагового напряжения будет при большом удалении от заземлителя (>20 м).

Напряжение прикосновения возникает между двумя потенциальными точками цепи, которых одновременно касается человек.

На рисунке 6.3 показана группа электрических приборов, контактирующих между собой. При замыкании фазного провода на корпус одного из этих приборов в точке контакта с землёй появится потенциал φ_3 . Вокруг точки замыкания возникает характерное поле растекания тока.

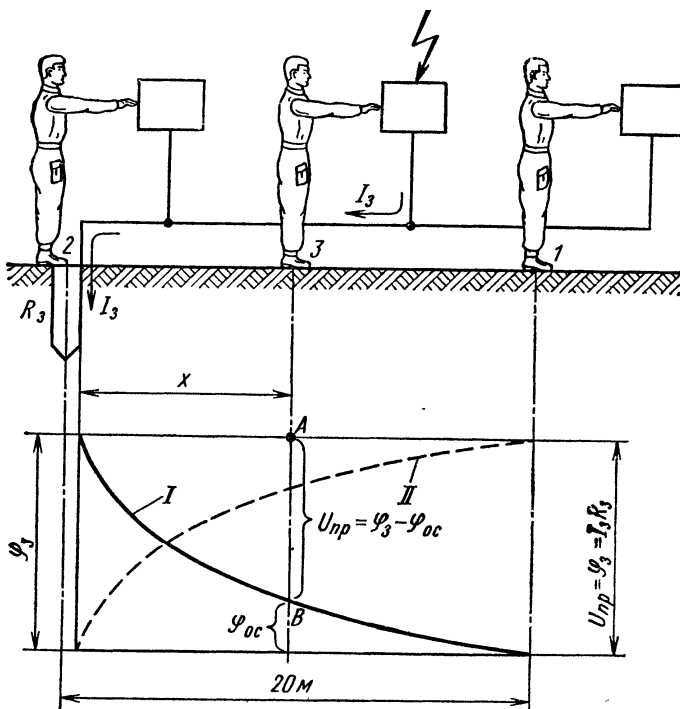


Рис. 6.3. Напряжение прикосновения при замыкании на корпус электроустановки, контактирующей с землёй:

I – потенциальная кривая растекания тока в земле;

II – кривая, характеризующая изменение напряжения прикосновения $U_{пр}$ при изменении расстояния от заземлителя x

Напряжение прикосновения характеризуется отрезком AB и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния x между человеком, прикасающимся к оборудованию, и точкой замыкания: чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше $U_{пр}$, и наоборот. Таким образом, при расстоянии $x = \infty$ напряжение прикосновения имеет наибольшее значение. Это наиболее опасный случай прикосновения. При $x = \min$ человек не подвергается воздействию напряжения, хотя и находится под потенциалом φ_3 .

Для устранения или уменьшения до безопасных значений величин шагового напряжения и напряжения прикосновения применяются различные способы защиты человека.

Лекция 7. ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

В соответствии с государственными стандартами по электробезопасности и Правилами устройства электроустановок [4] номенклатура видов защиты от поражения электрическим током включает в себя следующие способы и средства защиты.

При прямых прикосновениях рекомендуется: применение защитных оболочек и ограждений; расположение токоведущих неизолированных частей вне зоны досягаемости; применение изоляции (рабочей, дополнительной, усиленной) токоведущих частей; использование низкого напряжения, защитного отключения и блокировки опасных зон; применение предупредительной сигнализации и знаков безопасности; использование во время работ на сетях или электрооборудовании под напряжением средств индивидуальной защиты; контроль изоляции.

При косвенных прикосновениях необходимо использовать: зануление с использованием защитных проводников; заземление в комплексе с заземляющими контурами; системы выравнивания потенциалов; приборы защитного отключения; двойную изоляцию; контроль изоляции; электрическое разделение сети.

Технические способы и средства защиты применяются отдельно или в комплексе для получения оптимальной защиты.

Для предотвращения случайного прикосновения человека к неизолированным токоведущим частям или приближения к ним на опасное расстояние они должны располагаться в недоступном месте или на недосягаемой высоте. В противном случае токоведущие части закрываются ограждениями или заключаются в оболочки.

7.1. ИЗОЛЯЦИЯ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Различают изоляцию рабочего места и изоляцию в электроустановках. На рабочем месте изолируются от земли пол, настил, площадки и т.п., а также все металлические детали, потенциал которых отличается от потенциала токоведущих частей, прикосновение к которым возможно.

В электроустановках применяются следующие виды изоляции:

– *рабочая изоляция* – электрическая изоляция токоведущих частей (проводов, шин и т.п.), обеспечивающая предотвращение коротких замыканий в электроустановке и защиту человека от поражения электрическим током;

– *дополнительная изоляция* – электрическая изоляция нетоковедущих в нормальном состоянии частей электроустановки, предусмотренная дополнительно к рабочей изоляции токоведущих частей для защиты человека в случае повреждения (пробоя) рабочей изоляции;

– *усиленная изоляция* – улучшенная рабочая изоляция с такой же степенью защиты от поражения электрическим током, как и у двойной изоляции.

Для защиты от прикосновения к частям, нормально или случайно находящимся под напряжением, применяется *двойная изоляция* – электрическая изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции. Наиболее просто двойная изоляция осуществляется путём нанесения на металлические корпуса слоя электроизоляционного полимерного покрытия и применения изолирующих ручек. Более совершенный способ – изготовление корпуса из изолирующего материала. Такой корпус несёт на себе все токоведущие части, металлические нетоковедущие части и механическую часть.

Наличие защитной двойной изоляции, разумеется, не исключает возможности поражения током при прикосновении к токоведущим частям в случаях разрушения основной фазной изоляции. Защитная двойная изоляция может обеспечить безопасность при эксплуатации любого электрооборудования. Однако из-за наличия некоторых недостатков у пластмасс, таких как недостаточная механическая прочность, возможность значительных остаточных деформаций, ненадёжность соединений с металлом, изменение в сторону ухудшения механических свойств по мере старения, область применения двойной изоляции ограничивается электрооборудованием небольшой мощности: электрифицированный ручной инструмент, переносные устройства, бытовые приборы.

7.2. ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Малое напряжение – напряжение не более 42 В переменного и не более 100 В постоянного тока, применяется для уменьшения опасности поражения работающих электрическим током. Малое напряжение используется для питания ручного электрифицированного инструмента, переносных светильников для помещений с повышенной и особой опасностью, местного освещения на станках, светильников общего освещения при высоте их подвеса менее 2,5 м. Источниками малого напряжения являются гальванические элементы, аккумуляторы, понижающие трансформаторы, выпрямители и преобразователи.

Корпуса электроприёмников малого напряжения не требуется занулять или заземлять, кроме электросварочных аппаратов и установок, работающих во взрывоопасных помещениях, а также при работах в особо опасных условиях.

В качестве источников пониженного напряжения 42, 36 и 12 В используют специальные понижающие трансформаторы с разнесёнными обмотками. Чтобы исключить опасность поражения человека током в случае появления напряжения на корпусе трансформатора, корпус трансформатора заземляется и дополнительно заземляется один из проводов низковольтной обмотки.

Применение автотрансформаторов для этой цели категорически запрещено по причине гальванической связи с цепью высокого напряжения.

Следует представлять, что даже при напряжении 42 В при расчётном сопротивлении человека 1000 Ом ток, протекающий через человека, может достигать 42 мА. Поэтому для повышения безопасности при работе в помещениях с повышенной опасностью или в особо опасных помещениях дополнительно применяются другие защитные меры, в частности изоляция рабочего места, двойная изоляция и др.

7.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СЕТЕЙ

Протяжённые электрические сети, имеющие значительную ёмкость проводов относительно земли и невысокое качество изоляции, представляют значительную опасность для работающих. С целью исключения влияния этих составляющих на уровень безопасности работающих используют специализированные разделительные трансформаторы (коэффициент трансформации $k = 1$).

Такое включение разделительного трансформатора (рис. 7.1) отделяет основную сеть (I) с изолированной или заземлённой нейтралью и соответствующими недостатками от участка (II) сети, непосредственно питающей электроустановки. При этом связь между питающей сетью и сетью электроприёмника осуществляется через магнитные поля, участок сети приёмника и сам приёмник не соединяются с землёй. Вторичная сеть (II) имеет весьма короткие проводники, что позволяет относительно просто поддерживать высокое качество изоляции проводников относительно земли. Ёмкость фазных проводов при этом пренебрежимо мала. Указанное техническое решение существенно снижает опасность наиболее часто встречающегося однофазного прикосновения человека.

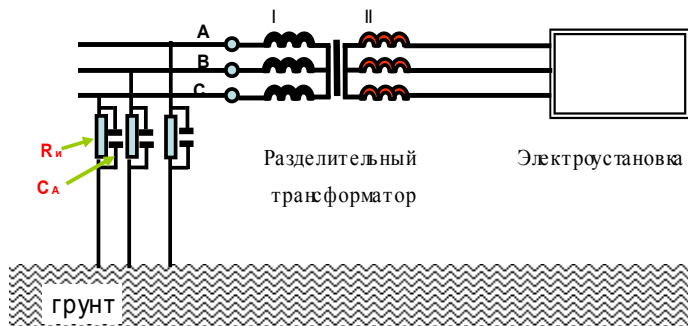


Рис. 7.1. Использование разделительного трансформатора в протяжённых сетях для повышения уровня электробезопасности

При весьма протяжённых сетях разделительные трансформаторы могут устанавливаться в количестве 3 – 5 штук, разделяя тем самым сети на ряд отдельных участков.

7.4. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

В электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью для защиты работающих эффективно применяют защитное заземление в сочетании с контролем изоляции. Заземление предназначается для устранения опасности поражения человека электрическим током во время прикосновения к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением. Это достигается путём снижения до безопасных пределов напряжения прикосновения и шагового напряжения за счёт малого сопротивления заземлителя.

Защитное заземление – это надёжное преднамеренное электрическое соединение нетоковедущих частей электроустановок с заземляющим контуром или его эквивалентом с целью значительного снижения шагового напряжения и напряжения прикосновения за счёт поднятия потенциала земли до потенциала замыкания с образованием плоской потенциальной площадки. Заземление осуществляют с помощью заземляющего устройства.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя (группы заземляющих электродов, соединённых между собой и находящихся в грунте) и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем. Электрический ток, проходящий через заземлитель в землю, преодолевает сопротив-

ление, называемое сопротивлением растекания. Оно состоит из трёх слагаемых: сопротивления самого заземлителя, переходного сопротивления между заземлителем и грунтом и сопротивления грунта. Две первые части малы по сравнению с третьей, ими пренебрегают, под сопротивлением заземлителя растеканию тока понимают сопротивление грунта растеканию тока. Полным сопротивлением заземления считают соответственно сопротивление между заземляющей шиной и «землёй». Под «землёй» в данном случае понимается поверхность грунта вблизи заземлителя, потенциал которой равен нулю. Обычно такая поверхность находится на расстоянии 15...20 м от протейшего заземлителя.

Сопротивление растеканию любого заземлителя R_3 (Ом) определяют как частное от деления потенциала заземлителя на ток I_3 , протекающий в землю через заземлитель. Так, сопротивление растекания одиночного полушарового заземлителя равно

$$R_3 = \rho / (2\pi r).$$

По условиям безопасности заземление должно обладать относительно малым сопротивлением. Поэтому на практике применяют, как правило, групповой заземлитель, т.е. заземлитель, состоящий из нескольких параллельно включённых одиночных электродов. При больших расстояниях между электродами (более 40 м) ток каждого электрода проходит по «своему» отдельному участку земли, в котором токи других заземлителей не проходят. В этом случае потенциальные кривые, возникающие вокруг каждого одиночного заземлителя, взаимно не пересекаются. При одинаковых размерах (сопротивлениях) сопротивление группового заземлителя $R_{гр}$ будет $R_{гр} = R_0 / n$. При малых расстояниях между электродами (менее 40 м) поля растекания токов как бы накладываются одно на другое, а потенциальные кривые взаимно пересекаются и, складываясь, образуют суммарную потенциальную кривую (рис. 7.2). В этом случае на общих участках земли, по которым проходят токи нескольких электродов, увеличивается плотность тока, что приводит к увеличению сопротивления растеканию заземлителей. Поэтому сопротивление группового заземлителя $R_{гр}$ выражается зависимостью $R_{гр} = R_0 / n\eta$, где η – коэффициент, характеризующий уменьшение проводимости заземлителей и называемый коэффициентом использования группового заземлителя (коэффициентом экранирования). Потенциал любой точки поля в этом случае определяется как арифметическая сумма потенциалов, создаваемых в данной точке отдельными электродами.

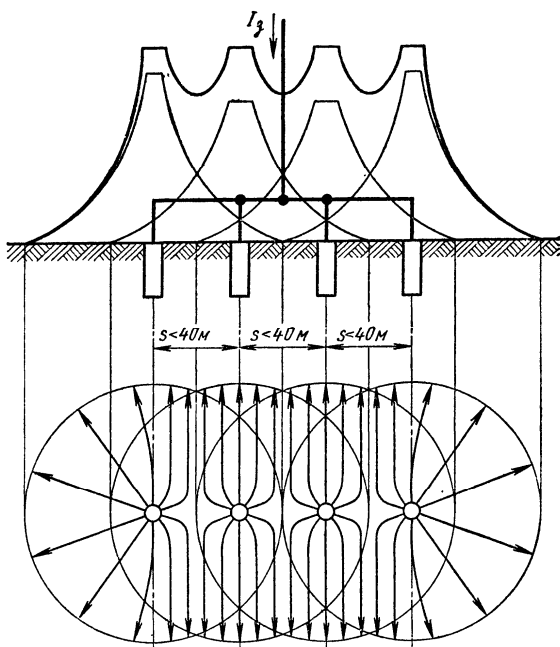


Рис. 7.2. Потенциальная кривая группового заземлителя и поле растекания тока при расстоянии между электродами $S < 40\text{ м}$

Каждая единица производственного оборудования соединяется с заземляющим устройством отдельным проводником. Последовательное включение заземляемого оборудования запрещается.

Соединение заземляющих проводников между собой, а также с заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняется только сваркой, а с корпусами электрооборудования – сваркой или с помощью болтового соединения.

Защитному заземлению подлежат металлические нетоковедущие части электрооборудования, которые вследствие неисправности изоляции и других причин могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей и животных.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках заземление обязательно при номинальном напряжении электроустановки выше 42 В переменного и 110 В постоянного тока, а в помещениях без повышенной опасности – при напряжении 380 В и выше переменного и 440 В и выше постоянного тока.

В зависимости от места размещения заземляющего контура относительно производственного здания различают два вида заземляющих устройств: выносные и контурные.

Выносное заземляющее устройство (рис. 7.3, а) отличается тем, что заземляющий контур расположен вне пределов площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки. Поэтому выносное заземляющее устройство называют также *сосредоточенным*.

Основной недостаток выносного заземляющего устройства – отдалённость заземлителя от защищаемого оборудования, вследствие чего на защищаемой территории напряжение прикосновения может достигать значительных величин. В силу этого заземляющие устройства данного типа применяются только при малых токах замыкания на землю, в частности в установках до 1000 В, где потенциал заземлителя не превышает значения допустимого напряжения прикосновения. Весьма часто для повышения уровня электробезопасности в цепи заземления устанавливают электронные реле тока, позволяющие фиксировать начало развития аварии и за короткий промежуток времени (0,05...0,1 с) отключать аварийные участки сетей.

К достоинствам данного типа заземляющего устройства можно отнести возможность его размещения в местах с наименьшим сопротивлением грунта.

Контурное заземляющее устройство (рис. 7.3, б) отличается тем, что заземляющие электроды располагаются по периметру площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также

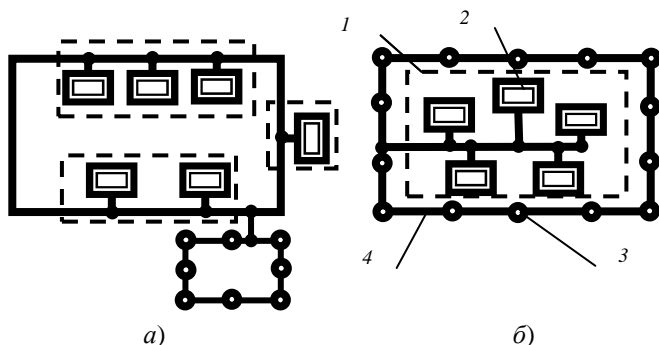


Рис. 7.3. Схема выносного (а) и контурного (б) заземления:

1 – производственные здания; 2 – заземляемое оборудование; 3 – заземлители;
4 – проводники заземляющего контура

в ряде случаев при значительных размерах производственной площади используется распределение электродов внутри этой площадки. Электроды распределяются на площадке по возможности равномерно, и такое контурное заземляющее устройство называется также *распределённым*.

Безопасность при распределённом заземляющем устройстве обеспечивается не только уменьшением потенциала заземлителя, но и выравниванием потенциала на защищаемой площади до такого значения, чтобы максимальные напряжения прикосновения не превышали допустимые. Такие условия достигаются при соответствующем размещении одиночных заземлителей на всей защищаемой территории.

Следует отметить, что контурное заземляющее устройство обеспечивает существенно лучшую степень защиты, чем выносное, за счёт равномерного распределения заземлителей по всей защищаемой площади производственного здания и поднятия потенциала основания практически до потенциала замыкания. При этом шаговое напряжение и напряжение прикосновения во всех точках помещения не превышают допустимых значений.

Различают заземлители *искусственные*, предназначенные только для целей заземления, и *естественные* – находящиеся в земле оборудование иного назначения.

В качестве искусственных заземлителей используют, как правило, вертикальные или горизонтальные электроды из стальных труб (диаметр 50...60 мм, с толщиной стенки не менее 3,5 мм), стального проката (уголки, швеллеры, двутавры и т.д.) или металлических полос толщиной не менее 4 мм. Длина вертикальных электродов обычно составляет 3...5 м. Глубина от поверхности земли до электродов устанавливается по нижней границе промерзания грунта, но не менее 0,7 м.

В качестве естественных заземлителей могут использоваться проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей и взрывоопасных газов), обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, имеющие соединения с землёй; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле, и т.п.

Недостатками естественных заземлителей являются доступность неэлектрическому персоналу и возможность нарушения целостности соединения заземлителей (при ремонтных работах и т.п.).

В качестве проводников, предназначенных для соединения заземлённых частей с заземлителями, применяют полосовую сталь или сталь круглого сечения.

Электрическое сопротивление заземляющего устройства определяется требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [4] и в любое время года не должно превышать: 4 Ом – в установках напряжением до 1000 В; если мощность источника тока (генератора или трансформатора) 100 кВ·А и менее, то сопротивление заземляющего устройства допускается 10 Ом; 0,5 Ом – в установках напряжением выше 1000 В.

Проектный расчёт заземляющего устройства сводится к определению его сопротивления при установленных геометрических размерах отдельных электродов и известном их взаимном расположении.

Одиночные вертикальные электроды располагают в ряд или по контуру. Расстояние C между соседними вертикальными электродами (если позволяют размеры отведённой под заземлитель площадки) рекомендуется брать не менее 2,5 м. Для заземлителей, расположенных в ряд, отношение C к длине l вертикального электрода предпочтительно выбирать равным 2–3, а при расположении электродов по контуру – равным 3.

Определяют сопротивление одиночного электрода с помощью соответствующих расчётных зависимостей (табл. 7.1) с учётом сопротивления грунта ρ в месте установки (табл. 7.2).

По напряжению сети и суммарной мощности используемого электрооборудования по ПУЭ определяют и обосновывают величину нормируемого сопротивления заземления R_n .

Определяют коэффициент использования параллельно расположенных заземлителей η (табл. 7.3).

С учётом схемы размещения заземлителя в грунте рассчитывают длину L и сопротивление R_r горизонтальной полосы, соединяющей параллельные электроды (табл. 7.1).

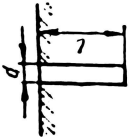
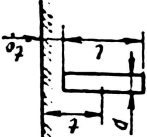
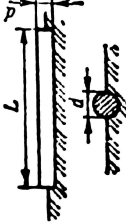
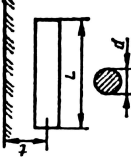
Определяют коэффициент использования горизонтальной полосы η_r (табл. 7.1).


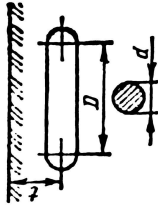
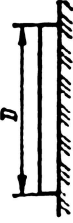
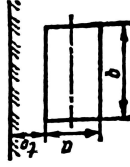
Результирующее сопротивление рассчитывается как параллельное соединение всех вертикальных электродов с соединительной полосой с учётом коэффициентов экранирования (коэффициентов использования):

$$R_k = R_3 R_r / (R_r n \eta + R_3 \eta_r).$$

Полученное значение сопротивления не должно превышать нормируемое значение ($R_k \leq R_n$).

7.1. Сопротивление растеканию тока одиночного заземлителя

Тип заземлителя	Схема	Формула	Условия применения
Стержневой круглого сечения (трубчатый) или уголкового у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln(4l/d) \quad (1)$	$l \gg d$; для уголка с шириной полки b $d = 0,95b$
То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right); (2)$ $t = t_0 + l/2$	$l \gg d$; $t_0 \geq 0,5$ м; для уголка с шириной полки b $d = 0,95b$
Протяжённый на поверхности земли (стержень, труба, полосу, кабель и т.п.)		$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln(2L/d) \quad (3)$	$L \gg d$; для полосы шириной b $d = 0,5b$
То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln(L^2/dt) \quad (4)$	$L \gg d$; $L \gg 4t$; для полосы шириной b $d = 0,5b$

Тип заземлителя	Схема	Формула	Условия применения
Кольцевой на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln(8D/d) \quad (5)$	$D \gg d$; для полосы шириной b $d = 0,5b$
То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln(4\pi D^2 / dt) \quad (6)$	$D \gg d$; $D \gg 2t_0$; для полосы шириной b $d = 0,5b$
Круглая пластина на поверхности земли		$R = \rho / 2D \quad (7)$	-
Пластинчатый в земле (пластина поставлена на ребро)		$R = \frac{\rho}{2\pi a} \left(\ln \frac{4a}{b} + \frac{a}{4t_0} \right) \quad (8)$	$2t_0 \geq a$

7.2. Значения удельных электрических сопротивлений различных видов грунта

Вид грунта	ρ , Ом·м	Вид грунта	ρ , Ом·м
Кокс	2...5	Глины	3...80
Торф	10...30	Суглинок	5...150
Садовая земля	20...60	Пахотная земля	20...180
Чернозём	10...50	Почва	10...300
Гранит	1000...1200	Супесок	100...400
Каменный уголь	100...150	Песок	300...1500
Известняк	150...200	Гравий	4000...7000

7.3. Коэффициенты использования вертикальных электродов группового заземлителя без учёта влияния полосы связи (η_v)

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

В то же время сопротивление $R_{\text{н}}$ не должно быть значительно меньше предельно допустимого во избежание неоправданно больших экономических затрат на сооружение заземляющего устройства.

Если результаты расчёта не удовлетворяют установленным ограничениям, то изменяют параметры заземлителя, которые предпочтительно варьировать в каждом конкретном случае, и расчёт повторяют заново. Таким образом, методом последовательного приближения добиваются выполнения указанных выше требований к сопротивлению заземляющего устройства.

7.5. ЗАНУЛЕНИЕ

Область применения зануления:

- электроустановки напряжением до 1000 В в трёхфазных сетях переменного тока с заземлённой нейтралью (обычно это сети 220/127, 380/220, 660/380 В);

- электроустановки напряжением до 1000 В в однофазных сетях переменного тока с заземлённым выводом;

- электроустановки напряжением до 1000 В в сетях постоянного тока с заземлённой средней точкой источника.

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение металлических частей электроустановок, не находящихся в нормальном режиме под напряжением, с глухозаземлённой нейтральной точкой питающего устройства (трансформатор или генератор) в сетях трёхфазного тока, с глухозаземлённым выводом источника однофазного тока, с заземлённой точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Зануление необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счёт снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

Нулевым защитным проводником называется проводник, соединяющий зануляемые части (открытые проводящие части) с глухозаземлённой нейтральной точкой источника питания.

Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего проводника.

Нулевой рабочий проводник – проводник в электроустановках напряжением до 1000 В, предназначенный для питания электроприёмников, соединённый с глухозаземлённой нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трёхфазного тока, с глухозаземлённым выводом источника однофазного тока, с глухозаземлённой точкой ис-

точника в сетях постоянного тока. Совмещённый нулевой защитный и нулевой рабочий проводник – проводник в электроустановках напряжением до 1000 В, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводника.

Принцип действия зануления. При замыкании фазного провода на занулённый корпус электропотребителя образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (т.е. замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение повреждённой электроустановки от питающей сети. Кроме того, от начала развития аварии до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения корпуса повреждённого электрооборудования относительно земли. Такое снижение напряжения (напряжения прикосновения человека, касающегося повреждённого оборудования) обусловлено защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и соответствующим перераспределением напряжений в полной цепи протекания тока короткого замыкания.

Для защиты занулением необходимы: *нулевой защитный проводник, глухое заземление нейтрали* источника тока и *повторное заземление* нулевого защитного проводника. Рассмотрим назначение этих элементов применительно к наиболее распространённым электрическим сетям – трёхфазным переменного тока.

Принципиальная схема трёхфазной сети с глухозаземлённой нейтралью, от которой питаются две электроустановки, изображена на рис. 7.4. Первая использует фазное напряжение (фаза С – рабочий нуль), на вторую подаётся три фазы (А, В и С). Для нормального режима работы первой установки используется нулевой рабочий проводник, по которому протекают рабочие токи подобных однофазных установок. Для нормальной работы второй установки (трёхфазной) нулевой рабочий проводник не требуется.

Как показано на рис 7.4, электрическая сеть имеет дополнительный нулевой защитный проводник, по которому в нормальном режиме работы ток не протекает.

Нулевой защитный проводник в схеме зануления обеспечивает необходимое для отключения установки значение тока однофазного короткого замыкания путём создания для этого тока цепи с малым сопротивлением. Заземление нейтрали обмоток источника тока, питающего сеть до 1000 В, предназначено для снижения напряжения занулённых открытых проводящих частей и, соответственно, нулевого защитного проводника относительно земли до допустимого значения

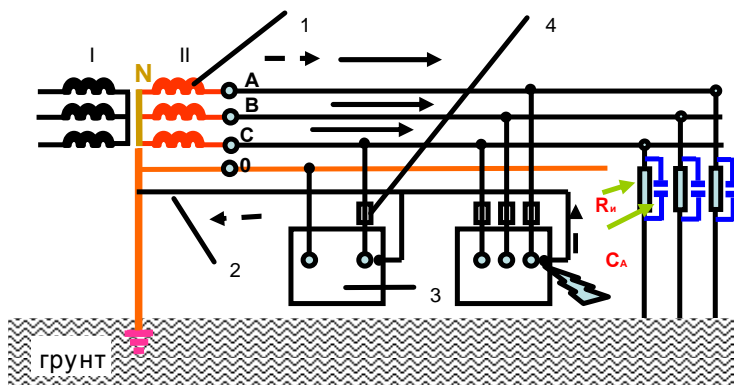


Рис. 7.4. Принципиальная схема зануления:

I – питающий трёхфазный трансформатор; *2* – защитный нулевой проводник; *3* – электроустановки; *4* – устройства защиты от токов короткого замыкания; \rightarrow – рабочие токи в номинальном режиме; \leftrightarrow – ток короткого замыкания

при замыкании фазного провода на землю. Предусмотренное повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на время отключения электроустановки от сети, но существенно увеличивает надёжность защиты занулением. Так, например, при эксплуатации зануления могут возникнуть такие моменты, когда повторное заземление нулевого защитного проводника необходимо, например при вероятности обрыва нулевого защитного проводника. При применении системы защиты занулением рекомендуется выполнять повторное заземление рабочих и защитных проводников на вводе в здания, а также в других доступных местах. Для повторного заземления нулевых защитных проводников следует в первую очередь использовать естественные заземлители. В этом случае сопротивление растеканию тока заземлителя повторного заземления не нормируется.

Внутри больших и многоэтажных зданий аналогичную функцию выполняет уравнивание потенциалов посредством присоединения нулевого защитного проводника к главной заземляющей шине. Повторному заземлению подвергаются нулевые рабочие провода воздушных линий, которые одновременно используются как нулевые защитные проводники. При этом в соответствии с ПУЭ [4] повторные заземления выполняются на концах линий или ответвлений длиной более 200 м.

При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например подземные части опор, а также заземляющие устройства, предназначенные для грозовых перенапряжений.

Надёжность зануления определяется в основном надёжностью нулевого защитного проводника. В связи с этим требуется тщательная прокладка нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва. В нулевом защитном проводнике запрещается ставить устройства, способные нарушить его целостность (выключатели, предохранители, разъёмы). Соединение нулевых защитных проводников между собой должно иметь надёжный контакт. Присоединение нулевых защитных проводников к частям электроустановок, подлежащих занулению, осуществляется сваркой или болтовым соединением, причём значение переходного сопротивления между зануляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью электроустановки, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом. Присоединение должно быть доступно для осмотра. В процессе эксплуатации зануления сопротивление петли «фаза–нуль» может меняться, следовательно, необходимо периодически контролировать значение этого сопротивления. Измерения сопротивления петли «фаза–нуль» проводят как после окончания монтажных работ, т.е. при приёмо-сдаточных испытаниях, так и в процессе эксплуатации в сроки, установленные в нормативно-технической документации, а также при проведении капитальных ремонтов и реконструкций сети. В качестве максимальной токовой защиты, обеспечивающей быстрое отключение электроустановок в аварийном режиме, используются плавкие предохранители, автоматические выключатели, магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, контакторы в сочетании с тепловыми реле и др.

Нулевой защитный проводник (см. рис 7.4) присоединяется к корпусам электроустановок для создания ждущей цепи короткого замыкания, которая образуется и срабатывает только при аварийных режимах (пробой изоляции электроустановок и появление напряжения питающей сети на их корпусах). Фазные провода, идущие непосредственно к установкам, в обязательном порядке имеют защитные токовые элементы (плавкие вставки). Следует отметить, что в цепи рабочего нулевого проводника не допускается установка защитных элементов.

Для примера на рис. 7.4 показано образование петли короткого замыкания при пробое фазы А на корпус трёхфазной установки. При расчёте зануления определяются условия, при которых оно надёжно

выполняет возложенные на него функции: быстрое отключение повреждённой установки от сети и в то же время обеспечение безопасности прикосновения человека к занулённому корпусу (снижение напряжения прикосновения) в аварийный период. В соответствии с этим зануление рассчитывают на отключающую способность. При этом в соответствии с ПУЭ [4] должны выполняться требования по времени автоматического отключения питания, которое не должно превышать значений, указанных в табл. 7.4.

При расчёте на отключающую способность согласно [4] проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании фазы на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток короткого замыкания, превышающий не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя (во взрывоопасных зонах в 4 раза); в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику (во взрывоопасных зонах в 6 раз). При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель, проводимость проводников должна обеспечивать ток не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс (по заводским данным), и на коэффициент запаса 1,1. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с силой номинального тока до 100 А кратность тока короткого замыкания относительно уставки следует принимать не менее 1,4, а для автоматических выключателей с силой номинального тока более 100 А – не менее 1,25.

7.4. Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения питания электроустановок

Номинальное фазное напряжение U , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

7.6. ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

Защитным отключением называется автоматическое отключение электроустановок при однофазном прикосновении к частям, находящимся под напряжением, недопустимым для человека, а также при возникновении в электроустановках токов утечки, превышающих заданные значения. Область применения: электроустановки в сетях с любым напряжением и любым режимом нейтрали. Наибольшее распространение защитное отключение получило в электроустановках, используемых в сетях напряжением до 1000 В как с заземлённой, так и с изолированной нейтралью. Основная цель защитного отключения – обеспечение электробезопасности человека, что достигается за счёт ограничения времени воздействия опасного тока на организм человека. С этой целью применяются специальные устройства защитного отключения (УЗО), которые в постоянном режиме постоянно контролируют условия работы человека (контролируются токи утечки как в нормальном, так и в аварийном режимах). УЗО обеспечивают существенное повышение уровня защиты. Они срабатывают при непрямом контакте человека с электроустановкой и при его соприкосновении с не находящимися в нормальном режиме работы под напряжением частями электроустановки, на которых оно появилось вследствие повреждения изоляции. УЗО отслеживает величину тока, проходящего через тело человека, и реагирует на неё, обеспечивая мгновенное (не превышающее 0,02 с) автоматическое отключение всех фаз аварийного участка электроцепи.

УЗО как дополнительная защита обеспечивает:

- отключение участка сети при перепутывании фазного провода с проводом защитного зануления при неправильном монтаже;
- отключение оборудования или его повреждённой части.

В зависимости от наличия постоянной составляющей тока утечки УЗО могут быть двух классов: «АС» и «А». Наиболее распространённым считается класс «АС», обеспечивающий защиту от тока утечки синусоидальной переменной формы.

По конструкции различают электромеханические и электронные УЗО. Электромеханическим УЗО не требуется никакого питания, и для их срабатывания достаточно, чтобы появился дифференциальный ток. В электронных же устройствах защитного отключения присутствует электронная схема, и для её функционирования нужно питание, получаемое либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника. Электромеханические УЗО надёжнее, так как они продолжают выполнять защитные функции даже при частичном обрыве проводников.

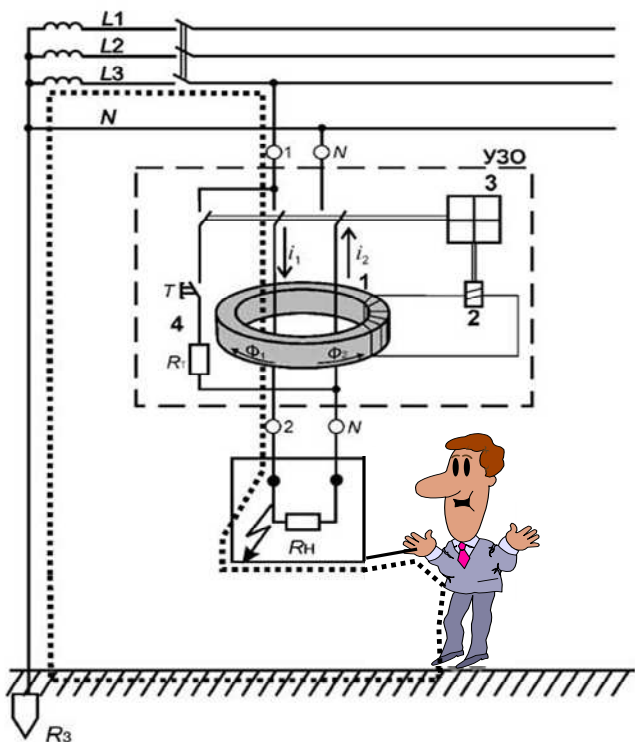


Рис. 7.5. Принципиальная схема устройства защитного отключения с использованием дифференциального трансформатора тока:

- 1 – дифференциальный трансформатор тока; 2 – электронный усилитель;
 3 – исполнительное реле; 4 – кнопка проверки работоспособности действия УЗО; – цепь тока утечки на землю

Принцип работы УЗО (рис. 7.5) основан на измерении баланса токов между токоведущими проводниками с помощью дифференциального трансформатора тока, который в данном случае имеет две основные обмотки (специфическими обмотками являются участки силовых проводников, проходящие через кольцевой сердечник трансформатора). Сигнальная обмотка размещается на том же сердечнике трансформатора и содержит, как правило, значительное количество витков. УЗО измеряет алгебраическую сумму токов, протекающих по контролируемым проводникам (двум для однофазного УЗО, четырёх для трёхфазного и т.д.).

В исправном состоянии установки ток, «втекающий» по одним проводникам, должен быть равен току, «вытекающему» по другим, т.е. сумма токов, проходящих через УЗО, равна нулю (точнее, сумма не должна превышать допустимое значение). Следовательно, магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , возникающие от двух основных обмоток, равновелики, направлены встречно и взаимно компенсируются. При таком условии на сигнальной обмотке не возникает напряжение. Если же сумма токов в силовых проводниках превышает допустимое значение, то это означает, что часть тока проходит помимо УЗО, т.е. контролируемая электрическая цепь неисправна – в ней имеет место утечка тока. Если баланс токов нарушен, то возникает суммарный магнитный поток, отличный от нуля. На сигнальной обмотке появляется напряжение, которое усиливается электронным усилителем (2, рис. 7.5) с выдачей управляющего сигнала на исполнительное реле (3, рис. 7.5). УЗО незамедлительно размыкает все входящие в него контактные группы, отключая таким образом контролируемые неисправные электрические приборы. С точки зрения электробезопасности УЗО принципиально отличаются от устройств защиты от больших токов (предохранителей) тем, что УЗО предназначены именно для защиты человека от поражения электрическим током, поскольку они срабатывают при утечках тока, составляющих несколько десятков миллиампер (рис. 7.6). Обычные предохранители (плавкие вставки) не могут срабатывать при весьма малых увеличениях номинальных токов, причиной которых являются токи утечки на землю. УЗО должны срабатывать за время не более 25...40 мс, т.е. до того, как электрический ток, проходящий через организм человека, вызовет фибрилляцию сердца – наиболее частую причину смерти при поражениях электрическим током. Эти значения были установлены путём тестов при воздействии электрического тока с известными параметрами на человека.

Обнаружение токов утечки при помощи УЗО является дополнительным защитным мероприятием, а не заменой защите от сверхтоков при помощи предохранителей, так как УЗО никак не реагирует на неисправности, если они не сопровождаются утечкой тока (например, короткое замыкание между фазным и нулевым проводниками). УЗО с отключающим дифференциальным током порядка 300 мА и более иногда применяются для защиты больших участков электрических сетей (например, в компьютерных центрах), где низкий порог может приводить к ложным срабатываниям.

Такие низкочувствительные УЗО выполняют противопожарную функцию и не являются эффективной защитой от поражения электрическим током.

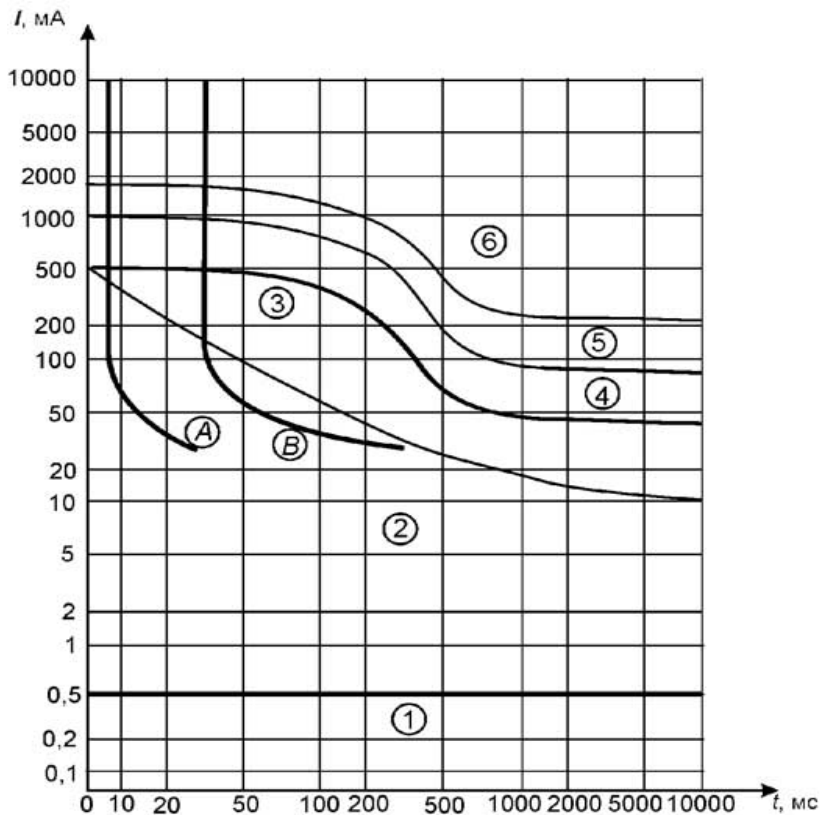


Рис. 7.6. График областей физиологического действия на человека переменного тока и времятоковые характеристики УЗО:

1 – неощутимые токи; *2* – оощутимые, но не вызывающие физиологических нарушений; *3* – оощутимые, но не вызывающие опасность фибрилляции сердца; *4* – оощутимые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность < 5%); *5* – оощутимые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность < 50%); *6* – оощутимые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность > 50%);

A(10 mA) и *B*(30 mA) – времятоковые характеристики типовых УЗО

Рабочие параметры УЗО: номинальное напряжение, номинальный ток, номинальный отключающий дифференциальный ток (ставка по току утечки). Эти параметры выбираются на основе технических параметров проектируемой электроустановки. Качество и надёжность работы УЗО определяются рядом параметров, прежде всего номинальным условным током короткого замыкания (I_{nc}) и номинальной включающей и отключающей (коммутационной) способностью (I_m). Номинальный условный ток короткого замыкания – характеристика, определяющая надёжность и прочность устройства, качество исполнения его механизма и электрических соединений (минимально допустимое значение $I_{nc} = 3$ кА). Коммутационная способность УЗО согласно требованиям норм должна быть не менее десятикратного значения номинального тока или 500 А. Качественные устройства имеют, как правило, гораздо более высокую коммутационную способность – 1000, 1500 А. Это означает, что такие устройства надёжнее, и в аварийных режимах, например при коротком замыкании на землю, устройства защитного отключения, опережая автоматические выключатели, гарантированно произведут отключение повреждённого участка электросети. Для наилучшей защиты в аварийных ситуациях целесообразно устанавливать отдельные УЗО или дифференциальные выключатели на каждую линию потребления тока с разными характерами нагрузки. Например, в бытовых условиях для предотвращения пожара на кухне, на которой находится множество мощных электроприборов, потребуются менее чувствительные УЗО, но они не будут отключать электричество от каждого «броска» тока, вызванного включившимся холодильником. А для защиты отдельной выделенной линии (ванной или детской комнаты) нужно поставить самые чувствительные устройства с током утечки 10 мА. На промышленных объектах в каждом распределительном щите устанавливаются УЗО с током срабатывания не более 30 мА. Практика показывает, что для обеспечения лучших условий электробезопасности и максимальной бесперебойности электроснабжения предпочтительна установка отдельного УЗО перед каждым автоматическим выключателем. Именно такое сочетание представляют собой автоматические выключатели дифференциального тока – УЗО и «автомат» в одном корпусе. Выбор устройства защитного отключения зависит от параметров сети (1 или 3 фазы и номинальный ток). Но основным показателем при выборе УЗО – это значение тока утечки. Суммарный ток утечки с учётом всех присоединяемых электроприёмников в

нормальном режиме работы не должен превышать 1/3 номинального тока установленного УЗО. При отсутствии паспортных данных ток утечки электроприёмников следует принимать из расчёта 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети – из расчёта 10 мкА на 1 м длины фазного проводника. Приблизительные значения токов утечки, возникающих при использовании бытового и офисного электрооборудования, составляют: факс 0,5...1 мА; принтер < 1 мА; компьютер 1...2 мА; ксерокс 0,5...1 мА; маломощные (< 300 Вт) электробытовые приборы < 0,75 мА; настольные светильники < 1 мА.

Согласно [6] нормируются следующие параметры УЗО:

Номинальное напряжение (U_n) – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО.

$$U_n = 220, 380 \text{ В.}$$

Номинальный ток нагрузки (I_n) – значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы.

$$I_n = 6; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125 \text{ А.}$$

Номинальный отключающий дифференциальный ток (I_{Dn}) – значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{Dn} = 0,006; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5 \text{ А.}$$

Номинальный неотключающий дифференциальный ток (I_{Dn0}) – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{Dn0} = 0,5I_{Dn}.$$

Предельное значение неотключающего сверхтока (I_{nm}) – минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух- и четырёхполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырёхполюсных УЗО.

$$I_{nm} = 6I_n.$$

Сверхток – любой ток, который превышает номинальный ток нагрузки.

Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) (I_m) – действующее значение ожидаемого тока, которое УЗО способно включить, пропускать в течение своего

времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности.

Минимальное значение $I_m = 10I_n$ или 500 А (выбирается большее значение).

Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току (I_{Dm}) – действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности.

Минимальное значение $I_{Dm} = 10I_n$ или 500 А (выбирается большее значение).

Номинальный условный ток короткого замыкания (I_{nc}) – действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий, при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{nc} = 3000; 4500; 6000; 10\ 000\ \text{А}.$$

Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания (I_{Dc}) – действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий, при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{Dc} = 3000; 4500; 6000; 10\ 000\ \text{А}.$$

Правила установки УЗО регламентированы ПУЭ [4].

7.7. ВЫРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ

Как известно, напряжение прикосновения или шага возникает тогда, когда существует разность потенциалов между основанием, на котором стоит человек, и корпусами оборудования, которых он может коснуться, или между ногами. Если соединить посредством дополнительных электродов и проводников места возможного касания телом человека, то не будет разности потенциалов и связанной с ней опасности. Выравнивание потенциалов применяется как дополнительный технический способ защиты при наличии зануления или заземления в помещениях с повышенной опасностью или особо опасных.

Выравнивание потенциалов корпусов электрооборудования и связанных с ним конструкций и основания осуществляется устройством контурного заземлителя, электроды которого располагаются вокруг здания или сооружения с заземлённым или занулённым оборудованием. Внутри контурного заземлителя под полом помещения или площадки прокладываются горизонтальные продольные и поперечные электроды, соединённые сваркой с электродами контура. При наличии зануления контур присоединяется к нулевому проводу.

Если заложить в землю металлические полосы и соединить их с другими заземлителями, то они приобретут общий потенциал. Поэтому в пределах расположения заземлителей разность потенциалов, напряжение прикосновения и напряжение шага будут малы.

Если металлические полосы сделать достаточно широкими и не соединять их с заземлителем, то потенциал на каждой полосе будет неизменным. Кривая распределения потенциала по защищаемой поверхности будет более пологой, а напряжение шага уменьшится. Аналогичного результата можно достичь, уменьшив сопротивление грунта его специальной обработкой. В ряде случаев прибегают к изоляции площадки нахождения работающих от основного грунта путём подсыпки материалов с низкой проводимостью (щебень, гравий и т.д.).

Лекция 8. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

При эксплуатации электроустановок зачастую возникают такие условия, при которых даже самые надёжные способы защиты человека не обеспечивают безопасности работающих, и поэтому требуется применение специальных средств защиты, переносных приспособлений и устройств, служащих для защиты персонала, работающего в электроустановках, от поражения электрическим током. Эти средства не являются конструктивными частями электроустановок, а дополняют ограждения, блокировки, сигнализацию, защитное заземление, зануление, защитное отключение и другие стационарные защитные устройства.

Изолирующие защитные средства от поражения электрическим током в зависимости от рабочего напряжения электроустановок делятся на:

– основные защитные средства в электроустановках напряжением до 1000 В;

- дополнительные защитные средства в электроустановках напряжением до 1000 В;
- основные защитные средства в электроустановках напряжением выше 1000 В;
- дополнительные защитные средства в электроустановках напряжением выше 1000 В.

Основными называются такие защитные средства, изоляция которых надёжно выдерживает рабочее напряжение в электроустановках и позволяет прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

Дополнительные защитные средства представляют собой средства, которые сами по себе не обеспечивают при данном напряжении безопасность от поражения электрическим током. Они являются дополнительной к основным средствам мерой защиты, а также служат для защиты от напряжения прикосновения, шагового напряжения, электрической дуги и продуктов её горения. Применяемые изолирующие защитные средства от поражения электрическим током должны соответствовать государственным и отраслевым стандартам (ГОСТ, ОСТ), техническим условиям (ТУ), техническим описаниям (ТО). При проведении работ с использованием изолирующих защитных средств от поражения электрическим током должны строго соблюдаться правила техники безопасности.

К электрзащитным средствам относятся:

- изолирующие штанги;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные и стационарные;
- устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках;
- диэлектрические перчатки, галоши, боты;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- защитные ограждения;
- изолирующие накладки и колпаки;
- ручной изолирующий инструмент;
- переносные заземления;
- плакаты и знаки безопасности;
- гибкие изолирующие покрытия и накладки для работ под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В.

Изолирующие клещи предназначены для замены предохранителей в электроустановках до и выше 1000 В, а также для снятия ограждений и других аналогичных видов работ в электроустановках. Клещи состоят из рабочей части (губок клещей), изолирующей части и рукояток. *Изолирующие штанги* предназначены для оперативной работы и измерений, для наложения переносных заземлений, а также для освобождения пострадавшего от электрического тока. Штанга изолирующая выполнена из регламентированного изоляционного материала, позволяющего касаться частей электроустановок, находящихся под напряжением.

Указатели напряжения до 1000 В различаются по включению на двухполюсные и однополюсные. Двухполюсные указатели работают при протекании активного тока и предназначены для электроустановок переменного и постоянного тока. Однополюсные указатели, работающие при протекании ёмкостного тока, используются для электроустановок только переменного тока. Все указатели содержат элементы световой или звуковой индикации, выполненные, как правило, на газоразрядных лампах или светодиодах.

Сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные выпускаются двух типов:

- автоматические сигнализаторы, предназначенные для предупреждения работающих о приближении на опасное расстояние к токоведущим частям под напряжением;

- сигнализаторы неавтоматические для предварительной оценки наличия напряжения на токоведущих частях электроустановок при расстояниях между ними и оператором, значительно превышающих безопасные.

Сигнализатор представляет собой устройство, реагирующее на напряжённость электрического поля в конкретном месте нахождения работающего, и применяется в качестве вспомогательного защитного средства при работе в высоковольтных электрических сетях.

Перчатки диэлектрические предназначены для защиты рук от поражения электрическим током. Диэлектрические перчатки, рассчитанные на напряжение выше 1000 В, для электроустановок на это напряжение являются дополнительным электротехническим средством и предназначаются для защиты работающих от воздействия дуги и от поражения током в случае снижения сопротивления изоляции основного средства. Диэлектрические перчатки в электроустановках до 1000 В могут применяться на это напряжение как основное электротехническое средство и могут, в частности, предназначаться для выпол-

нения работ на токоведущих частях без снятия напряжения. При работе в электроустановках разрешается применять только диэлектрические перчатки, изготовленные в соответствии с требованиями технических условий и имеющие соответствующий штамп. Использование перчаток, предназначенных для других целей (перчатки для химического производства, медицинские и др.), в качестве электрозащитного средства запрещается. Отечественная промышленность выпускает диэлектрические перчатки двух типов: перчатки со швом (ТУ 38-105504–72) и бесшовные (ТУ 38-105977–76). Толщина слоя резины перчаток 1,2...1,25 мм. Общая длина перчатки не менее 350 мм. При работе диэлектрические перчатки нужно надевать поверх рукавов, для этого на конце перчатки имеется раструб. Перчатки сохраняют свойства в интервале температур от –40 до +40 °С. Находящиеся в эксплуатации перчатки должны периодически проверяться на отсутствие повреждений путём сворачивания их в сторону пальцев и должны дезинфицироваться. В электроустановках выше 1000 В перчатки используются при выполнении операций с помощью изолирующих штанг или клещей, при работах с указателями напряжения, установке и снятии временных ограждений и т.д. Необходимо также применять перчатки при работах с ручным механическим приводом разъединителей и выключателей. При работах по перемещению кабеля, находящегося под напряжением, применение перчаток обязательно.

В электроустановках разрешается использовать только перчатки с маркировкой по напряжению (Эн – электроустановки ниже 1000 В и Эв – электроустановки выше 1000 В).

Перчатки должны применяться при определённых условиях работы с электроинструментом на случай пробоя изоляции на его корпус при отсутствии или нарушении заземления корпуса. Порядок применения изолирующих электрозащитных средств, главным образом диэлектрических перчаток, при работе с электроинструментом указан в табл. 8.1.

Обувь специальная диэлектрическая (галoши, боты) является дополнительным электрозащитным средством при работе в закрытых, а при отсутствии осадков – в открытых электроустановках. Дополнительно диэлектрическая обувь защищает работающих от шагового напряжения. Диэлектрические боты могут применяться в качестве дополнительного электрозащитного средства в сетях выше 1000 В. Боты изготавливаются по ГОСТ 13385–78 с размерами от 9 до 16 из специальной резины светло-серого или бежевого цвета и не имеют лакового покрытия. Применение недиелектрических бот, предназначенных для других целей, не разрешается.

8.1. Порядок применения электрифицированного инструмента с защитными средствами

Категория помещения по опасности поражения электрическим током	Напряжение инструмента, В	Условия применения инструмента	
		с одинарной изоляцией	с двойной изоляцией
Без повышенной опасности	До 36	Без заземления корпусов, без изолирующих электрозащитных средств	—
	127...220	То же	Без заземления корпусов, без изолирующих электрозащитных средств
С повышенной опасностью и вне помещений	До 36	Без заземления корпусов, с изолирующими электрозащитными средствами	
	127...220	С заземлением корпусов, с изолирующими электрозащитными средствами	Без заземления корпусов, с изолирующими электрозащитными средствами
Особо опасные	До 36	Без заземления корпусов, с изолирующими электрозащитными средствами	
	127...220	Применять запрещается	Применять запрещается

Боты используются вместо изолирующих подставок при выполнении оперативных переключений или иных работах, при которых требуется находиться на изолирующем основании, например при установке временных ограждений, касающихся токоведущих частей.

Диэлектрические галоши могут применяться только в закрытых электроустановках до 1000 В и являются дополнительным электрoзащитным средством. Галоши также изготавливаются в соответствии с ГОСТ 13385–78 из специальной резины. Они отличаются от обычных бытовых тем, что не имеют лакового покрытия и изготавливаются из резины бежевого или светло-серого цвета. Галоши изготавливаются с размерами от 2 до 14. Обычные галоши не могут применяться в качестве диэлектрических, так как резина вследствие содержания сажи не имеет необходимых диэлектрических свойств.

По ГОСТ 13385–78 ассортимент диэлектрической обуви расширен и дополнен диэлектрическими сапогами. Диэлектрические резиновые сапоги изготавливаются методом формования, а из поливинилхлорида – методом литья под давлением. Сапоги диэлектрические могут применяться как дополнительное электрoзащитное средство в электроустановках до 1000 В, при этом сапоги, изготовленные из поливинилхлорида, не должны применяться при температуре ниже 0 °С. Диэлектрические боты, галоши и сапоги защищают от шагового напряжения в электроустановках любого напряжения, в том числе и на высоковольтных линиях.

Диэлектрические перчатки, боты, галоши и сапоги при хранении необходимо защищать от прямого действия солнечных лучей и не допускать соприкосновения их с маслами, бензином, керосином, кислотами, щелочами и другими веществами, разрушающими резину и полимерные материалы.

Галоши применяют в электроустановках напряжением до 1000 В, боты – при всех напряжениях. Специальную обувь маркируют: Эн – галоши, Эв – боты.

Ковры диэлектрические резиновые и подставки изолирующие применяются как дополнительные электрoзащитные средства в электроустановках до и выше 1000 В. Коврики применяют в закрытых электроустановках, кроме сырых помещений, а также в открытых электроустановках в сухую погоду.

Подставки применяют в сырых и подверженных загрязнению помещениях.

Ковры изготавливают в соответствии с требованиями государственного стандарта в зависимости от назначения и условий эксплуатации следующих двух групп.

Первая группа – обычного исполнения и вторая группа – маслобензостойкие.

Ковры изготавливаются толщиной 6 ± 1 мм, длиной от 500 до 8000 мм и шириной от 500 до 1200 мм. Ковры должны иметь рифлёную лицевую поверхность.

Изолирующая подставка представляет собой настил, укреплённый на опорных изоляторах высотой не менее 70 мм.

Настил размером не менее 500×500 мм следует изготавливать из хорошо просушенных строганых деревянных планок. Настил должен быть окрашен со всех сторон. Допускается изготавливать настил из синтетических материалов.

Подставки должны быть прочными и устойчивыми. В случае применения съёмных изоляторов соединение их с настилом должно исключать возможность соскальзывания настила. Для устранения возможности опрокидывания подставки края настила не должны выступать за опорную поверхность изоляторов.

Инструменты с изолирующими рукоятками являются основным электрозащитным средством от поражения электрическим током при работах без снятия напряжения на электроустановках до 1000 В. Рукоятки специализированных инструментов покрываются гигростойким изоляционным материалом со специальными упорами для предотвращения соскальзывания пальцев работающего на неизолированную часть инструмента. Изоляционный материал должен быть механически прочным и стойким против разбедания агрессивными жидкостями и растворителями. Изоляционное покрытие должно быть неснимаемым, плотно прилегать к металлическим частям инструмента и полностью изолировать ту его часть, которая во время работы находится в руке работающего.

Плакаты и знаки безопасности (табл. 8.2) предназначены:

– для *запрещения* действий с аппаратами, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на рабочее место работы (запрещающие плакаты);

– для *предупреждения* об опасности приближения к частям электрооборудования, находящимся под напряжением (предупреждающие знаки и плакаты);



– для *разрешения* конкретных действий только при выполнении определённых требований безопасности (предписывающие плакаты);

– для *указания* местонахождения различных объектов и устройств.

По характеру применения плакаты могут быть постоянными и переносными, а знаки – постоянными.

8.2. Знаки электробезопасности

Графическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
	<p>Не включать. Работа на линии</p>	<p>Использовать в электроустановках (до 1000 В и выше), при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на воздушную или кабельную линию, на которой работают люди</p>
	<p>Не открывать. Работают люди</p>	<p>Использовать в электроустановках электростанций и подстанций, на вентилях и задвижках воздухопроводов, воздухо-сборниках, на пневматических приводах выключателей и разъединителей</p>
	<p>Не включать. Работают люди</p>	<p>Использовать в электроустановках (до 1000 В и выше), при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на воздушную или кабельную линию, на которой работают люди</p>
	<p>Стой. Напряжение</p>	<p>Использовать на оборудовании (узлах оборудования), дверцах электроприборов, электрощитах, в зонах опасности поражения электрическим током</p>
	<p>Не влезай. Убьёт!</p>	<p>Использовать на оборудовании (узлах оборудования), дверцах электроприборов, электрощитах, в зонах опасности поражения электрическим током</p>

Графическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
	Испытание. Опасно для жизни	Использовать на оборудовании (узлах оборудования), дверцах электроприборов, электрощитах, в зонах опасности поражения электрическим током
	Напряжение 380/220В	Использовать на оборудовании (узлах оборудования), дверцах электроприборов, электрощитах, источниках электропитания

Постоянные плакаты и знаки рекомендуется изготовлять из электроизоляционных материалов, а знаки на бетонные и металлические поверхности наносить красками с помощью трафаретов. Переносные плакаты следует изготовлять только из электроизоляционных материалов.

Лекция 9. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ

В современных условиях развития общества при активном внедрении многих видов энергетики электромагнитные излучения приборов и устройств занимают одно из ведущих мест по своей экологической значимости среди других факторов окружающей среды.

В целом общий электромагнитный фон состоит из источников излучений естественного (электрические и магнитные поля Земли, атмосферные явления, радиоизлучения Солнца и галактик) и искусственного (антропогенного) происхождения (теле- и радиостанции, линии электропередачи, электробытовая техника и др.). Уровень антропогенного электромагнитного фона, как правило, бывает на несколько порядков выше уровней электромагнитных излучений, создаваемых естественными источниками. Электромагнитные излучения космического, околоземного и биосферного пространств играют определённую роль в организации жизненных процессов на Земле, и в ряде случаев выявляется их биологическая значимость. Антропогенные излучения в целом ряде случаев значительно превышают допустимые уровни.

В реальной практике для характеристики электромагнитной обстановки на конкретных рабочих местах при работе с электрическими приборами используют термины «электрическое поле», «магнитное поле», «электромагнитное поле», между которыми существует определённая взаимосвязь.

9.1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

Электромагнитное поле (ЭМП) – это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Представляет собой взаимосвязанные переменные электрическое поле и магнитное поле. Взаимная связь электрического E и магнитного H полей (рис. 9.1) заключается в том, что всякое изменение одного из них приводит к появлению другого: переменное электрическое поле, порождаемое ускоренно движущимися зарядами (источником), возбуждает в смежных областях пространства переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, возбуждает в прилегающих к нему областях пространства переменное электрическое поле, и т.д. Таким образом, электромагнитное поле распространяется от точки к точке пространства в виде электромагнитных волн, бегущих от источника. Электромагнитное поле в вакууме описывается напряжённостью электрического поля E и магнитной индукцией B .

Электромагнитные волны широко используются в радиосвязи, радиолокации, телевидении, медицине, биологии, физике, астрономии и других областях науки и техники.

Радиочастоты и сверхвысокие частоты являются составной частью спектра электромагнитных излучений (ЭМИ) в частотном диапазоне от единиц Гц до 300 ГГц. Основными параметрами ЭМИ являются длина



Рис. 9.1. Электрическое и магнитное поля электромагнитных волн

волны (λ) и частота (f), которая связана с длиной волны обратной зависимостью (для условий распространения волны в воздухе): $f = c/\lambda$, где c – скорость света. Частоты колебаний ЭМИ измеряются в герцах (Гц): 1 килогерц (кГц) = 10^3 Гц, 1 мегагерц (МГц) = 10^6 Гц, 1 гигагерц (ГГц) = 10^9 Гц. Классификация РЧ и СВЧ приведена на рис. 9.2.

Электрическое поле представляет собой частную форму проявления электромагнитного поля. В своём проявлении это силовое поле, основным свойством которого является способность воздействовать на внесённый в него электрический заряд с силой, не зависящей от скорости заряда. Источниками электрического поля могут быть электрические заряды (движущиеся и неподвижные) и изменяющиеся во времени магнитные поля. Основная количественная характеристика электрического поля – напряжённость электрического поля E . Для характеристики величины электрического поля используется понятие «напряжённость электрического поля» E , В/м (вольт на метр).

Электромагнитные излучения промышленных частот подразделяются на отдельные группы (табл. 9.1).

Магнитное поле представляет собой частную форму электромагнитного поля. В своём проявлении это силовое поле, основным свойством которого является способность воздействовать на движущиеся электрические заряды (в том числе на проводники с током), а также на магнитные тела независимо от состояния их движения. Источниками магнитного поля могут быть движущиеся электрические заряды (проводники с током), намагничённые тела и изменяющиеся во времени электрические поля.

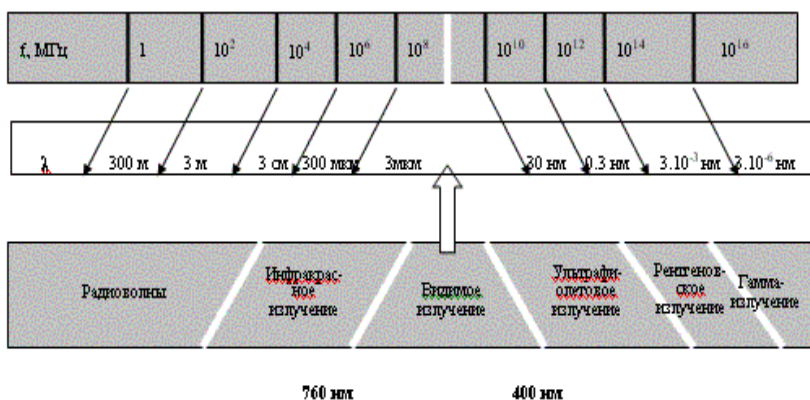


Рис. 9.2. Полный диапазон электромагнитных волн

9.1. Спектр электромагнитных излучений

Частотный диапазон	Частота	Наименование частот		Длина волны	
		международное	принятое в гигиенической практике		
1	>3...30 Гц	КНЧ (крайне низкая частота)	ИЗЧ (инфразвуковая частота)	РЧ (радиочастоты)	$<10^5 \dots 10^4$ км
2	>30...300 Гц	СНЧ (сверхнизкая частота)	ЗЧ (звуковая частота)		$<10^4 \dots 10^3$ км
3	>0,3...3 кГц	ИНЧ (инфранизкая частота)			$<10^3 \dots 10^2$ км
4	>3...30 кГц	ОНЧ (очень низкая частота)			$<100 \dots 10$ км
5	>30...300 кГц	НЧ (низкая частота)	ВЧ (высокая частота)	$<10 \dots 1$ км	
6	>0,3...3 МГц	СЧ (средняя частота)		$<1 \dots 0,1$ км	
7	>3...30 МГц	ВЧ (высокая частота)		$<100 \dots 10$ м	
8	>30...300 МГц	ОВЧ (очень высокая частота)	УВЧ (ультравысокая частота)	$<10 \dots 1$ м	
9	>0,3...3 ГГц	УВЧ (ультравысокая частота)	СВЧ (сверхвысокая частота)	$<1 \dots 0,1$ м	
10	>3...30 ГГц	СВЧ (сверхвысокая частота)		$10 \dots 1$ см	

Электромагнитные излучения промышленной частоты. Основная количественная характеристика магнитного поля

Основная количественная характеристика магнитного поля – *магнитная индукция* B , которая определяет силу, действующую в данной точке поля в вакууме на движущийся электрический заряд и на тела, имеющие магнитный момент.

Величина магнитного поля характеризуется напряжённостью магнитного поля H , А/м (ампер на метр). При измерении сверхнизких и крайне низких частот часто также используется понятие «магнитная индукция» B . Единица измерения Тл (тесла). На практике используют более мелкие единицы измерения напряжённости магнитного поля мкТл (10^{-6} Тл). В материальных средах для магнитного поля вводится дополнительная характеристика – напряжённость магнитного поля H , которая связана с магнитной индукцией соотношением $H = B/\mu$, где μ – магнитная проницаемость среды.

Наиболее распространёнными являются электромагнитные излучения сверхнизкочастотного диапазона (СНЧ) – 50, 60 Гц. Источниками электромагнитных излучений являются токоведущие элементы электрических установок, в частности подводящие электрическую энергию провода. Человек в современных условиях постоянно находится вблизи электрических установок, длительное воздействие электромагнитных полей которых может вызвать нарушение нормального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем. Симптомами этих нарушений являются повышенная утомляемость, снижение качества работы, сильные боли в области сердца, повышение кровяного давления и увеличение пульса. Воздействия электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля на человека являются различными, поэтому для оценки условий работы необходимо учитывать отдельно электрическую и магнитную напряжённость поля. Как правило, влияние напряжённости магнитного поля проявляется при значительных его величинах, и оценку влияния электромагнитного излучения можно производить только по величине электрической напряжённости поля. Однако при работе с достаточно мощными, в том числе и с бытовыми, электрическими приборами необходимо учитывать и магнитную напряжённость электромагнитного поля.

Все бытовые приборы, работающие с использованием электрического тока, являются источниками электромагнитных полей.

На рисунках 9.3 и 9.4 представлены типичные диаграммы электрического и магнитного полей бытовых приборов.

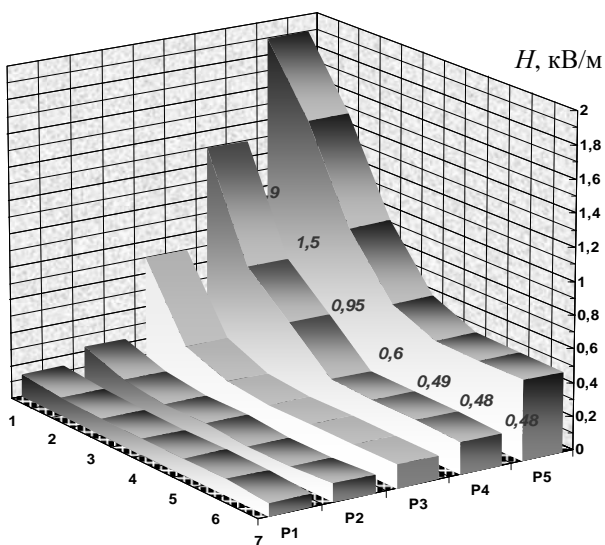


Рис. 9.3. Электрическое поле зарядного устройства сотового телефона

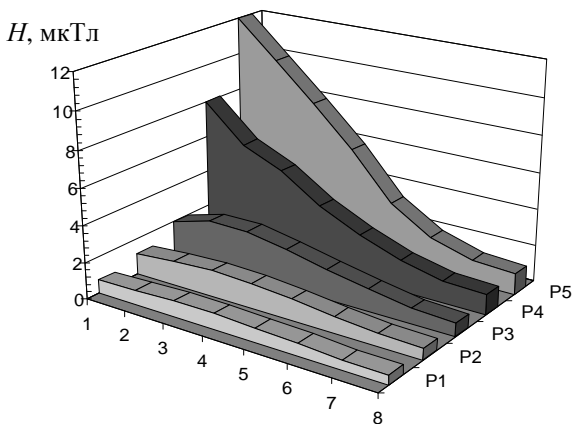


Рис. 9.4. Магнитное поле трансформатора питания зарядного устройства автомобильного аккумулятора

Наиболее мощными следует считать СВЧ-печи, аэрогрили, холодильники с системой «без инея», кухонные вытяжки, электроплиты, телевизоры. Реально создаваемое ЭМП в зависимости от конкретной модели и режима работы может сильно различаться среди оборудования одного типа.

9.2. Распространение магнитного поля промышленной частоты от бытовых электрических приборов (выше уровня 0,2 мкТл)

Источник	Расстояние, на котором фиксируется величина больше 0,2 мкТл
Холодильник, оснащённый системой «No frost» (во время работы компрессора)	1,2 м от дверцы; 1,4 м от задней стенки
Холодильник обычный (во время работы компрессора)	0,1 м от мотора
Утюг (режим нагрева)	0,25 м от ручки
Телевизор	1,1 м от экрана; 1,2 м от боковой стенки
Электрорадиатор	0,3 м
Торшер с двумя лампами по 75 Вт	0,03 м (от провода)
Электродуховка	0,4 м от передней стенки

Все нижеприведённые данные относятся к магнитному полю промышленной частоты 50 Гц. Значения магнитного поля связаны с мощностью прибора – чем она выше, тем выше магнитное поле при его работе. Значения электрического поля промышленной частоты практически всех электробытовых приборов не превышают нескольких десятков В/м на расстоянии 0,5 м, что значительно меньше ПДУ, равного 500 В/м. В таблице 9.2 представлены данные о расстоянии, на котором фиксируется магнитное поле промышленной частоты (50 Гц) величиной 0,2 мкТл при работе ряда бытовых приборов.

В соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями к жилым зданиям и помещениям СанПиН 2.1.2.1002–00 напряжённость поля промышленной частоты не должна превышать 0,5 кВ/м, а магнитная индукция – 10 мкТл. По некоторым зарубежным данным, с учётом жёстких требований магнитная индукция не должна превышать 0,2 мкТл.

Сложные электронные устройства могут излучать электромагнитные излучения сразу в нескольких диапазонах, что требует дифференцированной оценки их опасности. Наиболее типичным представителем таких приборов являются персональные компьютеры с электронно-лучевыми трубками монитора. Основными составляющими частями персонального компьютера являются системный блок (процессор) и разнообразные устройства ввода/вывода информации: кла-

виатура, дисковые накопители, принтер, сканер и т.п. Каждый персональный компьютер включает средство визуального отображения информации, называемое по-разному – монитор, дисплей, главным компонентом которого часто является устройство на основе электронно-лучевой трубки. ПК часто оснащают сетевыми фильтрами (например, типа «Pilot»), источниками бесперебойного питания и другим вспомогательным электрооборудованием. Все эти элементы при работе ПК формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя (табл. 9.3).

Кроме того, на рабочем месте пользователя источниками более мощными, чем компьютер, могут выступать объекты, расположенные рядом: трансформаторные подстанции; распределительные щиты; электропроводка; бытовые и офисные электроприборы (у всех источников первая гармоника – 50 Гц); телевизоры (0...15,6 кГц); соседние ПК (0...1000 МГц) и т.д. При этом общая картина электромагнитного поля на рабочем месте может быть очень сложной (рис. 9.5). Электромагнитные поля могут в локальных точках помещения суммироваться, создавая опасные зоны для человека. Среди наиболее опасных источников, излучающих в помещения, но находящихся вне их, особое место занимают трансформаторные подстанции, распределительные щиты электропитания, кабели электропитания.

9.3. Частотные характеристики электромагнитного излучения ПК

Источник	Диапазон частот (первая гармоника)
Монитор:	
сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20...100 кГц
блок кадровой развёртки и синхронизации	48...160 Гц
блок строчной развёртки и синхронизации	15...110 кГц
ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ)	0 Гц (электростатика)
Системный блок (процессор)	50 Гц...1000 МГц
Устройства ввода/вывода информации	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20...100 кГц

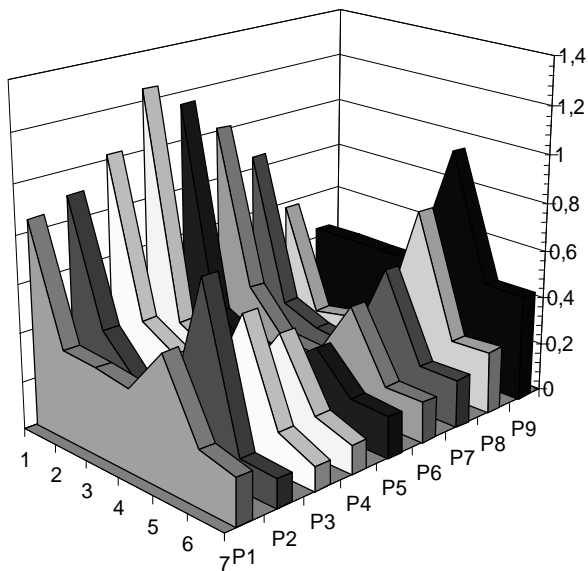


Рис. 9.5. Пример типичного распределения магнитного поля в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц в помещении, оснащённом компьютерами

Наличие их можно в большинстве случаев определить визуально, однако безопасное расстояние можно определить только с помощью специальных приборов.

Типичное безопасное расстояние – 1,5...5 м. Наибольшее влияние на электромагнитную обстановку жилых помещений в диапазоне промышленной частоты 50 Гц оказывает электротехническое оборудование здания, а именно кабельные линии, подводящие электричество ко всем квартирам и другим потребителям системы жизнеобеспечения здания, распределительные щиты и трансформаторы. Наиболее сильным источником излучения является общий силовой кабель подъезда. Пример распределения магнитного поля промышленной частоты в помещении, в котором излучает внешний источник, приведён на рис. 9.6.

Зону для выбора спального места (безопасная зона) необходимо выбирать на расстоянии 3...5 м. В помещениях, смежных с этими источниками, обычно уровень электрического поля промышленной частоты не превышает ПДУ для населения 500 В/м.

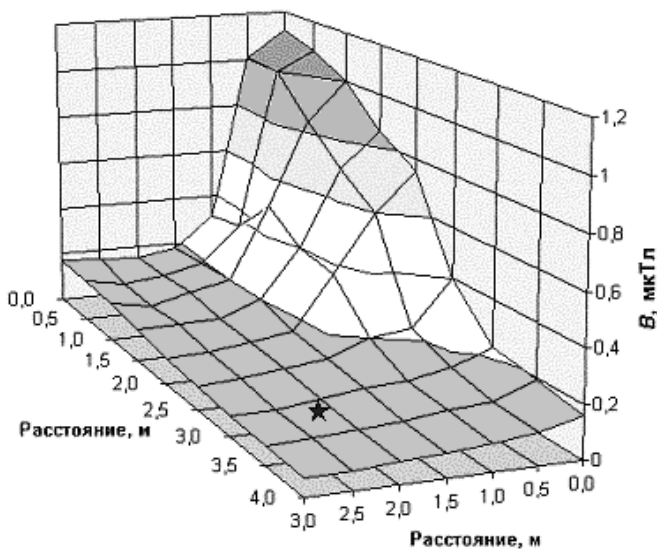


Рис. 9.6. Распределение магнитного поля промышленной частоты в жилом помещении. Источник магнитного поля – распределительный щит электропитания, находящийся в смежном нежилом помещении

Звёздочкой показана зона с безопасным для здоровья уровнем магнитного поля.

9.2. ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Для ослабления электромагнитных полей широко используется принцип экранирования, позволяющий значительно ослабить интенсивность электромагнитных полей за пределами экранирующих устройств. Как правило, для электромагнитных материалов используют металлы: сталь, медь, алюминий, ферриты.

Принцип действия электромагнитного экрана состоит в том, что поток электромагнитной энергии отражается и направляется от защищаемой области пространства.

Количественно эффективность \mathcal{E} электромагнитных экранов характеризуется отношением напряжённости полей в защищаемой области пространства при отсутствии экрана (E_0) и при его наличии E_3 :

$$\mathcal{E} = E_0 / E_3.$$

В общем случае экран кроме ослабления производит также и искажение поля в защищаемой области пространства. Только для экранов простейших форм эффективность экранирования можно определить однозначно. В реальной практике при расчёте сложных экранов прибегают к ряду условностей и допущений.

Эффективность плоского экрана можно определить по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{пл}} = 60\pi\sigma d,$$

где σ – удельная проводимость материала экрана, См/м (сименс на метр); d – толщина материала экрана, м.

В реальной практике достаточно часто экранированные электрические приборы излучают электромагнитные колебания по проводам электропитания. В этом случае прибегают к дополнительному экранированию этих проводов.

Экранирование длинных линий электропитания осуществляется путём заключения их в металлические оболочки – сплошные или изготовленные в виде оплётки.

Эффективность длинного однородного цилиндрического экрана с радиусом R и толщиной стенок d можно определить с достаточной для инженерной практики точностью по формуле

$$\mathcal{E} = 0,16 \mathcal{E}_{\text{пл}}\lambda/R,$$

где $\mathcal{E}_{\text{пл}}$ – эффективность плоского экрана; $\lambda = 3 \cdot 10^8/f$, м; f – частота электромагнитного излучения, Гц; R – радиус цилиндрического экрана, м.

Лекция 10. ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Порядок и правила оказания первой доврачебной помощи пострадавшему при поражении электрическим током должен знать каждый работающий с электроустановками. Она состоит из двух этапов: освобождение пострадавшего от действия тока и оказание ему доврачебной медицинской помощи. В связи с тем, что степень поражения током существенно зависит от длительности протекания тока через человека, очень важно как можно быстрее прекратить действие тока и при необходимости незамедлительно приступить к оказанию медицинской помощи. Это требование относится и к случаю поражения током с явными признаками клинической смерти.

Клиническая смерть – обратимый этап умирания, переходный период между жизнью и смертью. На данном этапе прекращается деятельность сердца и дыхания, полностью исчезают все внешние признаки жизнедеятельности организма. При этом *гипоксия* (кислородное голодание) не вызывает необратимых изменений в наиболее чувствительных к ней органах и системах. Данный период, за исключением редких случаев, в среднем продолжается не более 3–4 мин, максимум 5–6 мин (при исходно пониженной температуре тела).

К признакам клинической смерти относятся: *кома, апноэ, асистолия*. Данная триада касается раннего периода клинической смерти (когда с момента асистолии прошло несколько минут). Чем короче период между началом клинической смерти и началом проведения реанимационных мероприятий, тем больше шансов на жизнь у поражённого.

Кома диагностируется на основании отсутствия сознания и по расширенным зрачкам, не реагирующим на свет.

Апноэ регистрируется визуально, по отсутствию дыхательных движений грудной клетки. Не следует тратить время на прикладывание к носу и рту зеркала, так как неизвестна индивидуальная продолжительность клинической смерти пострадавшего.

Асистолия регистрируется по отсутствию пульса на сонной артерии. На определение пульса на лучевых артериях тратить время также не нужно.

При попадании под действие электрического тока весьма часто оказывается, что человек не может самостоятельно освободиться от действия электрического тока. Освобождение пострадавшего от действия тока можно произвести несколькими способами.

Наиболее надёжный способ освобождения пострадавшего – это снятие напряжения с того участка электрической цепи, в котором произошло включение человека. Например, отключение электроустановок производится с помощью ближайшего рубильника, выключателя, а также путём снятия предохранителей, разделения разъёмов и т.п. Следует помнить, если пострадавший находится даже на небольшой высоте, то необходимо предотвратить его падение при отключении тока.

Если быстрое отключение электроустановки невозможно, то для освобождения пострадавшего от токоведущих частей прибегают к другим способам, при проведении которых необходимо обеспечить собственную безопасность.

При напряжении в сети до 1000 В освобождение поражённого человека от токоведущих частей можно производить удалением провода или оттаскиванием пострадавшего от провода. Отбрасывание провода можно производить любым нетокопроводящим предметом (сухой палкой, доской, изделием из полимерных материалов и т.д.), рукой, обмотанной достаточно толстой (в несколько слоёв) сухой тканью. Оттаскивать пострадавшего можно только за его сухую одежду, избегая прямого контакта с его телом. При отсутствии такой возможности руки освобождающего необходимо надёжно защитить от возможного действия электрического тока.

Если пострадавший сжимает рукой провод, находящийся под напряжением, то для освобождения его от действия тока можно разжать его руку, отгибая каждый палец в отдельности. Для этого оказывающий помощь должен иметь на руках специальные диэлектрические перчатки и стоять на надёжном нетокопроводящем основании. Одним из эффективных приёмов по прекращению протекания тока через пострадавшего является его изоляция от земли подкладкой изоляционных материалов (лист фанеры, линолеум, толстый брезент и т.п.). При возможности можно перерубить или перерезать провода топором с сухой ручкой или инструментом с изолированными рукоятками.

Высоковольтные установки представляют гораздо большую опасность, и освобождение пострадавшего можно производить только отключением электроустановки или применением основных изолирующих средств для сетей выше 1000 В (изолирующие штанги, изолирующие клещи) при обязательном использовании дополнительных защитных средств (диэлектрические перчатки, резиновые боты или галоши).

После прекращения действия тока пострадавшего укладывают на спину и незамедлительно проверяют наличие дыхания и сердечных сокращений.

Нарушенное дыхание характеризуется нечёткими или неритмичными подъёмами грудной клетки или отсутствием видимых дыхательных движений грудной клетки. Все эти случаи расстройства дыхания приводят к тому, что кровь в лёгких недостаточно насыщается кислородом, наступает кислородное голодание тканей.

Поэтому в этих случаях экстренно проводят искусственное дыхание.

Наличие сердечных сокращений свидетельствует о работе сердца, что определяется путём выслушивания сердечных тонов, приложив ухо к левой половине груди пострадавшего, или проверкой

пульса на крупных артериях, где он более выражен (как правило, на сонной артерии).

Проверка состояния пострадавшего должна производиться в течение 15...20 с.

Следует помнить, что отрицательное воздействие электрического тока на человека может сказаться не сразу, а спустя некоторое время (через несколько минут и даже часов).

Меры доврачебной помощи выбирают и оказывают по состоянию пострадавшего:

– если пострадавший в сознании, с устойчивым дыханием и пульсом, его необходимо уложить на подстилку, расстегнуть одежду, стесняющую дыхание, дать приток свежего воздуха, согреть при охлаждении и обеспечить прохладу в жару;

– если пострадавший находится в бессознательном состоянии при наличии дыхания и пульса, нужно наблюдать за его дыханием и приступить к приведению его в сознание доступными средствами и методами (нашатырной спирит, сбрызгивание лица холодной водой, согревание и растирание тела);

– если у пострадавшего отсутствуют дыхание и пульс, то немедленно нужно приступить к его оживлению путём искусственного дыхания и наружного (непрямого) массажа сердца;

– если пострадавший дышит редко и судорожно, но у него прощупывается пульс, начать делать искусственное дыхание.

Во всех случаях поражения человека током необходимо, не прерывая оказания ему первой помощи, вызвать врача и при необходимости оказать помощь по доставке в лечебное учреждение. Никогда не следует отказываться от оказания помощи пострадавшему и считать его мёртвым из-за отсутствия дыхания, сердцебиения и других признаков жизни. Доврачебная помощь пострадавшему от электрического тока должна оказываться в соответствии с «Межотраслевой инструкцией по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве» (РД 153-34.0-03.702-99) [5]. Известно много случаев оживления людей, поражённых током, после нескольких часов, в течение которых *непрерывно* выполнялись искусственное дыхание и массаж сердца. Длительное отсутствие пульса при появлении дыхания и других признаков оживления организма указывает на *фибрилляцию* сердца.

В этом случае необходимо произвести дефибрилляцию путём непрямого массажа сердца.

Рекомендуемый порядок проведения непрямого массажа сердца [5]:

1. **УБЕДИТЬСЯ** в отсутствии пульса на сонной артерии. **НЕЛЬЗЯ** терять время на определение признаков дыхания!

2. **ОСВОБОДИТЬ** грудную клетку от одежды и расстегнуть поясной ремень. **НЕЛЬЗЯ** наносить удар по груди и проводить не прямой массаж сердца, не освободив грудную клетку и не расстегнув поясной ремень!

3. **ПРИКРЫТЬ** двумя пальцами мечевидный отросток. **НЕЛЬЗЯ** наносить удар по мечевидному отростку или в область ключиц!

4. **НАНЕСТИ** удар кулаком по груди. **НЕЛЬЗЯ** наносить удар при наличии пульса на сонной артерии!

5. **НАЧАТЬ** не прямой массаж сердца. Глубина продавливания грудной клетки должна быть не менее 3–4 см. **НЕЛЬЗЯ** располагать ладонь на груди так, чтобы большой палец был направлен на спасателя!

6. **СДЕЛАТЬ** «вдох» искусственного дыхания. Зажать нос, захватить подбородок, запрокинуть голову пострадавшего и сделать максимальный выдох ему в рот. **НЕЛЬЗЯ** делать «вдох» искусственного дыхания, не зажав предварительно нос пострадавшего!

7. **ВЫПОЛНЯТЬ** комплекс реанимации. При сужении зрачков, но отсутствии сердцебиения реанимацию нужно проводить до прибытия медперсонала:

- если оказывает помощь один спасатель, то 2 «вдоха» искусственного дыхания делают после 15 надавливаний на грудину;

- если оказывает помощь группа спасателей, то 2 «вдоха» искусственного дыхания делают после 5 надавливаний на грудину;

- для быстрого возврата крови к сердцу – приподнять ноги пострадавшего;

- для сохранения жизни головного мозга – приложить холод к голове.

После восстановления сердечной деятельности массаж сердца прекращается, при слабом дыхании продолжается проведение искусственного дыхания до восстановления полноценного дыхания. Искусственное дыхание и наружный массаж сердца следует проводить до появления самостоятельного дыхания и восстановления деятельности сердца или до передачи пострадавшего медицинскому персоналу.

В медицинских учреждениях дефибрилляция эффективно проводится путём кратковременного воздействия большого тока на сердце пострадавшего. В результате происходит одновременное сокращение всех волокон сердечной мышцы, которые до того сокращались хао-

точно. После этого могут восстановиться естественные сокращения сердца. Дефибрилляция производится с помощью специального прибора – дефибриллятора, основной частью которого является конденсатор значительной ёмкости с рабочим напряжением 6 кВ. Ток разрядки конденсатора при длительности 10 мкс достигает 15...20 А. Электрическую дефибрилляцию сердца может производить только квалифицированный врач.

Делая искусственное дыхание способом «изо рта в рот», оказывающий помощь располагается сбоку от головы пострадавшего, одну руку подсовывает под его шею, а ладонью другой руки надавливает на лоб, максимально запрокидывая голову. При этом корень языка поднимается и освобождает вход в гортань, а рот пострадавшего открывается.

Оказывающий помощь наклоняется к лицу пострадавшего, делает глубокий вдох открытым ртом, затем полностью плотно охватывает губами открытый рот пострадавшего и делает энергичный выдох; одновременно закрывает нос пострадавшего щекой или пальцами руки, находящейся на лбу. Как только грудная клетка пострадавшего поднялась, нагнетание воздуха приостанавливают, оказывающий помощь приподнимает свою голову, происходит пассивный выдох у пострадавшего. Для того чтобы выдох был более глубоким, можно несильным нажатием руки на грудную клетку помочь воздуху выйти из лёгких пострадавшего.

Если у пострадавшего хорошо определяется пульс и необходимо проводить только искусственное дыхание, то интервал между вдохами должен составлять 5 с, что соответствует частоте дыхания 12 раз в минуту. Если рот пострадавшего открыть не удастся, следует проводить искусственное дыхание способом «изо рта в нос».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Виды электрического тока. Особенности их воздействия на человека.
2. Почему электрический ток представляет опасность для человека?
3. Перечислите основные виды воздействия электрического тока на организм человека. Какое из них является наиболее опасным?
4. Какой ток – переменный или постоянный – наиболее опасен для человека?
5. Укажите необходимые условия протекания тока через человека.

6. Что означает понятие «пороговый неотпускающий ток»?
7. Укажите величину допустимого тока для человека. Чем обоснована его величина?
8. Классификация помещений по степени опасности поражения работающих электрическим током.
9. С какой целью все помещения классифицируют по степени опасности поражения работающих электрическим током? Укажите наиболее опасные помещения в учебных корпусах.
10. Какой способ защиты человека от поражения электрическим током является самым надёжным, обеспечивающим полную гарантию безопасности?
11. Что означает понятие «напряжение прикосновения»?
12. Требования, предъявляемые к изоляции токопроводящих частей электрооборудования.
13. В Вашем доме произошла сильная утечка воды, затрагивающая, в частности, скрытую электропроводку в Вашей квартире. Поясните опасность ситуации, укажите свои действия.
14. Поясните, в чём проявляется опасность электролитического воздействия электрического тока на человека.
15. Перечислите основные факторы, определяющие исход поражения человека электрическим током.
16. Из каких составляющих складывается электрическое сопротивление человека?
17. Поясните, является ли кожа надёжным защитным средством от поражения человека электрическим током.
18. Как отличаются электрические сопротивления больного и здорового человека, бодрого и утомлённого, в трезвом и опьянённом состояниях?
19. Какую опасность представляет при работе с электрическими приборами заземлённое (неэлектрическое) оборудование, например батареи центрального отопления, водопровод и т.п.?
20. Что означает термин «помещения с повышенной опасностью поражения электрическим током»? Укажите основные признаки этих помещений, приведите пример таких помещений, имеющихся в Вашей квартире.
21. Опасность трёхфазной электрической сети с изолированной нейтралью.
22. Опасность трёхфазной электрической сети с заземлённой нейтралью.

23. Какие виды опасности представляют повреждённые электрические приборы (произошёл пробой изоляции, и на корпусе прибора появляется напряжение), изолированные от земли?

24. Перечислите основные способы защиты человека от поражения электрическим током. Поясните, что означает термин «двойная изоляция». Приведите примеры приборов, имеющих двойную изоляцию.

25. Зависимость величины допустимого тока через человека от времени протекания тока.

26. Шаговое напряжение. Причины возникновения. Опасность для человека.

27. Основные способы защиты человека от поражения электрическим током. Защитное заземление.

28. Основные способы защиты человека от поражения электрическим током. Зануление.

29. Основные способы защиты человека от поражения электрическим током. Защитное отключение.

30. Какую опасность представляет оборванный электрический провод, лежащий на земле и находящийся под напряжением?

31. Пониженное напряжение.

32. Какой фактор, определяющий исход поражения человека электрическим током, является определяющим?

33. Чем отличается фазный провод от нулевого?

34. Составляющие электрического сопротивления человека.

35. Определите шаговое напряжение для человека, находящегося в зоне растекания тока от трёх одиночных электродов. Человек касается грунта в точках A и B .

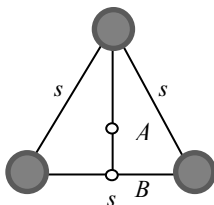
Токи, стекающие в землю: $I_1 = 20$ А; $I_2 = 20$ А; $I_3 = 10$ А.

Удельное сопротивление грунта $\rho = 200$ Ом·м.

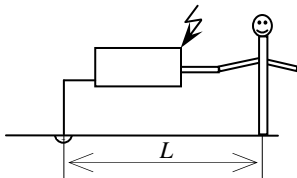
Радиусы полушаровых электродов: $r_1 = 10$ см; $r_2 = 10$ см; $r_3 = 20$ см.

Расстояние между электродами $s = 3$ м.

Расстояние между A и B составляет 0,8 м.



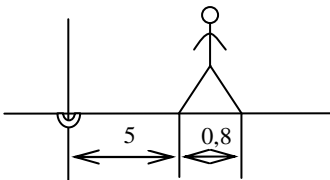
36. Определите напряжение прикосновения для человека, касающегося корпуса электрооборудования деревянным бруском. Удельное погонное сопротивление бруска $10\ 500\ \text{Ом/м}$; длина бруска $2\ \text{м}$. Корпус заземлён полушаровым заземлителем радиусом $r = 25\ \text{см}$. Удельное сопротивление грунта составляет $40\ \text{Ом}\cdot\text{м}$; ток замыкания равен $25\ \text{А}$; $L = 4\ \text{м}$.



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

38. Определите сопротивление группового заземлителя, состоящего из 17 одинаковых электродов, если сопротивление одного заземлителя равно $41\ \text{Ом}$, а коэффициенты использования для 10 и 20 электродов равны $0,81$ и $0,65$ соответственно.

39. Определите напряжение шага, если потенциал заземлителя равен $14\ \text{В}$, радиус полушарового заземлителя – $22\ \text{см}$.



40. Определите шаговое напряжение для человека, находящегося в зоне растекания тока от трёх одиночных заземлителей. Человек касается грунта в точках A и B .

Токи, стекающие в землю: $I_1 = 25\ \text{А}$; $I_2 = 35\ \text{А}$; $I_3 = 45\ \text{А}$.

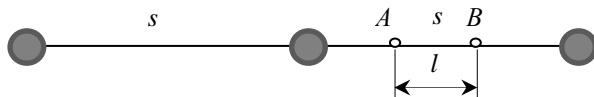
Удельное сопротивление грунта $\rho = 200\ \text{Ом}\cdot\text{м}$.

Радиусы полушаровых электродов: $r_1 = 20\ \text{см}$; $r_2 = 20\ \text{см}$; $r_3 = 20\ \text{см}$.

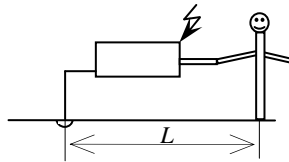
Расстояние между электродами $s = 3\ \text{м}$.

Расстояние $l = 1\ \text{м}$.

Расстояние между A и B составляет $0,8\ \text{м}$.

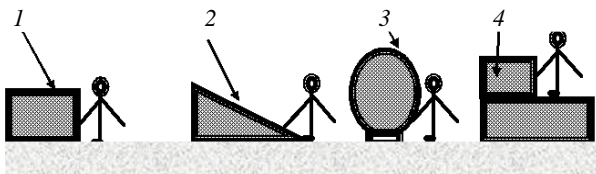


41. Определите напряжение прикосновения для человека, касающегося корпуса электрооборудования деревянным бруском. Удельное сопротивление дерева 10^4 Ом·м; длина бруска 1,5 м, сечение $0,08 \times 0,08$ м. Корпус заземлён полушаровым заземлителем радиусом $r = 15$ см. Удельное сопротивление грунта составляет 160 Ом·м; ток замыкания равен 30 А; $L = 5$ м.



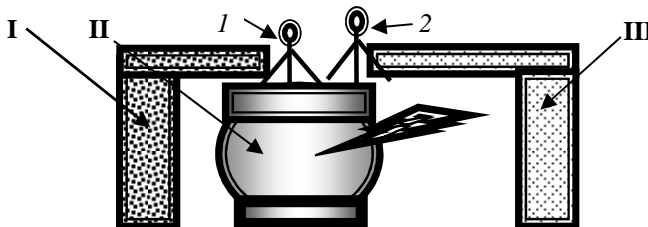
42. Оцените опасность работы на оборудовании изображённых форм при возможном пробое изоляции и появлении напряжения относительно земли на корпусе устройства. Покажите графически разность потенциалов, приложенную к каждому работающему. Выявите наиболее опасную в этом отношении форму устройства.

Все установки имеют металлический корпус и контактируют с грунтом всем своим основанием. Проводимость грунта принять одинаковой во всех случаях.



43. Оцените опасность работы на оборудовании изображённых форм при возможном пробое изоляции и появлении напряжения относительно земли на корпусе II устройства. Покажите графически разность потенциалов, приложенную к каждому работающему.

Все установки имеют металлический корпус и контактируют с грунтом всем своим основанием. Проводимость грунта принять одинаковой во всех случаях.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный уровень технического прогресса невозможен без широкого внедрения электрооборудования, что в свою очередь вызывает необходимость постоянного совершенствования требований к его безопасному обслуживанию и использованию средств защиты.

Значительную роль в рациональном и безопасном использовании коллективных и личных способов и средств, обеспечивающих электробезопасность, играет уровень подготовки каждого специалиста, в той или иной степени соприкасающегося с электрооборудованием.

В связи с высокой опасностью поражения работающих электрическим током необходимо так организовать эксплуатацию электроустановок, чтобы исключить всякую возможность ошибок со стороны обслуживающего персонала. Каждый работающий обязан знать Правила охраны труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПТБ) и Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭ). Высокая техническая грамотность обслуживающего персонала, а также строгое соблюдение дисциплины, выполнение требований по технике безопасности являются основой организации безопасной эксплуатации электроустановок.

Не следует также забывать, что в домашней обстановке, в окружении привычных вещей мы порой легкомысленно забываем об опасности электрооборудования. А ведь последствия неправильного или неосторожного обращения с электроприборами могут быть весьма серьёзными. Причины несчастных случаев с электричеством в быту остаются практически неизменными на протяжении десятилетий – это нарушение правил эксплуатации или использование неисправных электроприборов, неосторожность и невнимательность при обращении с электричеством, попытки самостоятельной разборки и ремонта электроприборов. Казалось бы, об этих причинах знают и помнят все, но привычка регулярного пользования электрическими приборами ослабляет чувство осторожности.

Сегодня в каждом доме эксплуатируется предостаточное количество самых разнообразных электрических устройств, и зачастую возникает обманчивое ощущение обыденного, не опасного. Оно возникает потому, что использование электроустановок осуществляется в большинстве случаев людьми, недостаточно чётко представляющими причины и последствия поражения электрическим током, возникающего вследствие нарушения определённых правил. Чтобы избежать этих неприятностей, желательно знать некоторые, самые элементар-

ные положения и правила устройства, монтажа и безопасной эксплуатации электроустановок. Необходимо всегда помнить, что неисправное состояние электрооборудования, неумелое с ним обращение, несоблюдение специальных мер предосторожности может привести к пожару или поражению электрическим током.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манойлов, В.Е. Основы электробезопасности / В.Е. Манойлов. – Л. : Энергия, 1976.
2. Овчаренко, А.Г. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок : учебное пособие / А.Г. Овчаренко, С.Л. Раско ; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2008. – 111 с.
3. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
4. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М., 2000.
5. РД 153-34.0-03.702–99. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве.
6. ГОСТ Р 50807–95 (МЭК 755–83). Устройства защитные, управляемые дифференциальным током.
7. Хомяков, А.М. Средства защиты работающих, применяемые в электроустановках / А. М. Хомяков. – М., 1981.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лекция 1. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	4
Лекция 2. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЧЕЛОВЕКА	5
Лекция 3. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИСХОД ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ	7
Лекция 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ	12
Лекция 5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И ИХ ОПАСНОСТЬ	14
Лекция 6. ОПАСНОСТЬ ЗАМЫКАНИЯ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ЗЕМЛЮ	20
Лекция 7. ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ	24
7.1. Изоляция токоведущих частей электрооборудования	24
7.2. Применение безопасных напряжений	25
7.3. Электрическое разделение сетей	26
7.4. Защитное заземление	27
7.5. Зануление	36
7.6. Защитное отключение	41
7.7. Выравнивание потенциалов	47

Лекция 8. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ	48
Лекция 9. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ	56
9.1. Электромагнитные поля	57
9.2. Экранирование электромагнитных полей	65
Лекция 10. ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ	66
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	77

Учебное издание

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Часть 3

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Курс лекций

Авторский коллектив:

ДМИТРИЕВ Вячеслав Михайлович,
ЕГОРОВ Василий Фёдорович,
ОДНОЛЬКО Валерий Григорьевич,
СЕРГЕЕВА Елена Анатольевна,
ХАРКЕВИЧ Лев Антонович

Редактор Е.С. Кузнецова

Инженер по компьютерному макетированию И.В. Евсева

Подписано в печать 02.10.2012.

Формат 60×84 /16. 5,0 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 509

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14