

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технический институт

Кафедра техносферной безопасности

**БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

Для всех специальностей

Череповец
2012

Рассмотрено на заседании кафедры техносферной безопасности, протокол № 3 от 26.10.11.

Одобрено редакционно-издательской комиссией Инженерно-технического института ЧГУ, протокол № 3 от 15.03.11.

В данном учебно-методическом пособии приведены методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» (тема «Электробезопасность»). Даны описания используемых установок и порядок работы на них, вопросы к допуску; приведены перечень теоретических вопросов и задачи, используемые при защите лабораторных работ.

В пособие также включены теоретические сведения, необходимые как для выполнения лабораторных работ, так и для решения задач по изучаемой теме, что способствует самостоятельному изучению и практическому освоению данной дисциплины.

Теоретические вопросы и задачи составлены с учетом требований, предъявляемых к подготовке дипломированных специалистов по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД).

Пособие может быть полезным студентам при выполнении раздела БЖД в дипломных проектах (работах).

Составители: *Т.В. Лаврищева* – канд. техн. наук, доцент; *Е.А. Шестакова* – канд. техн. наук, доцент; *В.В. Ермилов* – канд. техн. наук, доцент; *А.О. Кочнев* – канд. пед. наук, доцент

Рецензенты: *Н.Н. Сеницын* – д-р техн. наук, профессор (ЧГУ); *З.К. Кабаков* – д-р техн. наук, профессор (ЧГУ)

Научный редактор: *Н.Н. Сеницын* – д-р техн. наук, профессор (ЧГУ)

© Лаврищева Т.В., Шестакова Е.А.,
Ермилов В.В., Кочнев А.О., 2012
© ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», 2012

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия – самая универсальная и удобная для использования форма энергии. Без электроэнергии немислима культурная жизнь человека. Электричество – наш верный помощник в труде и в быту, но оно становится опасным для жизни человека, если с ним неправильно и небрежно обращаться.

Рост потребления электроэнергии в промышленном производстве, сельском хозяйстве и быту связан с постоянным ростом электровооруженности труда, с широким использованием ее в технологических процессах, с вовлечением большого количества людей в работу по обслуживанию электротехнических установок. Поэтому большое значение придается вопросам электробезопасности.

В связи с этим возрастает и опасность поражения электрическим током. В домашнем обиходе находит применение большое количество электрических приборов и аппаратов (стиральные машины, пылесосы, плитки, утюги), пользование которыми требует знания определенных правил.

При прохождении через тело человека электрический ток может вызвать ожоги, обморок, судороги, прекращение дыхания и даже смерть.

Во избежание несчастных случаев от поражения электрическим током необходимо:

- четко представлять опасность действия электрического тока на организм человека и основные причины электротравм;
- выполнять основные правила безопасного пользования электроэнергией и способы защиты от поражения током;
- знать правила оказания первой доврачебной помощи.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Действие электрического тока на организм человека

Поражение электрическим током относится к необычному виду травматизма, которому присущи следующие особенности.

Организм человека без специальных приборов не может почувствовать, находится ли данная часть установки под напряжением, до тех пор, пока электрическая энергия не превратится в энергию другого вида (например, в световую – искрение) или пока сам человек не попадет под напряжение. Электрический ток не имеет запаха, цвета и действует бесшумно. Неспособность организма человека обнаруживать электрический ток до начала его действия приводит к тому, что работающие часто не осознают реально имеющейся опасности и не принимают своевременно необходимых защитных мер.

Электротравмы можно получить не только при прикосновении или недопустимом приближении к металлическим частям электроустановки, находящимися под напряжением или оказавшимися под ним в результате повреждения изоляции, но и при перемещении вблизи мест повреждения электрической изоляции или мест замыкания токоведущих частей на землях. Такое поражение вызывается так называемым шаговым напряжением.

Ток действует не только в местах контакта, но и на всем пути прохождения через организм человека. Поражения электрическим током значительно чаще, чем другие несчастные случаи, заканчиваются смертельным исходом. Кроме того, электротравмы, закончившиеся сравнительно благополучно, могут отразиться на здоровье пострадавшего в дальнейшем.

Различают следующие виды поражения электрическим током.

Электрические ожоги – наиболее распространенная электрическая травма, являющаяся следствием теплового воздействия тока и образования электрической дуги.

Ожоги бывают трех видов:

– *токовый (контактный)*, возникающий при прохождении тока через тело человека при его контакте с токоведущей частью;

– *дуговой*, являющийся результатом воздействия на тело электрической дуги, образовавшейся между токоведущими частями, без прохождения его через тело человека;

– *смешанный*, вызванный одновременным действием электрической дуги и током, проходящим через тело человека. В этом наиболее тяжелом случае поражения дуга образуется между токоведущей частью и самим человеком.

Электрические знаки или отметки тока представляют собой специфические поражения поверхности кожи человека, подвергнувшегося действию тока. Они, как правило, безболезненны, однако глубокое поражение большого участка живой ткани может привести к нарушению функций пораженного органа.

Электрометаллизация кожи – пропитывание кожи мельчайшими частицами металла в местах соприкосновения человека с токоведущими частями. Цвет кожи при металлизации зависит от свойств внедрившегося металла.

Механические повреждения – следствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, которые могут привести к разрывам кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани.

Электроофтальмия – поражение глаз, вызванное интенсивным излучением электрической дуги, в спектре которой имеются вредные для глаз ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Кроме того, не исключено попадание в глаза брызг расплавленного металла.

Электрический удар – возбуждение живых тканей электрическим током, проходящим через организм, сопровождающееся судорожными сокращениями мышц. Электрический удар представляет наибольшую опасность, так как приводит к нарушению и полному прекращению деятельности жизненно важных центров: легких и сердца.

Наиболее опасным является прекращение сердечной деятельности как следствие воздействия тока на мышцу сердца.

Электрический шок представляет собой тяжелую нервно-рефлекторную реакцию организма на сильное раздражение электрическим током и характеризуется серьезными расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ и др.

Факторы, определяющие опасность поражения электрическим током. Опасность воздействия электрического тока на организм человека зависит от электрического сопротивления тела, значения силы тока, длительности воздействия, путей прохождения, рода и частоты тока, индивидуальных свойств человека и некоторых других факторов.

Электрическое сопротивление тела человека. Тело человека является проводником электрического тока. Оно неоднородно по электрическому сопротивлению (кожа, кости, жировые ткани имеют большее сопротивление, чем кровь, спинной и головной мозг, мышечная ткань). Кожа обладает наибольшим удельным сопротивлением, определяющим сопротивление всего тела человека.

Сопротивление тела человека при сухой, чистой и неповрежденной коже (измеренное при напряжении 15 – 20 В) колеблется от 3 до 100 кОм, а при удалении от верхнего слоя кожи падает до 0,5–1 кОм.

В качестве расчетной величины при переменном токе промышленной частоты учитывают активное сопротивление тела человека, которое принимают равным 1 кОм. В действительных условиях сопротивление тела одного и того же человека не является постоянной величиной. Оно будет изменяться в зависимости от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов, состояния окружающей среды и др.

Сопротивление тела человека зависит от состояния кожи. Так, различные повреждения верхнего слоя кожи (порезы, царапины, ссадины) резко снижают общее сопротивление тела человека. Такое же воздействие оказывает увлажнение кожи водой или потом, а также загрязнение различными веществами, хорошо проводящими ток (большинство химических веществ, металлическая или угольная пыль и др.).

На сопротивление тела оказывает влияние площадь и место контактов. Наименьшим сопротивлением обладает кожа лица, шеи, рук на участке выше ладоней и тыльной стороны ладони. Загрубевшая и мозолистая кожа ладоней и подошв превышает сопротивление других участков тела.

Чем меньше сопротивление кожи тела в целом, тем большей силы ток проходит через организм человека и тем опаснее исход поражения.

Сила электрического тока, проходящего через тело человека, является основным фактором, определяющим исход поражения.

Человек ощущает действие переменного тока промышленной частоты при его величине около 1 мА. При такой силе тока появляется раздражение чувствительных нервных окончаний в местах прикосновения к токоведущей части.

При силе тока 8 – 10 мА раздражение распространяется более глубоко, но человек может самостоятельно освободиться от действия тока; при силе тока 10 – 15 мА возникает локальная судорога и человек не может разжать пальцы руки, в которой зажата токоведущая часть.

При силе тока 25 – 60 мА и частоте 50 Гц, помимо судорожного сокращения мышц конечностей, возникают судороги дыхательных мышц, в результате которых может наступить смерть от удушья.

Сила тока 100 мА и более считается смертельной. При такой силе тока и частоте 50 – 60 Гц происходит беспорядочное сокращение сердечных мышц (фибрилляция сердца). Кратковременное (до 1 – 2 с) действие больших токов (более 5 А) не вызывает фибрилляции сердца. При этой силе тока сердечная мышца резко сокращается и остается в таком состоянии до отключения тока, после чего продолжает работать. Следует иметь в виду, что указанные величины справедливы при длительном воздействии тока. В настоящее время при кратковременном воздействии установлены следующие допустимые значения тока (мА) при продолжительности воздействия: 30 с – 6; 1 с – 65; 0,7 с – 75; 0,5 с – 100; 0,2 с – 250.

Эти значения не являются абсолютно безопасными, так как «безопасных токов» практически нет, но могут быть приняты в качестве допустимых с достаточно малой вероятностью поражения. Чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного поражения.

Род, частота и путь тока. Наибольшую опасность для человека представляет переменный ток. Опасность его действия сохраняется

до частоты 1 кГц. При дальнейшем ее повышении опасность поражения уменьшается и полностью исчезает при частоте около 50 кГц.

Постоянный ток в 4–5 раз безопаснее переменного с частотой 50 Гц. Так, если значение неотпускающего переменного тока составляет 10 – 15 мА, то постоянного тока 50 – 80 мА. Менее опасен постоянный ток напряжением 250 – 300 В, а при увеличении напряжения его опасность увеличивается.

На исход поражения влияет также путь тока. Наиболее опасны пути через жизненно важные центры (сердце, голова, спинной мозг, органы дыхания), т. е. «рука-ноги» или «рука-рука». Опасность поражения в значительной степени зависит от индивидуальных свойств человека. Здоровые и физически крепкие люди легче переносят действие электрического тока, чем лица, страдающие различными заболеваниями.

Особенно часто подвергаются действию электрического тока лица, находящиеся в состоянии алкогольного опьянения. Это случается вследствие возможных ошибочных и неосторожных действий при работе в электроустановках, а также понижения электрического сопротивления тела человека.

2. Особенности электробезопасности на промышленных предприятиях

Промышленные предприятия связаны с химически активной и взрывоопасной средой, они являются наиболее опасными в части поражения электрическим током.

Химически активная среда большинства производств влияет на снижение сопротивления электрической изоляции, приводит к ее преждевременному разрушению и пробоям. Случайное прикосновение человека к оборудованию, оказавшемуся под напряжением, опасно своими последствиями. Это обстоятельство усугубляется и тем, что полы цехов в процессе производства могут быть залиты электропроводящими жидкостями. Люди, обслуживающие это оборудование, также находятся в неблагоприятных условиях. Присутствие в воздухе помещений ряда производств химически активных и

токсичных газов, попадающих в организм человека, способствует снижению электрического сопротивления его тела. Во влажных и сырых помещениях происходит увлажнение кожи, что в значительной степени снижает ее сопротивление. Влага, попавшая на кожу, растворяет находящиеся на ней минеральные вещества и жирные кислоты, выведенные из организма вместе с потом и кожным салом, и кожа становится более электропроводной.

При работе в помещениях с высокой температурой окружающей среды происходит нагрев кожи, который сопровождается усиленным потовыделением. Пот, в составе которого находятся минеральные соли и продукты обмена веществ, является хорошим проводником электрического тока. Работа в условиях, вызывающих усиленное потовыделение, усугубляет опасность воздействия электрического тока на организм человека. Сопротивление тела человека в этих условиях значительно уменьшается. Его значение зависит как от продолжительности пребывания в среде с повышенной температурой, так и от температуры среды и интенсивности тепловых нагрузок.

В ряде случаев в химических производствах загрязнение кожи различными веществами, хорошо проводящими электрический ток, приводит к снижению ее сопротивления. Работники таких производств подвергаются большей опасности поражения электрическим током.

В отдельных производственных помещениях возникают шум и вибрации, отрицательно действующие на весь организм человека и приводящие к повышению кровяного давления, нарушению ритма дыхания. Эти факторы, а также недостаточность освещения химических производств вызывают замедление психических реакций, понижают внимание, что ведет к допущению ошибок в действиях персонала, к авариям, несчастным случаям, в том числе и к электротравмам.

Состояние окружающей воздушной среды, а также обстановка на рабочем месте могут усиливать или ослаблять опасность поражения током.

Производственные помещения, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), делятся на три группы.

1. Помещения с повышенной опасностью поражения электрическим током, характеризующиеся следующими признаками:

- сырость (помещения с относительной влажностью, длительно превышающей 75 %, или содержащие технологическую токопроводящую пыль, которая оседает на проводах, проникает внутрь машины др.). К таким помещениям, например в производстве хлора, относятся склад соли, водородное отделение, отделение очистки, охлаждения, сушки и перекачки хлора. Помещения производства серной кислоты или гранулированного суперфосфата также относят к этой группе, поскольку они характеризуются повышенным содержанием пыли;

- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и др.). Подавляющее большинство покрытий полов помещений химических производств является токопроводящим;

- температура воздуха, длительно превышающая 30 °С;

- возможность одновременного прикосновения человека к заземленным металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и к металлическим корпусам электрооборудования. Следует отметить, что лишь для немногих служебных помещений такая возможность исключается.

2. Особо опасные помещения, характеризующиеся следующими признаками:

- особая сырость (помещения с относительной влажностью воздуха, близкой к 100 %). К ним относятся, например, дегазационные установки;

- химически активная среда. К помещениям с химически активной средой относят те, в которых по условиям производства содержатся пары или образуются отложения, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования. К помещениям с химически активной средой относятся прежде всего печные, насосно-холодильные, промывочные, сушильно-абсорбционные, контактно-компрессорные отделения, склады кислот, а также помещения ряда производств химических волокон;

- наличие одновременно двух или более признаков повышенной опасности. Для значительного числа помещений химических производств такое сочетание весьма характерно.

3. Помещения без повышенной опасности, характеризующиеся отсутствием признаков повышенной и особой опасности. Таких помещений (за исключением некоторых конторских и вспомогательных помещений) на предприятиях химической промышленности практически нет.

Согласно приведенной классификации помещений по опасности поражения электрическим током, большинство из них можно отнести к особо опасным.

3. Основные причины электротравматизма

Все причины несчастных случаев, связанные с поражением электрическим током в химической промышленности, можно было бы условно разделить на следующие группы:

- случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Эти случаи происходили в результате ошибочных действий при выполнении работ вблизи или непосредственно на частях, находящихся под напряжением; неисправности защитных средств, посредством которых пострадавший прикасался к токоведущим частям; отсутствие четкой и правильной маркировки электрооборудования; самовольное снятие ограждений, блокировок и их шунтирование;

- появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования (корпусах, кожухах), которые не должны находиться под напряжением. Напряжение на этих частях образуется в результате повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (механическое воздействие, электрический пробой, естественное старение и др.), падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования, замыкания фаз сети на землю;

- появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых проводится работа, в результате ошибочного включения установки под напряжение или вследствие обратной трансформации;

- возникновение шагового напряжения на участке земли, где находится человек. Шаговое напряжение может возникнуть в резуль-

тате замыкания фазы на землю, выноса потенциала различными протяженными электропроводящими предметами.

К другим причинам следует отнести различные недостатки организационно-технического характера, связанные с организацией эксплуатации, работой с персоналом, обеспечением необходимыми защитными средствами.

4. Технические защитные меры

Для защиты от поражения электрическим током применяются следующие технические меры электробезопасности.

Заземление. Суть заземления заключается в том, что все металлические корпуса электроприемников, металлические конструкции и другие металлические электропроводящие предметы, на которых может оказаться напряжение из-за повреждения изоляции должны быть заземлены через малое сопротивление. Это сопротивление должно быть во много раз меньше, чем сопротивление тела человека. В случае замыкания на корпус, основная часть тока будет проходить через землю, а ток, проходящий через человека, будет безопасным.

Заземление частей электроустановок осуществляется при помощи заземлителей и заземляющих проводников. В качестве заземлителей используются различные металлические проводники (уголки, стержни, полосы), находящиеся в непосредственном соединении с землей.

Защитное заземление применяется в трехпроводных сетях напряжением до 1, 6, 10, 35 кВ.

Зануление. На предприятиях химической промышленности широкое применение нашли четырехпроводные сети, в которых точка соединения всех обмоток питающего трансформатора соединена непосредственно с землей (заземлена наглухо). В установках с глухозаземленной нейтралью до 1000 В все металлические корпуса и конструкции связываются электрически с нейтралью трансформатора через нулевой (четвертый) провод или специальный защитный проводник. Благодаря этому всякое замыкание на корпус превращается

в короткое замыкание и поврежденный участок отключается предохранителем или автоматом. Такая система носит название «зануление».

Защитное отключение. В отличие от заземления и зануления, защитное отключение является быстродействующим и обеспечивает безопасность прикосновения к токоведущим частям. При помощи этой защитной меры аварийный участок или сеть в целом отключаются при возникновении замыкания на корпус (землю) или при непосредственном прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением.

Малые напряжения. Малыми считаются напряжения 42 (36) и 12 В. Эти напряжения применяются для переносных электроприемников, местного и ремонтного освещения и др. Напряжение 12 В применяется в особо опасных условиях (при работе внутри металлических резервуаров, котлов и др.). Для обеспечения безопасности при повреждении изоляции и переходе напряжения с высшей стороны понизительного трансформатора на низшую 42 (36) или 12 В вторичная обмотка этих трансформаторов заземляется. Использование автотрансформаторов для получения пониженного (малого) напряжения не допускается.

Изоляция. Для обеспечения безопасности большое значение имеет сохранение изоляции сетей и электроприемников в надежном состоянии. Для этой цели проводятся профилактические испытания изоляции с отключением испытываемых участков, непрерывный контроль изоляции при нормально работающем оборудовании, периодическое измерение сопротивления изоляции отдельных отключенных участков электросети и электроприемников.

Двойная изоляция. Для обеспечения безопасности каждый электроприемник, помимо основной изоляции токоведущих частей от корпуса, снабжен дополнительной изоляцией корпуса. Двойная изоляция нашла широкое применение, обеспечивающее безопасную работу с электроинструментами, корпуса которых изготовлены из изолирующих материалов. При двойной изоляции электроприемников заземление или зануление металлических частей запрещается.

Ограждения. Недоступность токоведущих частей можно обеспечить надежными ограждениями (изготовление аппаратов и приборов в закрытых корпусах, применение закрытых комплектных устройств, установка различных блокировок и др.).

Защитные средства. В дополнение к защитным техническим мерам для обеспечения безопасности применяются различные защитные средства. К ним относятся: изолирующие оперативные и измерительные штанги, изолирующие клещи, указатели напряжения, токоизмерительные клещи; изолирующие лестницы и площадки, инструмент с изолированными ручками; резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, подставки; переносные заземления, временные ограждения, предупреждающие плакаты; защитные очки, предохранительные пояса, канаты и др.

Все защитные средства должны находиться в исправном состоянии и под постоянным контролем. При приемке в эксплуатацию они должны быть проверены, а в процессе эксплуатации – подвергаться периодическим осмотрам, электрическим и механическим испытаниям.

5. Общие правила электробезопасности при обслуживании технологического оборудования

На промышленных предприятиях имеется значительное число неэлектротехнического персонала, которому в соответствии с действующими правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей должна быть присвоена 1-я квалификационная группа.

Неэлектротехнический персонал, имеющий 1-ю квалификационную группу, должен иметь элементарное представление об опасности поражения электрическим током, о мерах безопасности при работе на обслуживаемом участке, а также должен уметь оказывать первую доврачебную помощь.

К этой категории относится неэлектротехнический персонал:

– обслуживающий электротехнологические установки (электропечи, электрофильтры, высокочастотные установки, электролизеры

и др.), если по возложенным функциям ему не требуется присвоение более высокой квалификационной группы;

- обслуживающий передвижные машины и механизмы с электроприводом;

- работающий с электроинструментом;

- водители всех автомашин с постоянно (или временно) установленными на них кранами, механизмами или негабаритными грузами, при перевозке которых может возникнуть опасность прикосновения к проводам воздушных линий электропередач и связи; персонал, работающий в помещениях и вне их, где при возникновении неблагоприятных условий и отсутствии необходимых знаний по электробезопасности может появиться опасность поражения электрическим током.

Присвоение 1-й квалификационной группы по электробезопасности предусматривает проведение инструктажа на рабочем месте с учетом специфических особенностей электробезопасности обслуживаемого механизма и проверки усвоения положений инструктажа. Первая квалификационная группа по электробезопасности может присваиваться лицом, ответственным за электрохозяйство предприятия, цеха, участка, или по его письменному указанию, лицом не ниже 3-й квалификационной группы, а также инженером по промышленной безопасности, имеющим удостоверение на право инспектирования энергоустановок данного предприятия.

Проверка знаний по электробезопасности работников, имеющих 1-ю квалификационную группу по технике безопасности, проводится ежегодно; общепроизводственные инструктажи проводятся дополнительно на общих основаниях.

Перечень профессий конкретного химического цеха, которым должна присваиваться 1-я группа, определяется ответственным за электрохозяйство.

Таким образом, многим работникам промышленных производств перед допуском к самостоятельной работе должна быть присвоена 1-я квалификационная группа по технике безопасности.

Перед началом работы на обслуживаемом участке, оборудовании каждый работник технологического цеха должен:

- изучить действующие в данном цехе правила и инструкции по охране труда;

- тщательно изучить технологическую инструкцию обслуживаемого аппарата, установки, обратив особое внимание на вопросы электро- и взрывобезопасности;

- знать телефоны скорой помощи, медсанчасти, пожарной и газоспасательной команды;

- знать местонахождение аптечки, средств пожаротушения;

- уметь оказывать первую помощь, пользоваться первичными средствами пожаротушения;

- проверять наличие заземления (зануления) обслуживаемого аппарата;

- во время работы необходимо соблюдать общие правила электробезопасности.

Запрещается:

- ремонтировать электроинструменты, электропроводку, электродвигатели, заменять предохранители;

- касаться клемм, корпусов работающих машин и аппаратов, а также прикасаться к оборванным и с поврежденной изоляцией электропроводам;

- загромождать подходы к электроустановкам, пускателям, рубильникам;

- наступать на кабели, электросварочные провода, переезжать их транспортными средствами;

- включать автоматически отключившуюся электроустановку во взрывоопасных установках без выяснения и устранения причин ее отключения.

При обнаружении неисправностей в электрических устройствах (искрении, вспышке, повреждении изоляции и др.), а также оставленных неогражденными токоведущих частях следует немедленно сообщать руководителю.

Необходимо немедленно выключить ток в случае: поломки любой из деталей, при выявлении неисправностей в работе механизмов, электрооборудования; травмы обслуживающего персонала; пожара в зоне работы.

6. Оказание первой помощи пострадавшим от электрического тока

Первая помощь пострадавшему состоит в том, чтобы, не теряя лишней секунды:

- освободить пострадавшего от тока, обеспечив предварительно собственную безопасность;
- освободить пострадавшего от стесняющей дыхание одежды;
- осмотреть полость рта пострадавшего и удалить слизь, вставные челюсти, если они имеются;
- без промедления тут же на месте приступить к оказанию первой помощи.

Одновременно лицо, не занятое оказанием первой помощи, **обязано:**

- известить начальника смены (мастера); вызвать врача и скорую помощь;
- послать за набором приспособлений и средств по оказанию первой помощи;
- удалить из помещения лишних людей; обеспечить освещение и приток свежего воздуха.

Освобождение пострадавшего от тока. Первым действием должно быть быстрое отключение той части установки, к которой прикасается пострадавший. Если при этом пострадавший может упасть с высоты, нужно предупредить или обезопасить его падение. Если быстро отключить установку нельзя, надо отделить пострадавшего от токоведущих частей.

При напряжении до 1000 В, для отделения пострадавшего от токоведущих частей следует воспользоваться сухой палкой, доской, веревкой, одеждой или другим сухим непроводником. В таких случаях нельзя пользоваться металлическими или мокрыми предметами.

Также можно взяться за одежду пострадавшего, если она сухая и отстает от тела, например за полы, не прикасаясь при этом к окружающим металлическим предметам и к частям тела, не покрытым одеждой. Оттаскивать пострадавшего за ноги можно только при хорошей изоляции рук оказывающего помощь.

Для изоляции своих рук оказывающий помощь, особенно если необходимо коснуться тела пострадавшего, не защищенного одеждой, должен надеть диэлектрические перчатки или обернуть руки сухой тканью. Также можно изолировать себя от земли, надев резиновые галоши или встав на сухую доску или на не проводящую ток подстилку.

Проще прервать ток, отделив пострадавшего от земли. При этом нужно соблюдать указанные выше меры безопасности.

При необходимости следует перерубить или перерезать провода (каждый в отдельности) топором с сухой деревянной рукояткой или инструментом с изолированными рукоятками.

При напряжении выше 1000 В следует надеть боты, перчатки и действовать изолирующими штангой или клещами, предназначенными для соответствующего напряжения.

На воздушных линиях, если освобождение пострадавшего от тока не может быть осуществлено быстро и безопасно иным способом, необходимо замкнуть накоротко и заземлить провода линии с помощью наброса и др.

Способы оказания первой помощи. Оказание первой помощи зависит от состояния, в котором находится пострадавший от электрического тока.

Для определения этого состояния необходимо немедленно:

- уложить пострадавшего на спину на твердую поверхность;
- проверить наличие у пострадавшего дыхания (по подъему грудной клетки или каким-либо другим способом);
- проверить наличие у пострадавшего пульса на лучевой артерии у запястья или на сонной артерии на переднебоковой поверхности шеи;
- выяснить состояние зрачка (узкий или широкий); широкий зрачок указывает на резкое ухудшение кровоснабжения мозга.

Во всех случаях поражения электрическим током вызов врача является обязательным независимо от состояния пострадавшего.

Только после этого необходимо оказывать соответствующую помощь пострадавшему:

– если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока или продолжительное время находился под током, его следует уложить в удобное положение на подстилку, накрыть сверху чем-либо из одежды и до прибытия врача обеспечить полный покой, непрерывно наблюдая за дыханием и пульсом;

– если отсутствует сознание, но сохранились устойчивые дыхание и пульс, нужно ровно и удобно уложить пострадавшего на подстилку, расстегнуть пояс и одежду, обеспечить приток свежего воздуха и полный покой; давать пострадавшему нюхать нашатырный спирт и обрызгивать его водой;

– если пострадавший плохо дышит (редко, судорожно, как бы с всхлипыванием), делать искусственное дыхание и массаж сердца;

– если отсутствуют признаки жизни (дыхание, сердцебиение, пульс), нельзя считать пострадавшего мертвым, так как смерть часто бывает лишь кажущейся. В этом случае также надо делать искусственное дыхание и массаж сердца.

При оказании помощи мнимо умершему дорога каждая секунда, поэтому первую помощь нужно оказывать немедленно и непрерывно, тут же на месте. Переносить пострадавшего в другое место следует только тогда, когда опасность продолжает угрожать пострадавшему или оказывающему помощь, или при большом неудобстве (темнота, теснота, дождь и др.).

Искусственное дыхание. Искусственное дыхание надо производить по способу «изо рта в рот», при котором оказывающий помощь производит выдох воздуха из своих легких в легкие пострадавшего непосредственно через рот.

Прежде чем приступить к производству искусственного дыхания, необходимо быстро, не теряя ни секунды:

– освободить пострадавшего от стесняющей дыхание одежды (расстегнуть ворот, развязать галстук или шарф, расстегнуть брюки и др.);

– обеспечить проходимость дыхательных путей, которые могут быть закрыты запавшим языком. Для этого надо максимально за-

прокинуть голову пострадавшего назад, подложив одну руку под шею, а второй рукой надавить на лоб пострадавшего. При этом положении головы рот обычно раскрывается. Для сохранения достигнутого положения головы под лопатки можно подложить валик из свернутой одежды;

- при наличии во рту инородного содержимого (крови, слизи и др.), повернуть голову и плечи пострадавшего в сторону (можно подвести левое колено под плечи пострадавшего), очистить полость рта и глотки с помощью носового платка, края рубашки, намотанного на указательный палец, а также удалить посторонние предметы, съемный зубной протез и др.;

- если рот пострадавшего сильно стиснут – раскрыть его, выдвинув нижнюю челюсть. Для этого ставят четыре пальца обеих рук позади углов нижней челюсти и, упираясь большими пальцами в ее край, выдвигают челюсть вперед так, чтобы нижние зубы стояли впереди верхних. Если раскрыть рот пострадавшему не удастся, то искусственное дыхание следует производить по способу «изо рта в нос».

Для производства искусственного дыхания оказывающий помощь делает глубокий вдох и затем, плотно прижав свой рот ко рту пострадавшего (можно через марлю или платок), производит в него выдох. При этом нос пострадавшего нужно закрыть щекой или пальцами.

Затем оказывающий помощь откидывается назад и делает новый вдох. В этот период грудная клетка пострадавшего опускается, и он делает пассивный выдох.

Вдувание воздуха следует производить резко каждые 5 – 6 с, что соответствует частоте дыхания 10 – 12 раз в минуту.

Контроль за поступлением воздуха в легкие определяется по расширению грудной клетки при каждом вдувании.

Если после вдувания грудная клетка не расправляется, необходимо выдвинуть нижнюю челюсть вперед, как было указано ранее. Легче выдвинуть нижнюю челюсть введенным в рот большим пальцем.

При появлении первых слабых вдохов следует приурочивать искусственный вдох к моменту начала самостоятельного вдоха.

Искусственное дыхание проводится до восстановления собственного глубокого и ритмичного дыхания.

При отсутствии у пострадавшего пульса, для восстановления кровообращения одновременно с искусственным дыханием (вдуванием воздуха), необходимо производить наружный массаж сердца.

Наружный массаж сердца. Уложить пострадавшего спиной на жесткую поверхность (на скамью, пол или в крайнем случае подложить под спину доску), обнажить у него грудную клетку, снять пояс, подтяжки.

Оказывающий помощь встает с какой-либо стороны пострадавшего и занимает такое положение, при котором возможен значительный наклон над ним. Если пострадавший уложен на полу, надо встать на колени.

Определив прощупыванием место надавливания (оно должно находиться примерно на два пальца выше мягкого конца грудины), оказывающий помощь должен положить на него нижнюю часть ладони одной руки, а затем поверх первой руки положить под прямым углом вторую руку и надавливать на грудную клетку пострадавшего, слегка помогая при этом наклоном всего корпуса. Надавливание следует производить быстрым толчком так, чтобы сместить нижнюю часть грудины вниз на 3 – 4 см, а у полных людей – на 5 – 6 см. Усилие при надавливании следует концентрировать на нижнюю часть грудины. Надавливание (толчок) на грудину следует повторять примерно 1 раз в секунду. Меньшее число надавливаний достаточного кровотока не создает.

После быстрого толчка руки остаются в достигнутом положении примерно в течение 0,5 с. После этого следует слегка выпрямиться и расслабить руки, не отнимая их от груди.

Одновременно с массажем сердца должно выполняться искусственное дыхание (вдувание).

Если оказывающих помощь двое, менее опытный должен выполнять искусственное дыхание, а другой – наружный массаж сердца. Вдувание надо производить в промежутках через каждые 5 надавливаний.

Если оказывающий помощь один, то он обязан чередовать операции: после двух вдуваний воздуха должен производить 15 надавливаний на грудную клетку.

О восстановлении деятельности сердца у пострадавшего судят по появлению у него собственного, не поддерживаемого массажем регулярного пульса. Для проверки пульса через каждые 2 мин на 2 – 3 с прерывают массаж.

Искусственное дыхание и массаж сердца необходимо производить до положительного результата (оживления) или до появления явных признаков действительной смерти (появление трупных пятен или трупного окоченения). Констатировать смерть имеет право только врач.

После появления признаков оживления закрытый массаж сердца и искусственное дыхание следует продолжать еще в течение 5–10 мин, приурочивая вдувание к моменту собственного вдоха пострадавшего.

Проверка эффективности оказываемой помощи. При правильном проведении искусственного дыхания каждое вдувание вызывает расширение грудной клетки, прекращение вдувания вызывает ее спадание, сопровождаемое характерным шумом при выходе воздуха из легких пострадавшего через рот и нос. При затруднении вдувания надо проверить, свободны ли дыхательные пути у пострадавшего.

Эффект наружного массажа сердца проявляется в первую очередь в том, что каждое надавливание на грудину вызывает появление пульса – на лучевой артерии у запястья или на сонной артерии на шее (проверяется лицом, производящим вдувание воздуха).

При правильном проведении искусственного дыхания и массажа сердца у пострадавшего появляются следующие признаки оживления:

– улучшается цвет лица – оно приобретает розовый оттенок вместо серо-землистого цвета с синеватым оттенком, который был до оказания помощи;

– появляются самостоятельные дыхательные движения, которые становятся все более и более равномерными по мере продолжения мероприятий по оживлению;

– сужаются зрачки.

Степень сужения зрачков может служить наиболее строгим показателем эффективности оказываемой помощи. Узкие зрачки указывают на достаточное снабжение мозга кислородом. Наоборот, начинающееся расширение зрачков указывает на ухудшение кровообращения мозга и необходимость улучшения качества мероприятий по оживлению организма. Дополнительной полезной мерой является поднятие ног у пострадавшего на 0,5 м от пола и оставление их в этом положении в течение всего времени массажа (для этой цели под ноги можно что-нибудь положить), что способствует лучшему притоку крови в сердце из вен нижней части тела.

Искусственное дыхание и наружный массаж сердца следует проводить до появления самостоятельного дыхания и восстановления работы сердца у пострадавшего.

Меры по оживлению пострадавшего необходимо проводить непрерывно, пока не будут достигнуты положительные результаты или не прибудет врач.

Следует помнить, что даже кратковременное (в течение нескольких секунд) прекращение оживляющих мероприятий может привести к непоправимым последствиям.

При поражении электрическим током ни в коем случае нельзя зарывать пострадавшего в землю, так как это принесет ему только вред.

Умейте оказывать первую помощь пострадавшему от электрического тока.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Цели работы: изучение действия электрического тока на организм человека и определение параметров электрической схемы замещения тела человека.

Основные сведения о воздействии электрического тока

Если человек касается одновременно двух точек, между которыми существует напряжение, и при этом образуется замкнутая цепь, то через его тело проходит ток. Значение этого тока зависит от схемы прикосновения, т.е. от того, каких частей электрической установки касается человек, а также от параметров электрической сети.

Сопротивление тела человека и приложенное к нему напряжение сказываются лишь в той мере, в какой они изменяют значение тока.

Действие электрического тока на живую ткань носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое действия, что характерно для неживых объектов, а также – специфическое биологическое действие, которое выражается в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольным сокращением мышц, в том числе сердца и легких.

Тяжесть поражения определяется в первую очередь значением тока, зависящим от напряжения прикосновения $U_{пр}$ и электрического сопротивления R_h тела человека, а также временем его воздействия. При длительности воздействия более 0,2 с резко возрастает тяжесть поражения, что связано с особенностями кардиоцикла человека. Поэтому время срабатывания быстродействующей защиты отключения должно быть не более 0,2 с (по ПУЭ при фазном напряжении 220 В не более 0,4 с).

Токи различного рода неодинаково опасны (при прочих равных

условиях) для организма. Наиболее опасным следует считать переменный ток промышленной частоты 50 – 60 Гц. Он воздействует на центральную нервную систему и производит сильные сокращения мышц, которые во многих случаях удерживают человека в контакте с частями, находящимися под напряжением, лишая возможности самостоятельно освободиться от токоведущей части (ТВЧ).

Дальнейшее повышение частоты, несмотря на рост тока, проходящего через человека, сопровождается снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при частотах 450 – 500 кГц. Токи этого диапазона частот и более не могут вызвать смертельного поражения вследствие прекращения работы сердца или легких, а также других жизненно важных органов. Правда, эти токи сохраняют опасность ожогов как при возникновении электрической дуги, так и при прохождении их непосредственно через тело человека.

Постоянный ток примерно в 4 – 5 раз безопаснее переменного частотой 50 Гц. Проходя через тело человека, он вызывает более слабые сокращения мышц и менее неприятные ощущения по сравнению с переменным током того же значения. Лишь в момент замыкания и размыкания цепи тока человек испытывает кратковременное болезненное ощущение вследствие внезапного судорожного сокращения мышц, подобное тому, которое возникает при переменном токе примерно того же значения.

Сказанное о сравнительной опасности постоянного и переменного токов справедливо лишь для напряжений до 500 В. Считается, что при более высоких напряжениях постоянный ток становится опаснее переменного частотой 50 Гц. Степень отрицательного воздействия тока на организм человека увеличивается также и с ростом его величины.

Ощутимый ток – это такой ток, который при прохождении через человека вызывает ощутимые раздражения. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него переменного тока частотой 50 Гц значением 0,5 – 1,5 мА и постоянного тока значением 5 – 7 мА.

Это воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и легким покалыванием, а при постоянном токе – ощущением

нагрева кожи на участке, касающемся токоведущей части. Указанные значения тока являются граничными (пороговыми), с которых начинается область ощутимого воздействия. При токах, превышающих пороговый ощутимый, возможно получение человеком электротравм как местных (ожог, электрический знак и др.), так и общих (электрический удар 1–4-й степени).

Неотпускающий ток – это такой ток, который вызывает при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник.

Пороговым неотпускающим током называют наименьшее значение неотпускающего тока. Для переменного тока частотой 50 Гц оно составляет 10 – 15 мА (для мужчин при пути прохождения тока «рука-рука»). При этих значениях тока человек чувствует непереносимую боль, а судороги мышц руки оказываются настолько значительными, что он не в состоянии их преодолеть, т.е. не может разжать руку, в которой зажата ТВЧ.

Для постоянного тока пороговое значение неотпускающего тока составляет 50 – 80 мА.

Фибрилляционный ток – это такой ток, который при прохождении через тело человека вызывает фибрилляцию сердца.

Фибрилляция (fibrillatio) – быстрое хаотическое сокращение многих отдельных мышечных волокон сердца, в результате которого сердце теряет способность к эффективным и синхронным сокращениям.

После этого пораженный участок сердца перестает нагнетать кровь. Фибрилляция может возникнуть независимо в предсердиях или желудочках сердца.

Фибрилляция предсердий (atrialfibrillation) является типичной разновидностью аритмии; проявляется учащенным и неритмичным пульсом и сердцебиением. При фибрилляции желудочков (ventricularfibrillation) сердце перестает сокращаться. Чаще всего причиной такой фибрилляции является инфаркт миокарда.

Пороговым фибрилляционным током называют наименьшее значение фибрилляционного тока. Для переменного тока частотой 50 Гц фибрилляционным является ток от 100 мА до 5 А, пороговым

– 100 мА. Для постоянного тока пороговым фибрилляционным током считается ток 300 мА, верхним пределом – 5 А. Следует подчеркнуть, что эти данные справедливы при условии длительного прохождения тока через человека (не менее 2 – 3 с) по пути «рука-рука» или «рука-ноги».

Ток больше 5 А как при постоянном напряжении, так и частотой 50 Гц, как правило, не вызывает фибрилляцию сердца. При протекании такого тока происходит немедленная остановка сердца, минуя состояние фибрилляции. Если воздействие тока было кратковременным (до 1 – 2 с) и не вызвало паралича сердца, то сердце, как правило, самостоятельно возобновляет нормальную деятельность.

При большом токе, даже в случае кратковременного воздействия, наряду с остановкой сердца происходит и паралич дыхания.

При определенных допущениях тело человека можно представить в виде электрической схемы замещения. Чаще всего для анализа явлений при протекании тока через человека по пути «рука-рука» и расчета электрических параметров сопротивления человека используются две схемы замещения: эквивалентная (рис. 1, а) и упрощенная (рис. 1, б). Здесь R_h и C_h – активное сопротивление и емкость в зоне контакта ладони с электродом.

На рис. 1, а R_h и C_h – активная и реактивная составляющие наружного сопротивления кожи, z_h , r_b – внутреннее сопротивление.

Анализируя эквивалентную схему замещения, можно сделать несколько выводов:

1. Наличие емкости в схеме и соответственно реактивной составляющей в выражении для z_h обуславливает влияние рода и частоты тока на значение сопротивления тела человека.

2. С увеличением частоты f емкостное сопротивление $x_C = 1/(2\pi f C_h)$ уменьшается и шунтирует активное сопротивление r_h . В пределе при $f \rightarrow \infty$ полное сопротивление тела человека равно r_b .

3. При уменьшении частоты емкостное сопротивление возрастает и в пределе при $f \rightarrow 0$, т.е. при постоянном токе, $z_h = z_0 = 2 r_h + r_b$, откуда

$$r_h = \frac{z_0 - r_b}{2}.$$

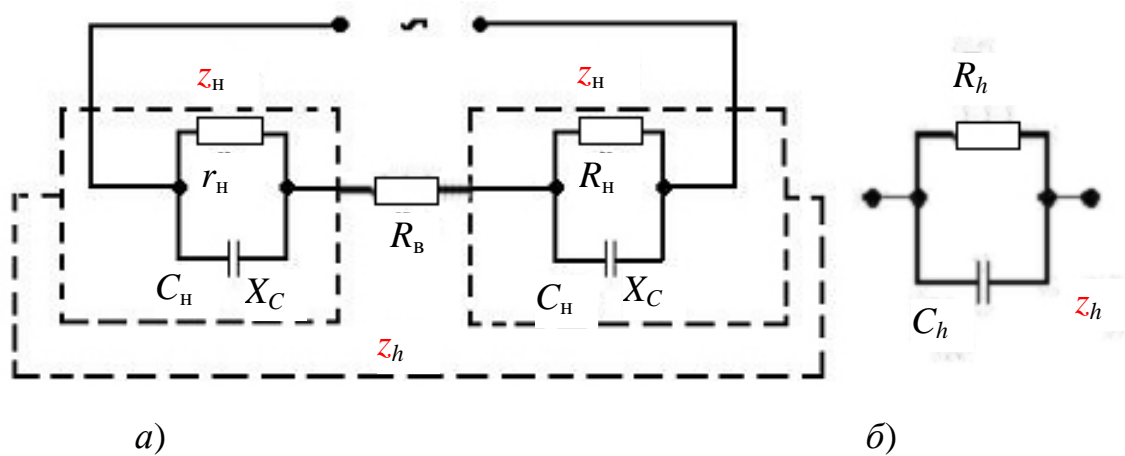


Рис. 1. Электрическая схема замещения тела человека («рука-рука»):
 a – эквивалентная; b – упрощенная

С некоторыми допущениями можно принять, что полное сопротивление тела человека на частотах 0 – 100 Гц находится в линейной зависимости от частоты тока и может быть определено методом экстраполяции. С этой целью в линейном масштабе строится график зависимости полного сопротивления от частоты (рис. 2).

Значение z_0 находится при пересечении прямой $z_1 - z_4$ с осью координат.

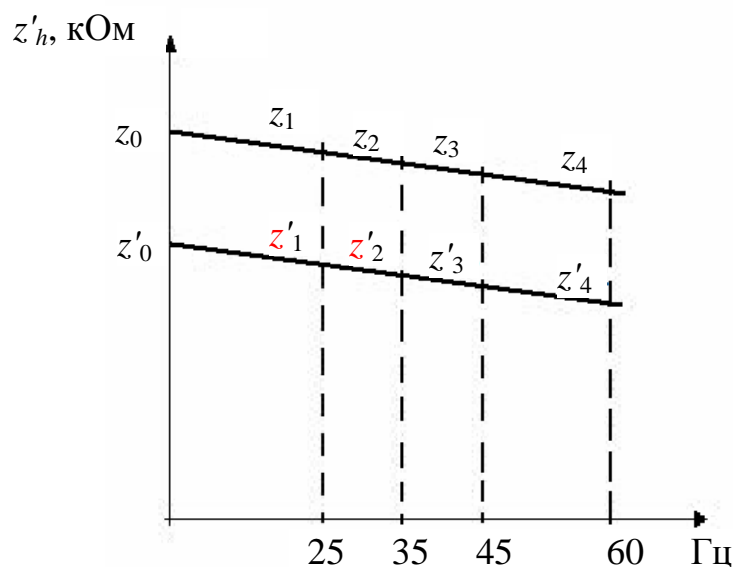


Рис. 2. График экстраполяции при определении сопротивления постоянному току

4. Значение полного сопротивления наружного слоя кожи z_H при данной частоте может быть найдено из выражения

$$z_H = \frac{z_f - r_B}{2}, \quad (1)$$

где z_f – сопротивление человека z_h на заданной частоте.

Полное сопротивление наружного слоя кожи z_H связано с r_H и $1/(\omega C_H)$ соотношением

$$1/z_H^2 = 1/r_H^2 + 1/(\omega^2 C_H^2).$$

Отсюда можно получить емкость наружного слоя кожи C_H из выражения

$$C_H = \frac{\sqrt{r_H^2 - z_H^2}}{2\pi f r_H z_H}. \quad (2)$$

Если $r_H \cdot z_H$, то вместо соотношения (2) можно использовать более простое выражение $C_H = 1/(2\pi f z_H)$.

При наличии экспериментальной зависимости $z_h(f)$ приведенные выражения позволяют определить расчетным путем для заданной частоты f значения r_B , z_0 , r_H , z_H , C_H .

Состояние кожи сильно влияет на значение электрического сопротивления тела человека. Так, повреждение рогового слоя, в том числе порезы, царапины, ссадины и другие микротравмы, могут снизить z_h до значения, близкого к значению внутреннего сопротивления, что, безусловно, увеличивает опасность поражения током. Такое же влияние оказывает и увлажнение кожи водой или потом, а также загрязнение кожи проводящей пылью или грязью.

Поскольку у одного и того же человека электрическое сопротивление кожи неодинаково на разных участках тела, то на сопротивление в целом влияют место приложения, плотность и площадь контакта.

Значение тока и длительность его прохождения через тело человека непосредственно влияют на полное электрическое сопротивление z_h : с ростом тока и времени его прохождения сопротивление падает, поскольку при этом усиливается местный нагрев кожи, что приводит к расширению ее сосудов, а следовательно, к усилению снабжения этого участка кровью и увеличению потовыделения.

И наконец, повышение напряжения, приложенного к телу человека, уменьшает в десятки раз сопротивление кожи, а значит, и полное сопротивление тела, которое в пределе приближается к своему наименьшему значению 300 – 500 Ом (сопротивление внутренних органов r_b). Это объясняется рядом факторов, прежде всего, пробоем рогового слоя кожи, который наступает при напряжении 50 – 200 В, а также ростом тока, проходящего через кожу (за счет повышения напряжения), и др. В целом при нормальных условиях значение полного сопротивления тела человека находится в пределах 3 – 100 кОм. В расчетах при напряжении до 50 В используют значение сопротивления тела человека, равное 6 кОм, а при напряжениях выше 50 В – 1 кОм.

В заключение следует отметить, что на тяжесть электротравмы кроме указанных выше факторов также влияют условия внешней среды, путь протекания тока через человека (наиболее опасный – «правая рука-голова») и схема подключения человека к конкретной электрической сети.

Практические исследования

1. Условия проведения работы

Для исследования зависимости сопротивления тела человека от частоты применяется экспериментальная установка (рис. 3), состоящая из звукового генератора со встроенным вольтметром, милливольтметра и стенда с тремя парами дисков-электродов площадью 22,11 и 7,3 см².

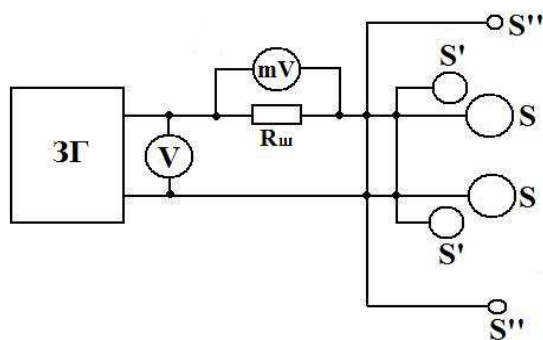


Рис. 3. Схема включения приборов: ЗГ – звуковой генератор; mV – милливольтметр, используемый для определения тока через тело человека; V – вольтметр; S, S', S'' – диски-электроды площадью 22, 11 или 7,3 см²; R_ш – шунтирующий резистор

Генератор является источником синусоидальных электрических колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц. Частоты устанавливаются по диапазонам 20 – 200 Гц, 200 – 2000 Гц, 2 – 20 кГц с помощью переключателя. Амплитуда выходного напряжения регулируется ручкой «Регулятор выходного напряжения». Милливольтметр, измеряющий падение напряжения на сопротивлении, равном 1 кОм, позволяет получить значение тока, проходящего через человека.

Во время исследования руки испытуемого накладываются на диски-электроды, на которые от звукового генератора подается напряжение заданной частоты. Для получения правильных значений сопротивления плотность прижатия рук к дискам-электродам должна быть постоянной в течение опыта.

Данные для выполнения работы (площади дисков и частота для расчета) представлены в таблице на стенде лабораторной установки.

2. Порядок выполнения работы

1. Получив задание, проверьте подключение приборов и положение ручек на генераторе и милливольтметре. При необходимости установите переключатель диапазонов частоты генератора на 1, ручку регулятора выходного напряжения поверните до отказа влево. После этого можно включить приборы.

2. Один из испытуемых накладывает руки на диски-электроды.

3. Поворачивая ручку «Регулятор выходного напряжения» влево, установите напряжение 2 – 3 В. Лимбом настройки последовательно установите частоты от 25 Гц до 20 кГц и произведите измерения, показания приборов запишите в таблицу бланка отчета (U_B – показания вольтметра генератора, U_{MB} – показания милливольтметра).

При изменении частоты руки с электродов надо снимать.

3. Обработка экспериментальных данных

1. Рассчитайте значение тока (мА) и сопротивление тела человека (кОм) по формулам, которые для данной установки с учетом параметров схемы измерения имеют вид:

а) $I = U [\text{мВ}] / 10;$

б) $z_h = (U[\text{В}] / I [\text{мА}]) - 1.$

Заполните таблицу бланка отчета.

2. Постройте по полученным данным частотные зависимости:

а) $z_h = \varphi(f)$ при $S_1;$

б) $z_h' = \varphi'(f)$ при $S_2;$

Частота по оси абсцисс на бланке отчета отложена в логарифмическом масштабе.

3. Определите внутреннее сопротивление r_B . Оно равно значению z_h при $f = 20$ кГц.

4. Методом экстраполяции (см. рис. 2) найдите значение сопротивления тела человека при постоянном токе r_0 , т.е. при $f \rightarrow 0$.

5. Рассчитайте активное сопротивление наружного слоя кожи r_H по формуле (1).

6. На частоте, указанной в задании, из выражения (2) определите полное сопротивление наружного слоя кожи z_H .

7. Рассчитайте по формуле (2) емкость C_H наружного слоя кожи для электродов S_1 и S_2 .

8. Рассчитайте емкостное сопротивление x_C по формуле

$$x_C = 1 / \omega C = 1 / 2\pi f C.$$

9. Результаты расчета основных параметров электрической схемы замещения тела человека для заданной частоты внесите в таблицу бланка отчета.

10. Начертите электрическую схему замещения сопротивления тела человека для условий проведенного эксперимента и укажите на ней для максимальной площади электродов численные значения основных параметров: r_n , r_b , x_C .

11. Постройте графики $I_h = \varphi(f)$ при условии постоянства выходного напряжения генератора. Графики построьте на сетке $I_h = \varphi(\lg f)$ бланка отчета, для чего на оси ординат (слева) выберите масштаб для I_h и нанесите численные значения I_h . Из анализа графиков $I_h = \varphi(f)$ сделайте вывод об изменении значений тока в зависимости от частоты.

12. Для частотного диапазона, в котором $U = \text{const}$, постройте графики $z_h = \varphi(I_h)$ для S_1 и S_2 и сделайте вывод по проделанной работе.

13. По результатам опыта укажите факторы, которые влияют на условия поражения электрическим током. Перечислите, какие еще факторы определяют исход поражения током. Для получения зачета по работе необходимо изучить теоретические основы занятия, заполнить бланк зачета, знать порядок проведения практической части работы и быть готовым ответить на контрольные вопросы преподавателя.

Контрольные вопросы

1. Укажите значения пороговых осязаемых, неотпускающих токов.
2. Что такое фибрилляционный ток?
3. В каком интервале значений возникают фибрилляционные токи при частоте 50 Гц?
4. В чем заключается опасность фибрилляционных токов?
5. Какие факторы влияют на значение электрического сопротивления тела человека?
6. Укажите численные значения внутреннего сопротивления тела человека. От чего оно зависит?
7. К чему стремится сопротивление тела человека (по эквивалентной схеме замещения) при частоте $f \rightarrow 0$?

8. К чему стремится сопротивление тела человека (по эквивалентной схеме замещения) при частоте $f \rightarrow \infty$?

9. Каково значение сопротивления тела человека при нормальных климатических условиях и отсутствии приложенного напряжения?

10. Каково значение сопротивления тела человека в аварийных ситуациях, когда $U_{\text{нр}} \geq 100 \text{ В}$?

11. От чего зависит степень тяжести электрической травмы?

12. Какое действие электрический ток оказывает на организм человека?

13. От чего зависит значение емкости (на эквивалентной схеме замещения)?

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ МЕР В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Цели работы: изучить принцип действия и эффективность применения защитного заземления и защитного зануления в электроустановках, получить навыки расчета параметров заземляющих устройств, а также научиться проводить приборное измерение характеристик защитного заземления и удельного сопротивления грунта при эксплуатации электроустановок (ЭУ).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Основные защитные меры в электроустановках

В процессе эксплуатации ЭУ происходит старение изоляции, возможно ее повреждение, что может привести к появлению напряжения на металлических нетоковедущих (сторонних проводящих) частях электрооборудования. Это напряжение называется *замыканием на корпус*.

Для защиты людей от поражения электрическим током при замыкании на корпус применяются следующие защитные меры: защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, разделение электрических сетей, применение малых напряжений,

двойной изоляции, уравнивание потенциалов. При выполнении лабораторной работы рассматриваются первые три из перечисленных мер защиты.

2. Защитное заземление

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение нетоковедущих частей ЭУ, оказавшихся под напряжением, с заземляющим устройством.

Рабочее (функциональное) заземление – заземление точки или точек токоведущих частей ЭУ, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

Назначение защитного заземления – снижение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением.

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между частями ЭУ, оказавшимися под напряжением, и землей (напряжения прикосновения или шага) до безопасного значения.

Область применения защитного заземления:

– при напряжении до 1000 В – трехфазные трехпроводные сети с изолированной нейтралью и однофазные двухпроводные, изолированные от земли;

– при напряжениях свыше 1000 В – трехфазные сети с любым режимом нейтрали.

Защитное заземление в электрических сетях, изолированных от земли (система заземления IT)

Принцип действия защитного заземления рассмотрим на примере однофазной сети с изолированным выводом источника питания (рис. 4).

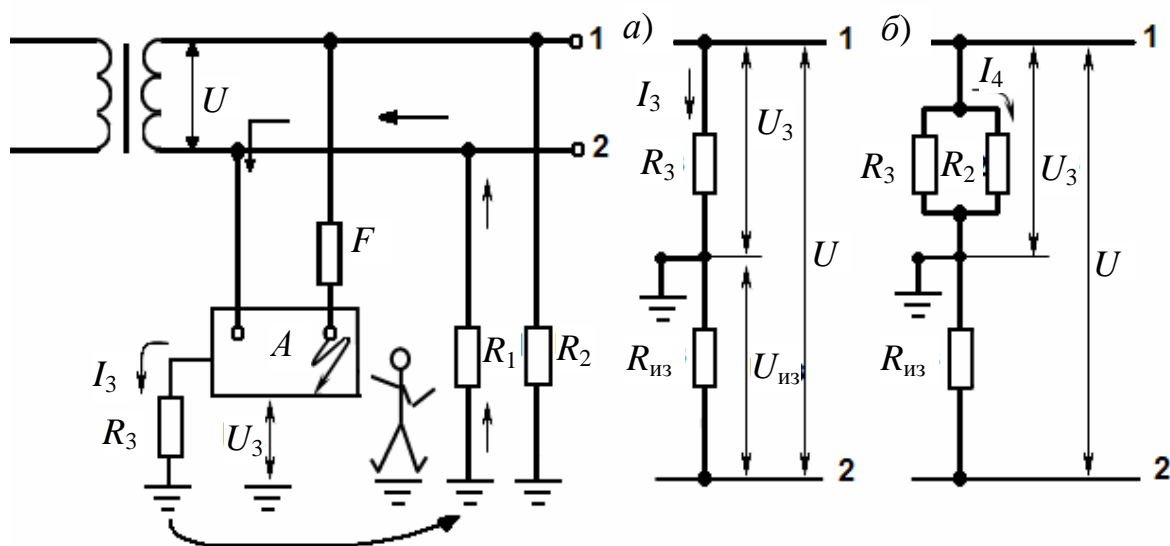


Рис. 4. Принцип действия защитного заземления

При замыкании провода 1 на корпус электроустановки, через заземляющее устройство с сопротивлением R_3 и изоляцию провода 2 с сопротивлением R_2 потечет ток замыкания I_3 .

Принцип действия защитного заземления основан на снижении до безопасного значения напряжения, под которым может оказаться корпус ЭУ относительно земли вследствие замыкания на него тока фазы.

Для упрощения расчетов примем следующие допущения:

1) ток утечки между сопротивлениями изоляции R_1 и R_2 равен нулю;

2) $R_1 = R_2 = R_{из}$;

3) $R_{земли} = R_{обуви} = R_{пола} = R_{средств защиты} = 0$;

Тогда, согласно схеме замещения (см. рис. 1, а),

$$I_3 = \frac{U}{R_{из} + R_3}.$$

Поскольку напряжение источника $U = U_3 + U_{из}$, то напряжение, под которым окажется корпус заземленной электроустановки относительно земли, будет равно

$$U_3 = U - U_{из} = U - I_3 R_{из} = U - \frac{U R_{из}}{R_{из} + R_3}.$$

Или

$$U_3 = U \left(1 - \frac{R_{из}}{R_{из} + R_3} \right). \quad (1)$$

Из выражения (1) видно, что напряжение замыкания на корпус U_3 будет тем меньше, чем меньше сопротивление заземляющего устройства R_3 , т.е. когда

$$\frac{R_{из}}{R_{из} + R_3} \rightarrow 1, \quad U_3 \rightarrow 0.$$

Если человек прикоснется к корпусу неисправной электроустановки, то он подключится (см. рис. 4, б) параллельно сопротивлению R_3 . Ток, протекающий через него, примерно будет равен

$$I_h = \frac{U_3}{R_h} = \frac{U}{R_h} \left(1 - \frac{R_{из}}{R_{из} + R_3} \right). \quad (2)$$

Выражение (2) показывает, что даже при неблагоприятных для эксплуатации значениях $R_{из}$ и при соблюдении требований к значению R_3 защитное заземление свою защитную роль выполнит.

П р и м е р . Пусть $U = 220$ В, $R_3 = 4$ Ом, $R_{из} = 1000$ Ом.

Тогда

$$U_3 = 220 \left(1 - \frac{1000}{1000 + 4} \right) = 220 \cdot 0,004 = 0,9 \text{ В};$$

$$I_h = \frac{U_3}{R_h} = \frac{0,9}{1000} = 0,0009 \text{ A}.$$

Таким образом, защитное заземление является эффективной мерой защиты человека от поражения током при замыкании на корпус электроустановки, питающейся от электрической сети, изолированной от земли (*система заземления IT*).

На рис. 5 представлена трехфазная трехпроводная сеть, от которой питается ЭУ *A* с защитным заземлением корпуса. Вывод об опасности поражения электрическим током, сделанный выше для однофазной сети, справедлив и для трехфазной.

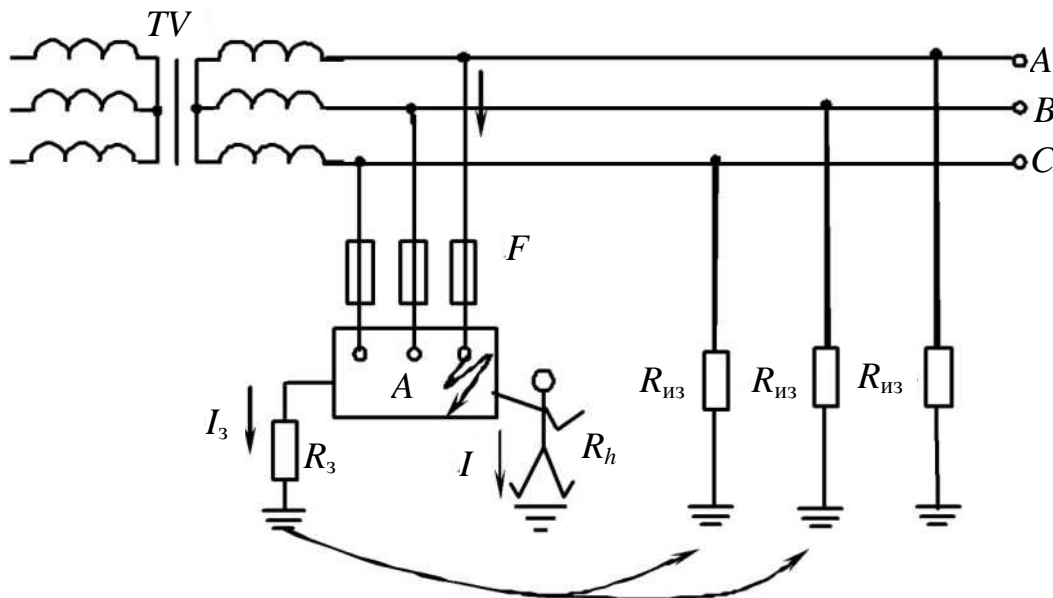


Рис. 5. Защитное заземление в трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

Защитное заземление в заземленных электрических сетях (система заземления TN)

Проведем анализ эффективности защитного заземления на примере трехфазной электрической сети напряжением до 1000 В с глухо заземленной нейтралью (рис. 6).

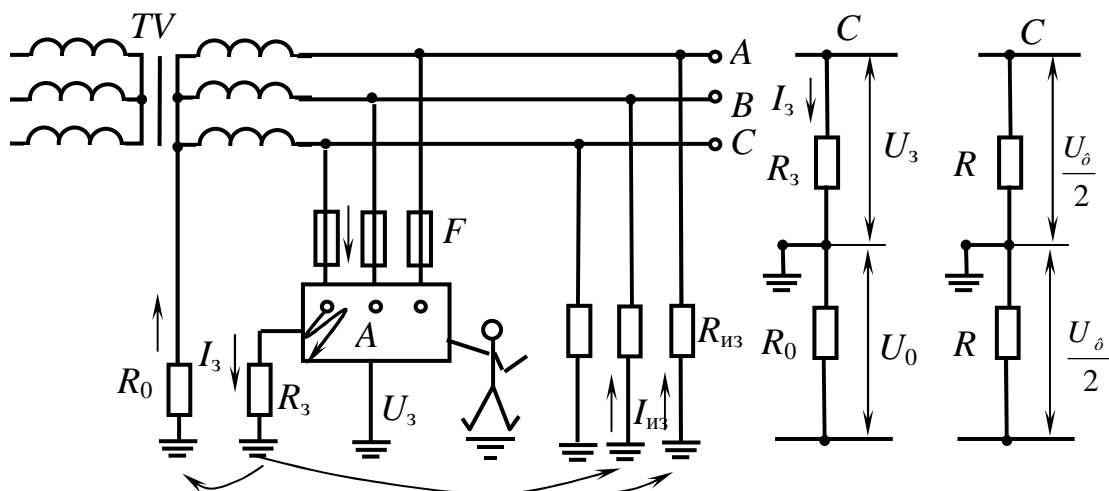


Рис. 6. Защитное заземление в заземленной электрической сети

Поскольку на практике сопротивление изоляции $R_{из}$ составляет десятки и сотни тысяч Ом, а сопротивление рабочего заземления вторичной обмотки трансформатора – единицы Ом, то величиной тока, протекающего через $R_{из}$, пренебрежем.

Тогда, согласно схеме заземления (см. рис. 6), если $R_3 = R_0$, то

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + R_0};$$

$$U_3 = U_\phi \frac{R_3}{R_3 + R_0}.$$

Таким образом, корпус заземленной электроустановки может оказаться под напряжением относительно земли, равным половине фазного напряжения сети.

Если человек коснется корпуса электроустановки, то он подключится параллельно сопротивлению R_3 и

$$I_h = \frac{U_\phi}{2R_h}.$$

При $U_{\phi} = 220 \text{ В}$, $I_h = \frac{220}{2 \cdot 1000} = 0,11 \text{ А}$, что представляет смертель-

ную опасность для человека.

Таким образом, защитное заземление в заземленных электрических сетях до 1000 В неэффективно.

Вот почему Правила устройства электроустановок (ПУЭ) не рекомендуют использовать защитное заземление в данных сетях в качестве единственной меры защиты. Оно может использоваться только как дополнение к занулению или другим видам защиты.

При напряжении свыше 1000 В ток замыкания существенно увеличивается, что позволяет использовать устройства максимальной токовой защиты для отключения аварийного участка сети от ЭУ.

Из рассмотренного принципа действия защитного заземления следует, что чем меньше сопротивление защитного заземления или заземляющего устройства, тем меньший ток протекает через тело человека.

Сопротивлением заземляющего устройства называется отношение напряжения на нем к току, стекающему с заземлителя. В зависимости от режима нейтрали сети, от которой питается ЭУ, оно будет различным.

Заземлителем называется проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду. Заземлители могут быть выполнены в виде стальных труб, уголкового стали, прутковой стали и т.д. По расположению заземлителей относительно заземленных корпусов, заземляющие устройства подразделяют на выносные и контурные. Контурные заземляющие устройства являются более эффективными с точки зрения электробезопасности, так как за счет выравнивания потенциала на защищаемой территории снижается напряжение прикосновения.

3. Защитное зануление

Защитным занулением называется преднамеренное электричес-

кое соединение частей ЭУ, на которых может оказаться напряжение, с нулевым проводником.

Область применения защитного зануления – трехфазные четырехпроводные (пятипроводные) сети с заземленной нейтралью при напряжениях до 1000 В. Как было рассмотрено выше, защитное заземление в таких сетях не выполняет защитную роль. И поэтому для защиты человека в аварийных ситуациях в таких сетях, согласно ПУЭ, следует применять защитное зануление.

Назначение зануления – устранение опасности поражения электрическим током при прикосновении к корпусу и другим металлическим ЭУ, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус.

Принцип действия зануления (рис. 7) основан на превращении замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание между фазным и нулевым защитным проводником (РЕ), при котором протекает большой ток короткого замыкания (КЗ) (по цепи «фаза – корпус – нулевой провод – фаза»), обеспечивающий срабатывание защиты (автоматов, предохранителей и т.п.), автоматически отключающей поврежденную установку от питающей сети. Для обеспечения надежного отключения необходимо, чтобы ток КЗ превышал номинальный ток плавкой вставки или ток уставки расцепителя автомата.

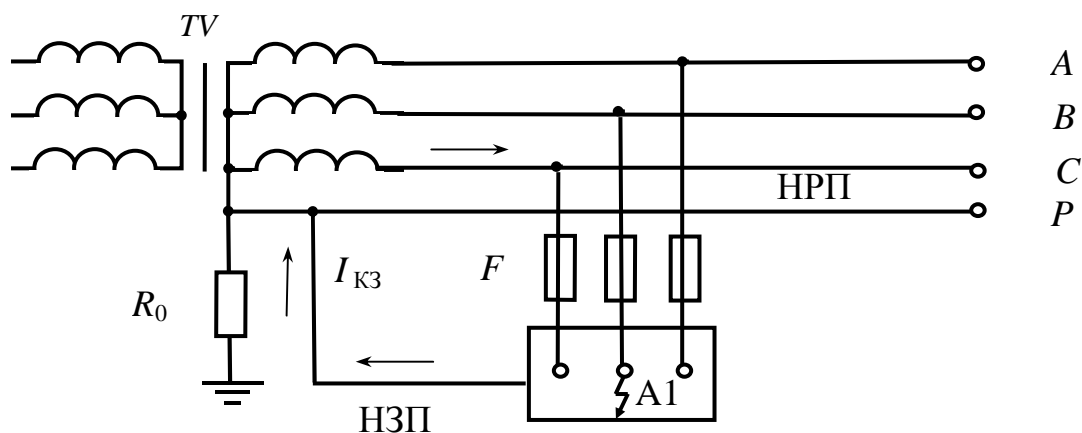


Рис. 7. Схема защитного зануления

Однако при такой схеме зануления на PEN-проводнике относительно «земли» всегда присутствовал потенциал, так как PEN-проводник использовался как нулевой рабочий, так и нулевой защитный. Поскольку, согласно ПУЭ, максимальное время отключения установки при напряжении 220 В составляет 0,4 с, то в течение этого времени корпус ЭУ находится под высоким напряжением (порядка 150 В). Также возможен обрыв нулевого проводника, что нарушает работу зануления. Для обеспечения электробезопасности в этих случаях дополнительно заземляют нулевой проводник с помощью повторных сопротивлений R_0 .

В заключение следует заметить, что защитное заземление и защитное зануление не обеспечивают безопасности человека в случае его прикосновения к токоведущим частям ЭУ или к фазному проводу. Иногда, например, в условиях низких температур снижается защитная роль этих мер. В таких случаях применяют устройства защитного отключения (УЗО) как основную или дополнительную защитную меру.

Измерение сопротивления растеканию тока с заземлителей. В лаборатории имеется лабораторная установка (ЛУ) с разными приборами для выполнения данной работы. Принцип действия приборов одинаков, хотя есть внешние конструктивные отличия.

Рассмотрим ЛУ, в которой для выполнения задания применяется широко распространенный на практике измеритель заземления М-416 (Ф4103), предназначенный для измерения сопротивления заземляющих устройств и для определения удельного сопротивления грунта. Прибор имеет четыре зажима: два токовых, обозначенных I_1 и I_2 , и два потенциальных – E_1 и E_2 .

Прибор М-416 имеет четыре диапазона измерения: 0,1 – 10 Ом; 0,5 – 50 Ом; 10 – 1000 Ом. Его принцип действия основан на компенсационном методе с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда).

Порядок выполнения работы

1. Определение удельного сопротивления грунта.

1. Получите задание у преподавателя и впишите данные со стенда в таблицу.

2. Соберите схемы согласно рис. 8 и измерьте сопротивление грунта R_1 , $R_{ст}$, $R_{зонд}$, $R_{всп}$.

Для их измерений необходимо:

– установить переключатель Π_1 в положение « $\times 1$ » или « $\times 5$ » (в зависимости от предполагаемого значения сопротивления заземления), а переключатель Π_2 – в положение «Измерение».

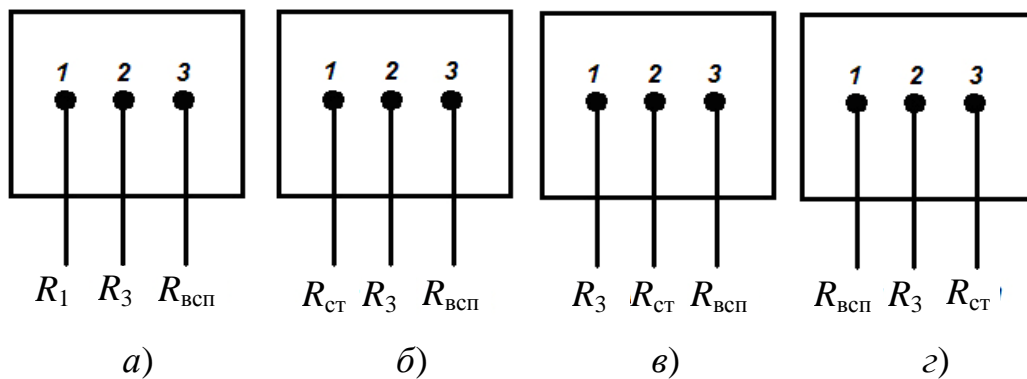


Рис. 8. Схемы подключения прибора М-416 для измерения сопротивления:

а – грунта; б – станка; в – зонда; г – вспомогательного заземлителя

Нажатием кнопки и вращением ручки «Реохорд» добиться нулевого положения индикатора. Если $R_{ЗУ}$ больше 10 Ом установить переключатель в положение « $\times 5$ », « $\times 20$ », « $\times 100$ », повторить измерение и результат считывания со шкалы реохорда умножить на множитель;

– при собранной схеме нажать кнопку, одновременно поворачивать ручку «Реохорд», добиваясь нулевого показания индикатора;

– сопротивление заземления равно показанию по шкале реохорда, умноженному на коэффициент, установленный положением переключателя Π_1 .

3. Занести полученные результаты измерений R_1 , $R_{ст}$, $R_{зонд}$, $R_{всп}$ в таблицу бланка отчета.

4. По данным опыта рассчитать удельное сопротивление грунта, Ом · см:

$$\rho_{\text{изм}} = \frac{2\pi l_1 R_1}{\ln \frac{4l_1}{d_1}} = 2,73 \frac{l_1 R_1}{\lg \frac{4l_1}{d_1}},$$

где R_1 – сопротивление, измеренное прибором М-416 (М 1103); l_1 – глубина забивки трубы, см; d_1 – диаметр трубы, см.

2. Расчет заземляющего устройства.

1. По значению $\rho_{\text{изм}}$ определите вид грунта и значение коэффициента сезонности φ из табл. 1 и 2.

Таблица 1

Удельное сопротивление грунта

Характер грунта	Удельное сопротивление, Ом · см · 10 ⁴	
	при влажности 10 – 20 % к весу почвы для предварительных расчетов	предел колебаний
Песок	7	4 – 7
Каменистый грунт	–	1,5 – 4
Супесь	3	1,5 – 4
Лес	2,5	1 – 3
Чернозем	2	0,09 – 5,3
Суглинок	1	0,4 – 1,5
Глина	0,4	0,08 – 0,7
Садовая земля	0,4	0,2 – 0,6
Торф	0,2	0,1 – 0,3
Речная вода	0,5	0,1 – 0,8
Морская вода	0,01	0,002 – 0,01

**Значения климатических коэффициентов в зависимости
от вида грунта и глубины заложения заземлителей**

Характер грунта	Глубина заложения h , м	Климатический коэффициент		
		φ_1	φ_2	φ_3
Суглинок	0,5 – 0,8	3,0	2,0	1,5
Суглинок	0,8 – 3,8	2,0	1,5	1,4
Садовая земля до глубины 0,6м, ниже – слой глины	0 – 3	–	1,32	1,2
Гравий с примесью глины, ниже – глина	0 – 2	1,8	1,2	1,1
Известняк	0 – 2	2,5	1,51	1,2
Гравий с примесью песка	0 – 2	1,5	1,3	1,2
Торф	0 – 2	1,4	1,1	1,0
Песок	0 – 2	2,4	1,56	1,2
Глина	0 – 2	2,4	1,36	1,2

Примечание. Выбирается значение: φ_1 – если измерения сопротивления грунта выполнялись при большой влажности грунта; φ_2 – если измерения производились при средней влажности; φ_3 – если измерения осуществлялись при сухом грунте.

2. Определите значение расчетного удельного сопротивления грунта $\rho_{\text{расч}}$, Ом · см, из выражения $\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{изм}} \varphi$.

3. Рассчитайте сопротивление растеканию тока одиночного трубчатого заземлителя $R_{\text{тр}}$, Ом, забитого на некоторую глубину h от поверхности земли, по формуле

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = 0,366 \frac{\rho_{\text{расч}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

где $\rho_{\text{расч}}$ – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом · см; l – длина трубы, см; d – диаметр трубы, см; t – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, см; $t = h + \frac{1}{2}l$.

4. Определите приближенное число заземлителей

$$n = R_{\text{тр}} / R_{\text{доп}},$$

где $R_{\text{доп}}$ – допустимое сопротивление защитного заземления, Ом (для напряжения 380 В $R_{\text{доп}} = 4$ Ом). При получении нецелого числа округлите его значение в большую сторону.

5. По приближенному числу заземлителей из рис. 9, 10 определите коэффициент использования заземлителей $\eta_{\text{тр}}$.

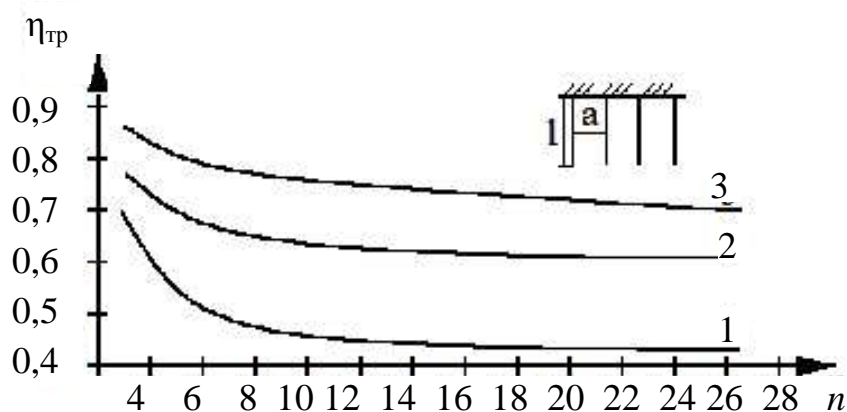


Рис. 9. График для определения коэффициента использования $\eta_{\text{тр}}$ заземлителей из труб (уголков), размещенных по контуру, без учета влияния полосы связи

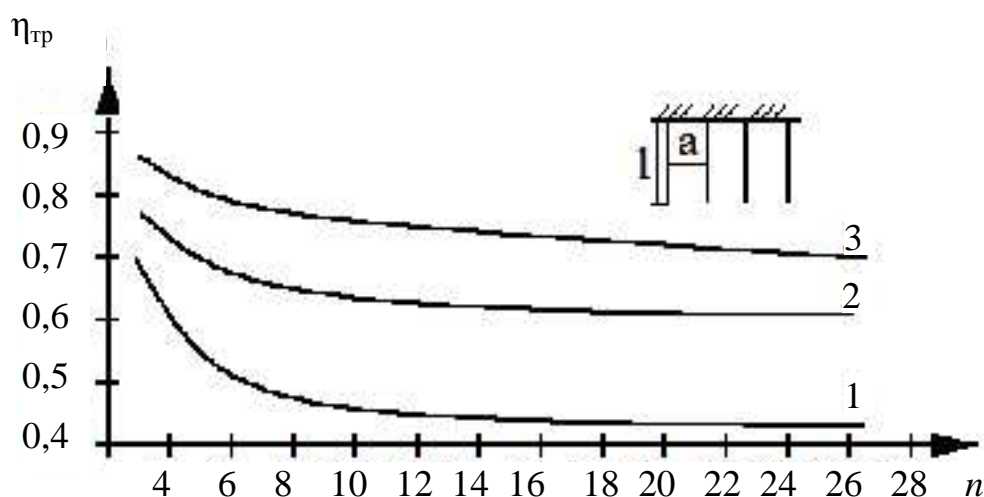


Рис. 10. График для определения коэффициента использования $\eta_{\text{тр}}$ заземлителей из труб (уголков), размещенных в ряд, без учета влияния полосы связи

6. Определите число заземлителей с учетом $\eta_{\text{тр}}$, округлив его в большую сторону:

$$n = \frac{R_{\text{тр}}}{R_{\text{доп}} \eta_{\text{тр}}}.$$

7. Определите длину полосы L , соединяющей заземлители, по формулам:

$$L = 1,05a n$$

– при расположении заземлителей по контуру;

$$L = 1,05a(n - 1)$$

– при расположении заземлителей в ряд, где a – расстояние между заземлителями, см; n – число заземлителей.

8. Определите сопротивление полосы $R_{\text{п}}$, Ом, уложенной на заданную глубину h от поверхности земли:

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{bh} = 0,366 \frac{\rho_{\text{рас}}}{L} \lg \frac{2L^2}{bh},$$

где L – длина полосы, см; b – ширина полосы, см; h – глубина заложения, см.

9. Определите общее сопротивление заземляющего устройства $R_{\text{общ}}$, Ом, по формуле

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{тр}} R_{\text{п}}}{n R_{\text{п}} \eta_{\text{тр}} + R_{\text{тр}} \eta_{\text{п}}},$$

где $\eta_{\text{п}}(n)$ – коэффициент использования полосы при различных отношениях a/l (определяется из рис. 11, 12).

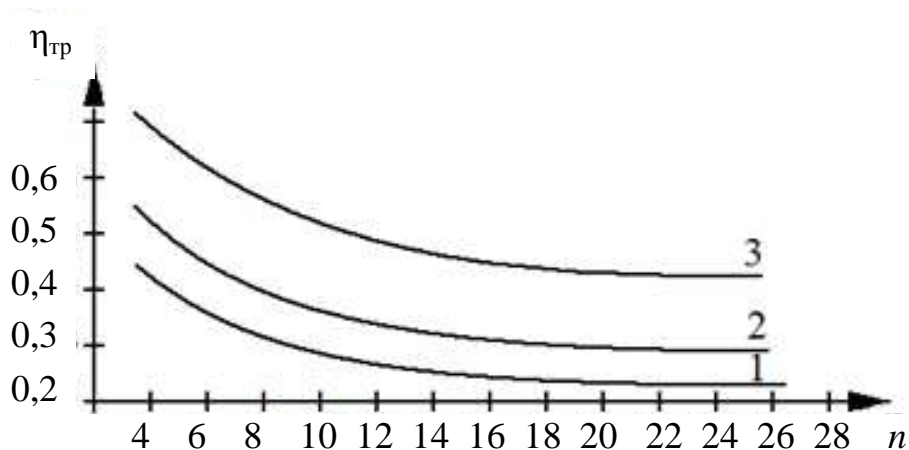


Рис. 11. График для определения коэффициента использования $\eta_{\text{п}}$ соединительной полосы в контуре из труб (уголков)

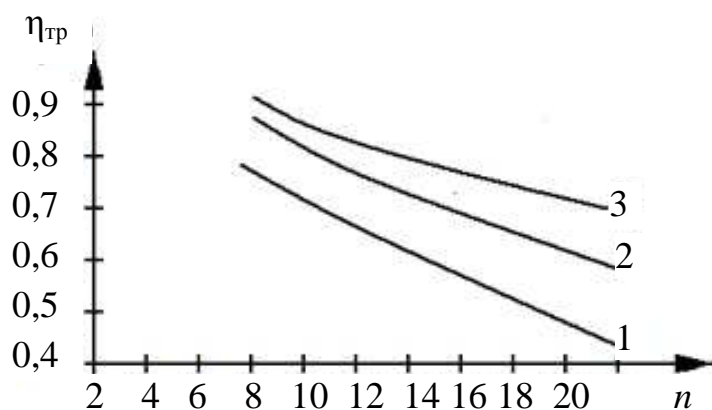


Рис. 12. График для определения коэффициента использования $\eta_{\text{п}}$ соединительной полосы в ряду труб (уголков) к магистрали заземления здания

10. Расчетные данные внесите в таблицу бланка отчета и начертите эскиз заземляющего устройства.

Контрольные вопросы

1. Целесообразно ли применение защитного заземления в сетях с изолированной нейтралью и в каких случаях?
2. Зависит ли эффективность защитного заземления от значения его сопротивления? Если зависит, то каким образом?
3. Целесообразно ли применение защитного заземления в сетях с глухозаземленной нейтралью и почему?

4. Целесообразно ли применение зануления в сетях с глухозаземленной нейтралью и почему?

5. Зависит ли эффективность зануления от сопротивления образующейся петли короткого замыкания? Если зависит, то каким образом?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ

Цель работы: оценить эффективность защитного заземления и зануления в электроустановках, питающихся от сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

Основные теоретические положения изложены в работе 2.

Порядок выполнения работы

Лабораторный стенд представляет собой настольную конструкцию с вертикальной передней панелью.

На лицевой панели стенда изображена мнемосхема исследуемой системы, которая содержит изображение источника питания, фазных и защитных проводников, электропотребителей и выключателей. Индикация наличия фазных напряжений осуществляется тремя светодиодными индикаторами: желтым (фаза A), зеленым (фаза B) и красным (фаза C).

На поле мнемосхемы, рядом с изображениями элементов моделируемой сети, размещены коммутационные элементы с соответствующими буквенно-цифровыми обозначениями.

Индикация токов и напряжений в моделируемой трехфазной сети, а также измерение времени срабатывания автоматического выключателя «корпуса 2» осуществляется встроенными цифровыми измерительными приборами.

Лабораторный стенд включается трехфазным автоматом S_2 . При

этом загораются индикаторы, расположенные рядом с фазными проводами.

Лабораторный стенд имеет три измерительных прибора: вольтметр, амперметр и миллисекундомер. Вольтметр включается в измерительные цепи через гнезда X1 – X15, установленные в соответствующих точках схемы, с помощью гибких проводников. Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При подключении амперметра загорается соответствующий светодиод, указывающий на место подключения. Положение «ОТКЛ» означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении А1 измеряется ток короткого замыкания, в положении А2 – ток, стекающий с заземлителя корпуса 2, в положении А3 – ток замыкания на землю через повторное заземление РЕ-проводника.

Исследование защитного заземления электрической сети с изолированной нейтралью

Собрать электрическую цепь с изолированной нейтралью (S_N – разомкнут, тумблер в нижнем положении). Далее:

- заземлить корпус электроприемника 2, соединяя его перемычкой с R_3 ;

- установить последовательно сопротивление изоляции $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{NE} = 20; 10; 5; 1$ кОм;

- замкнуть выключатель S_2 , имитировать замыкание фазы на корпус электроприемника 2, замыкая S_{K32} (светодиоды на кнопках S_2 и S_{K32} светятся);

- снять показания с амперметра A_1 , измеряющего электрический ток замыкания в цепи «приемник (ЭП) 2 – амперметр A_1 – сопротивление защитного заземления R_{3M2} – сопротивление изоляции проводов относительно земли $R_{AE} = R_{CE} = R_{NE}$ – поврежденная фаза В»;

- занести результаты измерений в табл. 1.

После каждого измерения необходимо провести сброс показаний приборов нажатием кнопки «Сброс».

На стенде ток фиксируется через заземлитель. Определить по-

тенциал прикосновения и ток, проходящий через человека, приняв сопротивление заземлителя равным 4 Ом и человека – 1000 Ом.

Исследование эффективности защитного зануления в электрической сети с глухозаземленной нейтралью

Собрать электрическую сеть с глухозаземленной нейтралью (S_N – замкнут, тумблер в верхнем положении). Далее:

– соединить корпус электроприемника 2 с нулевым защитным проводником РЕ (соединить проводник X_2 с X_{PE2});

– замкнуть выключатель S_2 , имитировать замыкание фазы B на корпус электроприемника 2, замыкая S_2 и S_{KS2} (светодиоды на кнопках S_2 и S_{KS2} светятся);

– изменить сопротивление нулевого защитного проводника R_{PE} переключателем $S_{RPE} = 0,5; 0,2; 0,1$ Ом и переходное сопротивление $R_{пер}$, имитирующего соединение корпуса электроприемника 2 с РЕ-проводником, переключателем $S_{RAEP} = 0,5; 0,1; 0$ Ом;

– снять показания с амперметра $A1$, измеряющего ток короткого замыкания в цепи «фаза – корпус – $R_{пер}$ – R_{PE2} – шумовая точка источника электропитания» (в практике эксплуатации называемая «петля фаза – шумовой защитный проводник»);

– по электронному секундомеру зафиксировать время T (мс) отключения S_2 (срабатывание защитного зануления);

– изменяя значения $R_{пер}$ и R_{PE2} , провести измерение, занося показания $I_{КЗ}$ и T в табл. 3.

Таблица 3

$R_{PE2}, \text{ Ом}$	$R_{пер} = 0,5 \text{ Ом}$		$R_{пер} = 0,1 \text{ Ом}$		$R_{пер} = 0 \text{ Ом}$	
	$I_1, \text{ А}$	$T, \text{ мс}$	$I_1, \text{ А}$	$T, \text{ мс}$	$I_1, \text{ А}$	$T, \text{ мс}$

4. По данным варианта, выданного преподавателем, произвести расчет защитного заземления. Исходные данные вариантов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Номер варианта	ρ , Ом \cdot см $\cdot 10^4$	l , см	D , см	a , см	b , см	h , см	φ
1	4,5	180	6	360	6	70	φ_1
2	1,5	200	5	400	5	60	φ_2
3	1,1	220	6	220	4	50	φ_3
4	0,8	230	5	460	5	60	φ_4
5	0,4	250	4	500	6	50	φ_5

Примечание. ρ – удельное сопротивление грунта, Ом см; l – длина одиночного заземлителя (трубы), см; d – диаметр трубы, см; a – расстояние между заземлителями, см; b – ширина полосы, мм; h – глубина заземления, см; φ – климатический коэффициент.

Допустимое сопротивление защитного заземления для всех вариантов составляет $R_{\text{доп}} = 4$ Ом.

Расстояние T , см, от поверхности земли до середины заземлителя t вычислить по формуле

$$T = h + l/2.$$

Формулы для расчета заземлителя даны в работе 2.

Результаты расчетов занести в табл. 5.

Таблица 5

Общее сопро- тивление зазем- ления, $R_{\text{общ}}$, Ом	Ха- рактер грунта	Число за- зем- лителей n	Клима- тический коэффи- циент Φ	Удельное сопро- тивление грунту	Длина по- лосы L , м	Сопро- тивление полосы $R_{\text{п}}$, Ом	Коэффи- циент эк- ранирова- ния	
							зазем- лителя	полосы $H_{\text{п}}$

По результатам расчетов данных нарисовать эскиз заземляющего устройства и обосновать его конфигурацию и тип: групповой (горизонтальный и вертикальные заземлители, расположенные в ряд) или контурный выносной.

Контрольные вопросы

1. Что называется защитным заземлением?
2. Укажите область применения защитного заземления?
3. Объясните принцип действия защитного заземления.
4. Что называется защитным занулением?
5. Укажите область применения защитного зануления.
6. На чем основан принцип действия защитного зануления?
7. Укажите принципиальную разницу между защитным заземлением и занулением.
8. Что представляет собой климатический коэффициент сезонности при расчете заземляющего устройства?
9. Чему равно предельно допустимое значение сопротивления заземляющего устройства при напряжениях 380 В и 6 кВ?
10. В каких случаях целесообразно выполнять защитное заземление в ряд, а в каких – по контуру?
11. Как изменяется сопротивление заземляющего устройства при изменении влажности грунта?
12. Каково время срабатывания отключающих автоматов, предохранителей в устройствах защитного зануления?
13. От чего зависит эффективность работы защитного заземления?
14. В каких случаях безопасность человека не могут обеспечить ни защитное заземление, ни защитное зануление?

Лабораторная работа 4

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО СВЧ-ПЕЧЬЮ

Цели работы: ознакомиться с характеристиками электромагнитного излучения, нормативными требованиями к электромагнитному излучению; провести измерения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона в зависи-

мости от расстояния до источника и оценить эффективность защиты от СВЧ-излучения с помощью экранов.

1. Условия проведения работы

Стенд для проведения измерений уровня СВЧ-излучения содержит: микроволновую печь – источник излучения (частота излучения 2450 МГц, максимальная выходная мощность 800 Вт); координатное устройство, позволяющее регистрировать перемещение датчика СВЧ-сигнала (содержит полуволновой вибратор и СВЧ-диод) в пространстве; измеритель СВЧ-сигнала (милливольтметр ВЗ–38). Координатное устройство выполнено в виде планшета, на который нанесена координатная сетка. В качестве нагрузки в СВЧ-печи используется огнеупорный кирпич. На столешнице имеются гнезда для установки сменных защитных экранов, выполненных из следующих материалов: сетка из оцинкованной стали с ячейками 50 мм; сетка из оцинкованной стали с ячейками 10 мм; лист алюминиевый; полистирол; резина.

При выполнении лабораторной работы должны соблюдаться следующие требования безопасности:

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении измерений.
2. Запрещается работать с открытой дверцей СВЧ-печи.
3. Запрещается самостоятельно регулировать, ремонтировать панель управления, дверь или какие-либо другие части печи.
4. СВЧ-печь должна быть заземлена (занулена).
5. Не допускается включение и работа печи без нагрузки.
6. СВЧ-печь предназначена только для проведения лабораторной работы.

2. Порядок выполнения работы

1. Включение микроволновой печи.

Для выбора необходимой мощности следует установить ручку управления мощности печи (находится на лицевой панели печи справа сверху) на заданном уровне. Далее следует установить время

ее работы с помощью ручки таймера (находится на лицевой панели печи справа под ручкой управления мощности). С ее помощью можно установить время работы СВЧ-печи до 35 мин (рекомендуемое время измерений до 10 мин). После установки времени СВЧ-печь включается автоматически. После окончания времени работы печь выключается автоматически. Если во время измерений необходимо остановить работу СВЧ-печи, следует перевести ручку таймера в нулевое положение.

2. Измерение уровня СВЧ-излучений в зависимости от расстояния до источника.

Установить антенну СВЧ-сигнала на требуемую заданием отметку по оси Y и по оси X координатной сетки, а также на заданную высоту Z . Включить СВЧ-печь и провести по милливольтметру несколько измерений уровня СВЧ-излучения, изменяя расстояние от печи до антенны согласно варианту задания.

3. Измерение свойств защитных экранов.

Поместить антенну на указанном в задании расстоянии главной оси от СВЧ-печи. Зафиксировать показания вольтметра. Далее поочередно установить защитные экраны, измерить уровень СВЧ-излучения.

4. Измерение уровня электромагнитного излучения от мобильного телефона.

Поместить мобильный телефон на расстоянии приблизительно 1 см от антенны и измерить уровень излучения с помощью милливольтметра.

Экспериментальные данные по пунктам 1 – 4 занести в протокол и провести их обработку. Для пересчета показаний вольтметра ВЗ–38 следует использовать соотношение

$$1 \text{ мВ} = 0,0035 \text{ Вт/м}^2.$$

Для расчета эффективности экранирования следует применять соотношение

$$L = 20 \lg \frac{U_0}{U_3},$$

где L измеряется в дБ; U_0 – показания милливольтметра без экрана; $U_э$ – показания милливольтметра экраном.

На основании полученных значений плотности потока энергии рассчитать время безопасного пребывания на различных расстояниях от СВЧ-печи ($T = 2 / \text{ППЭ}_{\text{изм}}$, ч), а также расстояние от СВЧ-печи, на котором обеспечивается безопасная работа в течение рабочего дня (8 ч) без применения защитных средств. Определить время безопасного пользования мобильным телефоном. Также провести сравнительный анализ защитных свойств исследуемых материалов.

Варианты заданий

Номер варианта	Мощность, Вт	Расположение антенны по оси X, см	Расположение антенны по оси Y, см	Расположение антенны по оси Z, см	Расстояние антенны от экранов, см
1	800	5, 10, 20, 25, 30, 40, 50	0	15	5
2	700	5, 10, 15, 20, 30, 40, 55	+20	20	5
3	600	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50	– 20	15	4
4	800	5, 10, 20, 25, 30, 40, 50	+10	15	3
5	700	5, 10, 15, 20, 25, 35, 45	– 10	20	3

Примечание. Знак «+» (плюс) означает смещение антенны по оси Y вправо, знак «–» (минус) – смещение влево. При измерении свойств защитных экранов антенна устанавливается на высоте, указанной в пункте «Расположение по оси Z».

Контрольные вопросы

1. С помощью каких характеристик описывается электромагнитное СВЧ-излучение?
2. От чего зависит степень воздействия электромагнитного СВЧ-излучения?
3. Каковы особенности воздействия электромагнитного СВЧ-излучения при пороге выше теплового?

4. На какие системы организма человека воздействует излучение при пороге ниже теплового? Каковы результаты этого воздействия?
5. В каких нормативных документах приведены допустимые уровни электромагнитных излучений?
6. От чего зависит допустимый уровень электромагнитного СВЧ-излучения? Какова его величина?
7. От чего зависит уровень излучения на рабочем месте?
8. Какие имеются защитные меры от воздействия электромагнитных излучений?
9. Что такое затухание в 3 дБ?
10. Какие бывают защитные экраны по принципу действия?
11. Каковы требования к защитным экранам отражающего типа, выполненным в виде сетки?
12. Каковы особенности эксплуатации мобильных телефонов?

Литература

1. Безопасность жизнедеятельности. Учеб. для вузов / Под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 2004. – 606 с.
2. Князевский Б.А. и др. Электробезопасность в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 424 с.
4. ГОСТ 12.1.009–2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения. – М., 2010.
5. ГОСТ 12.1.019–2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования. – М., 2010.
6. ГОСТ 12.1.030–81 2001. Система стандартов безопасности труда. Защитное заземление, зануление. – М., 2002.
7. ГОСТ 12.1.038–82 2001. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М., 2002.
8. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 640 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 424 с.
10. ПОТ РМ-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Минэнерго, 2001. – 156 с.

Содержание

Введение	3
Краткие теоретические положения	4
1. Действие электрического тока на организм человека	4
2. Особенности электробезопасности на промышленных предпри- ятиях	8
3. Основные причины электротравматизма	11
4. Технические защитные меры	12
5. Общие правила электробезопасности при обслуживании техноло- гического оборудования	14
6. Оказание первой помощи пострадавшим от электрического тока....	17
Лабораторная работа 1. Исследование электрического со- противления тела человека	24
Лабораторная работа 2. Исследование эффективности за- щитных мер в электроустановках	34
Лабораторная работа 3. Исследование эффективности за- щитного заземления и зануления	49
Лабораторная работа 4. Измерение уровня электромаг- нитного поля, создаваемого СВЧ-печью	53
Литература	57

Редактор-корректор *Н.А.Бачурина*
Технический редактор *Т.С. Камыгина*
Лицензия А № 165724 от 11.04.06 г.

Подписано к печати 25.05.12 г. Тир. 4.
Уч.-изд. л. 2,5. Усл. печ. л. 3,49. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.
Гарнитура Таймс. Зак.

ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный
университет»
162600, г. Череповец, пр. Луначарского, д. 5.