

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

## **ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ**

**сборник учебно-методических материалов**

для направления подготовки

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

Благовещенск, 2017

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
энергетического факультета  
Амурского государственного  
университета*

*Составители: Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г.*

Электробезопасность: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки

13.03.01, 13.03.02, 15.03.04 – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра энергетики, 2017

© Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г., составление

## Содержание

1.	КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА .....	3
2.	МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ .....	50
	2.1 Определение влияния режима электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности.....	53
	2.2 Определение зависимостей, характеризующих явление при стекании тока в землю через защитный заземлитель.....	59
	2.3 Определение зависимостей, характеризующих электрическое сопротивление тела человека	68
	2.4 Натурное моделирование зануления электрооборудования.....	72
	2.5 Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью .....	77
	2.6 Измерение сопротивления заземления .....	80
	2.7 Натурное моделирование защитного заземления/самозаземления электрооборудования.....	84
	2.8 Натурное моделирование защитного отключения электрической сети .....	90
3.	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.....	93
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	104

## 1. КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

### 1. Действие электрического тока на организм человека

Действие электрического тока на живую ткань в отличие от действия других материальных факторов (пара, химических веществ, излучений и т.п.) носит своеобразный и разносторонний характер. В самом деле, проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое и механическое (динамическое) действия, являющимися обычными физико-химическими процессами, присущими как живой так и неживой материи; кроме того, электрический ток производит и биологическое действие, которое является специфическим процессом, свойственным лишь живой ткани.

**Термическое действие тока** проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, крови, нервной ткани, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства (т.е. расстройства их специфической деятельности).

**Электролитическое действие тока** выражается в разложении органической жидкости, в том числе крови, что сопровождается значительными нарушениями их физико-химического состава.

**Механическое (динамическое) действие тока** проявляется в возникновении давления в кровеносных сосудах и тканях организма при нагреве крови и другой жидкости, а также смещении и механическом напряжении тканей в результате непроизвольного сокращения мышц и воздействия электродинамических сил.

**Биологическое действие тока** проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями.

Электрический ток, проходя через организм, раздражает живые ткани, вызывая в них ответную реакцию – возбуждение, являющееся одним из основных физиологических процессов и характеризующееся тем, что живые образования переходят из состояния относительного физического покоя в состояние специфической для них деятельности.

Так, если электрический ток проходит непосредственно через мышечную ткань, то возбуждение, обусловленное раздражающим действием тока, проявляется в виде непроизвольного сокращения мышц. Это так называемое прямое или непосредственное раздражающее действие тока на ткань, по которой он проходит.

Однако действие тока может быть не только прямым, но и рефлекторным, т.е. через центральную нервную систему. Иначе говоря, ток может вызвать возбуждение и тех тканей, которые не находятся на его пути. Дело в том, что электрический ток, проходя через тело человека, вызывает раздражение рецепторов – особых клеток, имеющих в большом количестве во всех тканях организма и обладающих высокой чувствительностью к воздействию факторов внешней и внутренней среды.

Раздражение рецепторов приводит в возбуждение находящиеся возле них чувствительные нервные окончания, от которых волна возбуждения в виде нервного импульса передается со скоростью примерно 27 м/с по нервным путям в центральную нервную систему (т.е. в спинной и головной мозг).

Центральная нервная система перерабатывает полученный нервный импульс и передает его подобно исполнительной команде к рабочим органам – мышцам, железам, сосудам, которые могут находиться вне зоны прохождения тока.

При обычных естественных раздражениях рецепторов центральная нервная система обеспечивает целесообразную ответную деятельность соответствующих органов тела. Например, при случайном прикосновении к горячему предмету человек непроизвольно отдергивает руку, чем избавляется от опасного воздействия. В случае же чрезмерного или необычного для организма раздражающего действия, например электрического тока, центральная нервная система может

подать нецелесообразную исполнительную команду, что может привести к серьезным нарушениям деятельности жизненно важных органов, в том числе сердца и легких, даже если эти органы не лежат на пути тока. Правда подобное явление бывает редко.

Как известно, в живой ткани, и в первую очередь в мышцах, в том числе и в сердечной мышце, а также в центральной и периферической нервной системе постоянно возникают электрические потенциалы – биопотенциалы, которые связаны с возникновением и распространением процесса возбуждения, т.е. с переходом живой ткани в состояние активной деятельности. Внешний ток, взаимодействуя с биотоками, значения которых весьма малы, может нарушить нормальный характер их воздействия на ткани и органы человека, подавить биотоки и тем самым вызвать серьезные расстройства в организме вплоть до его гибели.

Указанное многообразие Действий электрического тока на организм нередко приводит к различным электротравмам.

**Электротравма** – это результат воздействия на организм человека электрического тока или электрической дуги. (*т.е. это резкое, внезапное изменение здоровья*)

Условно все электротравмы разделяют на три вида:

- 1) *местные электротравмы, 20%;*
- 2) *общие (электрические удары) электротравмы, 25%;*
- 3) *смешанные электротравмы (местные электротравмы и электрические удары одновременно), 55%.*

Приблизительное распределение по видам электротравм в процентах от всех несчастных случаев, связанных с электротравмами в промышленности.

**Местные электротравмы** - четко выраженные местные нарушения тканей организма, чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. повреждения кожного покрова, иногда мягких тканей, а также суставных сумок и костей. Местные электротравмы излечиваются, и работоспособность человека восстанавливается полностью или частично.

Характерные виды местных электротравм - *электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения.*

Наиболее распространенные местные электротравмы - электрические ожоги. Они составляют 60 - 65 %.

Различают токовый (контактный) и дуговой ожоги.

**Контактный ожог** - это поражения тканей в местах входа, выхода и на пути движения электротока, возникают в результате контакта человека с токоведущей частью. Эти ожоги возникают при эксплуатации электроустановок относительно небольшого номинального напряжения (не выше 1—2 кВ), они сравнительно легкие.

**Дуговой ожог** - это ожог, обусловленный воздействием электрической дуги, создающей высокую температуру. Дуговой ожог возникает при работе в электроустановках различных напряжений, часто является следствием случайных коротких замыканий в установках выше 1кВ и до 10 кВ или ошибочных операций персонала. Поражение возникает от пламени электрической дуги или загоревшейся от нее одежды.

**Электрические знаки** - это четко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи человека, подвергнувшегося действию тока. Знаки имеют круглую или овальную форму с углублением в центре. Они бывают в виде царапин, небольших ран или ушибов, бородавок, кровоизлияний в коже и мозолей.

**Металлизация кожи** - это внедрение в кожу мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги. Это возможно при коротких замыканиях, отключениях разъединителей и рубильников под нагрузкой и т. п.

**Электроофтальмия** - это воспаление наружных оболочек глаз из-за воздействия ультрафиолетового излучения дуги, возникает сравнительно редко (1-2% пострадавших), чаще всего при проведении электросварочных работ.

**Механические повреждения** - это следствие резких произвольных судорожных сокращений мышц под действием электрического тока. В результате могут произойти разрывы

сухожилий, кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани; могут быть вывих суставов и даже переломы костей.

Механические повреждения происходят при работе в основном в электроустановках до 1000 В при относительно длительном воздействии тока.

**Электрический удар** - это поражение организма электрическим током, при котором возбуждение живых тканей сопровождается судорожным сокращением мышц. При этом исход воздействия тока на организм может быть различен - от легкого, едва ощутимого судорожного сокращения мышц пальцев руки до прекращения работы сердца или легких, т. е. до смертельного поражения.

### **Факторы, влияющие на тяжесть поражения электрическим током.**

Электрический ток - очень опасный и коварный поражающий «недруг»: человек без приборов не способен заблаговременно обнаружить его наличие, поражение наступает внезапно. Более того, его отрицательное воздействие может проявиться не сразу: человек может погибнуть спустя несколько суток после электрического удара.

Основными факторами, определяющими исход поражения, являются: величина тока и напряжения, продолжительность воздействия тока, сопротивление тела, петля («путь») тока, прерывистость тока, род тока и частота, прочие факторы.

Исход поражения человека электрическим током и тяжесть электротравмы зависят от ряда факторов (рис. 1):

**Сила (значение) тока** - основной фактор, обуславливающий ту или иную степень поражения человека.

По степени физиологического воздействия можно выделить следующие токи:

- **пороговый осязаемый ток** - наименьшее значение тока, вызывающего осязаемые раздражения; (0,5 - 1,5 мА);
- **пороговый неотпускающий (приковывающий) ток** - наименьшее значение тока, вызывающее судорожные сокращения мышц, не позволяющие пораженному освободиться от источника поражения; (6 - 10 мА);
- **пороговый фибрилляционный ток** - наименьшее значение тока, вызывающее фибрилляцию сердца; (50 - 100 мА). Он является расчетным поражающим током. При этом необходимо иметь ввиду, что вероятность поражения таким током при продолжительности его воздействия не менее 0,5 с.

*(Фибрилляцией называют хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы, полностью нарушающие ее работу.)*



**Рис.1. Факторы, влияющие на исход поражения током**

**Величина напряжения.** Можно привести десятки примеров, когда люди гибнут от 5-12 В, и есть случаи «не поражения» человека при воздействии напряжения 6-10 кВ (6000 В) - при психологической готовности к электрическому удару, кратковременном воздействии тока, своевременном грамотном оказании доврачебной помощи пострадавшему - наружный массаж сердца, искусственную вентиляцию лёгких. Налицо факт: сколько условий, столько и напряжений.

**Продолжительность воздействия тока.** Этот фактор имеет не только физиологическое, но и практическое значение при проектировании устройств защитного отключения. Длительность воздействия существенно влияет на исход поражения, так как с течением времени резко падает сопротивление кожи человека, более вероятным становится поражение сердца, и возникают другие отрицательные последствия.

Установлено, что поражение электрическим током возможно лишь в стоянии полного покоя сердца человека, когда отсутствуют сжатие (систола) или расслабление (диастола) желудочков сердца и предсердий. Поэтому при малом времени воздействие тока может не совпадать с фазой полного расслабления.

Таблица 1 - Средние значения пороговых токов

Ток	Значение тока, мА		
	ощутимого	неотпускающего	фибрилляционного
Переменный	0,5 ... 1,5	6 ... 10	50 ... 100
Постоянный	5,0 ... 20	50 ... 80	300

*Для женщин пороговые значения тока приблизительно в 1,5 ниже.*

**Сопротивление тела.** Тело человека является отличным проводником электрического тока, и проводимость живой ткани в отличие от обычных проводников обусловлена не только физическими свойствами, но и сложнейшими биохимическими процессами, присущими только живой материи.

Поэтому сопротивление - величина непостоянная, зависит от конкретных условий. Из этого можно сделать вывод, что сопротивление тела человека определяется в основном величиной наружного, сопротивления, а конкретно - состоянием кожи рук толщиной всего лишь 0,2 мм (в первую очередь ее наружным слоем - эпидермисом).

**Общее сопротивление тела** за счет сопротивления верхнего слоя кожи достаточно велико, но как только этот слой повреждается - его значение резко снижается. При расчетах, связанных с электробезопасностью, сопротивление тела человека принимают равным 1000 Ом.

Сопротивление уменьшается под действием следующих факторов: высокое напряжение; влажность кожи (потение ладоней); длительное время воздействия; понижение парциального давления кислорода в воздухе (доля кислорода - 21 % - уменьшается в воздухе): в горах, в плохо проветриваемых помещениях человек становится существенно более уязвимым; повышение содержания углекислого газа в воздухе; высокая температура воздуха; беспечность, психическая неподготовленность к возможному электрическому удару.

Действительно, если оценить факт сопротивления кожи в относительных единицах и его за 1, то сопротивление внутренних тканей, костей, лимфы, крови составит 0,1 - 0,2, а сопротивление нервных волокон - всего лишь 0,025 («нервы» - отличные проводники электрического тока!).

Кстати, именно поэтому опасно приложении электродов к так называемым акупунктурным точкам. Так как они соединены нервными волокнами, поражающий ток может возникнуть при очень малых напряжениях.

Сопротивление тела не является постоянной величиной:

- в условиях повышенной влажности оно снижается в 12 раз,
- в воде – в 25 раз,
- резко снижает его принятие алкоголя.

Зато во время сна оно возрастает в 15-17 раз.

### ***Влияние места приложения электродов на сопротивление тела человека.***

Место приложения электродов оказывает влияние потому, что сопротивление кожи у одного и того же человека неодинаково на разных участках тела. Кроме того, различным (хотя и в незначительных пределах) оказывается и внутреннее сопротивление за счет изменения длины пути тока по внутренним тканям организма. Разница в значениях сопротивления кожи на разных участках тела объясняется рядом факторов:

- а) различной толщиной рогового слоя кожи;
- б) неравномерным распределением потовых желез на поверхности тела;
- в) неодинаковой степенью наполнения кровью сосудов кожи.

*наименьшим сопротивлением обладает кожа лица, шеи, рук на участке выше ладоней и в особенности на стороне, обращенной к туловищу, подмышечных впадин, тыльной стороны кисти руки.*

### ***Путь тока в теле человека.***

Практикой и опытами установлено, что путь прохождения тока в теле человека играет существенную роль в исходе поражения. Так, если на пути тока оказываются жизненно важные органы - сердце, легкие, головной мозг, то опасность поражения весьма велика, поскольку ток воздействует непосредственно на эти органы.

Если же ток проходит иными путями, то воздействие его на жизненно важные органы может быть лишь рефлекторным, а не непосредственным. При этом опасность тяжелого поражения хотя и сохраняется, но вероятность ее резко снижается. Кроме того, поскольку путь тока определяется местом приложения токоведущих частей (электродов) к телу пострадавшего, влияние его на исход поражения проявляется еще и потому, что сопротивление кожи на разных участках тела различно.

*Возможных путей тока в теле человека, которые именуется также петлями тока, очень много.*

**Петля («путь») тока** через тело человека. При расследовании несчастных случаев, связанных с воздействием электрического тока, прежде всего, выясняется, по какому пути протекал ток. Человек может коснуться токоведущих частей (или металлических нетокведущих частей, которые могут оказаться под напряжением) самыми различными частями тела. Отсюда - многообразие возможных петель тока.

Однако характерными, обычно встречающимися в практике, являются не более 15 петель, причем самые распространенные из них 6 петель:

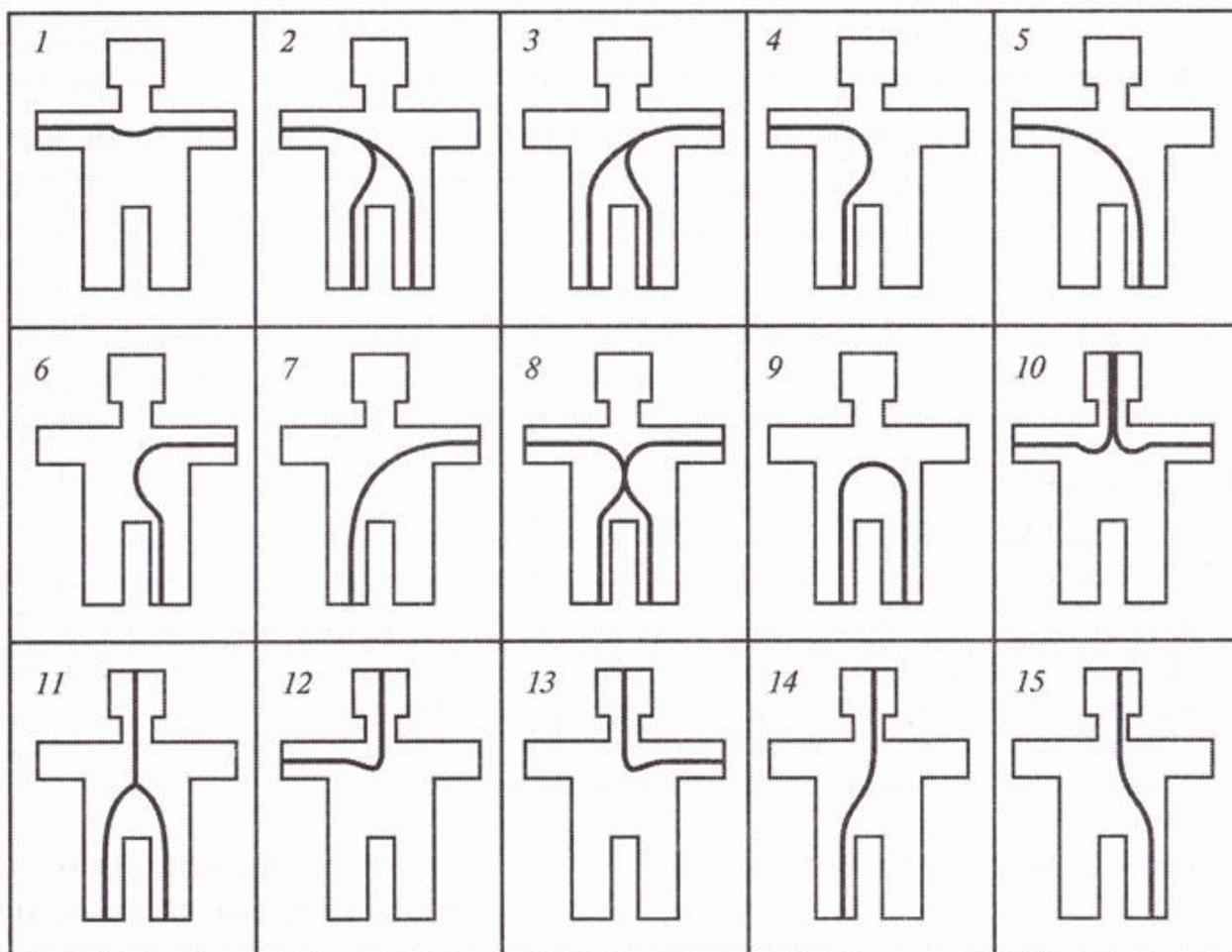
***рука — рука,  
правая рука – ноги,  
левая рука – ноги,  
нога - нога,  
голова – ноги,  
голова - руки.***

Наиболее вероятными признаны следующие: «правая рука - ноги» (20% случаев поражения); «левая рука - ноги» (17%); «обе руки - ноги» (12%); «голова - ноги» (5%); «рука - рука» (40%); «нога - нога» (6%),

Все варианты путей тока показаны на рисунке.

Петли называются **«большими»** или **«полными»** петлями, где ток захватывает область сердца. Они наиболее опасны. В этих случаях через сердце протекает 8-12 % от полного значения тока.

Петля «нога-нога» называется **«малой»**, через сердце протекает всего 0,4 % от полного тока. Эта петля в принципе малоопасная. Так в опытах к задним ногам собаки подавалось напряжение 1000 В в течение 12 с, и животное не погибло. Однако, вследствие «подкашивающего» действия тока, человек может упасть в потенциальном поле и тогда эта малоопасная петля превращается в любую опасную.



**Рис. 2. Характерные пути тока в теле человека (петли тока):**

1 — рука — рука; 2 — правая рука — ноги; 3 — левая рука — ноги; 4 — правая рука — правая нога; 5 — правая рука — левая нога; 6 — левая рука — левая нога; 7 — левая рука — правая нога; 8 — обе руки — обе ноги; 9 — нога — нога; 10 — голова — руки; 11 — голова — ноги; 12 — голова — правая рука; 13 — голова — левая рука; 14 — голова — правая нога; 15 — голова — левая нога

**Род и частоты тока** оказывают существенное влияние на степень поражения. Как следует из таблицы постоянный ток примерно в 4 - 5 раз безопаснее переменного тока частотой 50 Гц. Однако это характерно для относительно небольших напряжений (до 250 - 300 В). При более высоких напряжениях опасность постоянного тока возрастает. В интервале напряжений 400 - 600 В опасность постоянного тока практически равна опасности переменного тока с частотой 50 Гц, а при напряжении более 600 В постоянный ток опаснее переменного.

При попадании под постоянный ток особенно резкие болевые ощущения возникают в момент замыкания и размыкания электрической цепи.

С повышением частоты переменного тока, проходящего через тело человека, полное сопротивление тела уменьшается, а проходящий ток увеличивается.

**Прочие факторы.** Из причин, влияющих на вероятность поражения человека электрическим током и не указанных выше, можно выделить ещё целый ряд. Условно их можно подразделить на 2 группы и сформулировать следующим образом:

1. Всё, что увеличивает темп работы сердца, способствует повышению вероятности поражения. К таким причинам следует отнести усталость, возбуждение, голод, жажду, испуг, принятие алкоголя, наркотиков, некоторых лекарств, курение, болезни и т.п.

2. «Готовность» к электрическому удару, т.е. психологические факторы. Здесь, естественно, не идёт речь о привыкании к опасности и грубых нарушениях мер безопасности при работе в электроустановках.

**Индивидуальные особенности людей** в значительной степени определяют исход поражения. Ток, вызывающий лишь слабые ощущения у одного человека, может быть не отпускающим для другого. Характер воздействия при одном и том же значении тока зависит от состояния нервной системы и всего организма в целом, также от массы человека и его физического развития. Практикой установлено, что вполне здоровые и физически крепкие люди легче переносят электрические удары, чем больные и слабые.

**Параметры окружающей среды** оказывают существенное влияние на тяжесть и вероятность поражения электрическим током. Поверхность изолирующего материала может стать электропроводящей в результате загрязнения и/или смачивания. Пыль снижает изолирующие свойства конструкций; покрытый влажной грязью изолятор становится проводником. Опасны влажные помещения, пробой изоляции может произойти в скрытой проводке - в месте прохождения провода через отверстие в стене, а поражение может наступить от одновременного контакта с влажной поверхностью (стеной, полом) и деталью водопровода или водяного отопления.

В зависимости от условий, повышающих или понижающих опасность поражения человека электрическим током, все помещения делятся на (пуэ п.1.1.13):

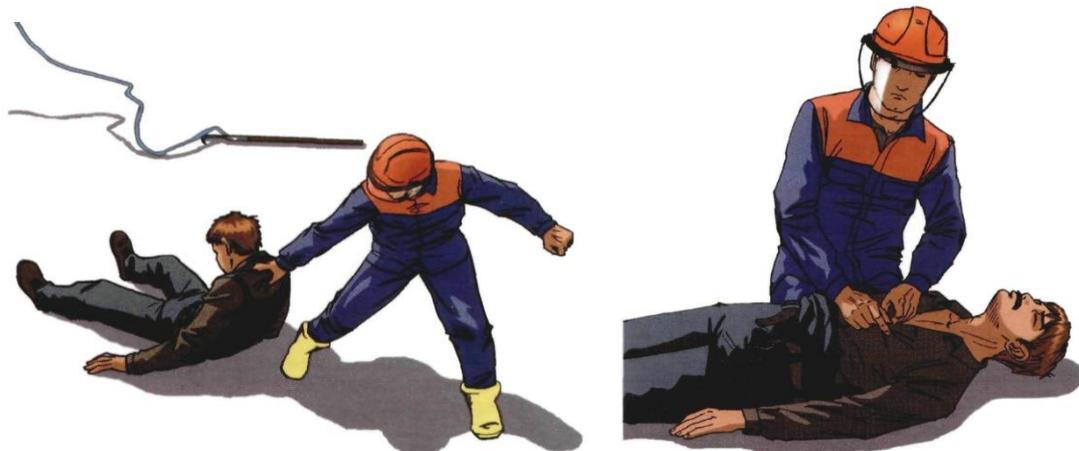
- *помещения с повышенной опасностью,*
- *особо опасные помещения,*
- *помещения без повышенной опасности.*

К помещениям с повышенной опасностью относятся помещения с повышенной влажностью (более 75%) или высокой температурой (выше 35°C), наличием токопроводящих пыли и полов, а также возможности одновременного прикосновения к элементам, соединённым с землей, и металлическим корпусам электрооборудования.

К особо опасным относятся помещения с высокой относительной влажностью (близкой к 100%), химически активной средой или одновременным наличием двух и более условий, соответствующих помещениям с повышенной опасностью.

## 2. Первая доврачебная помощь пострадавшему от электрического тока

При несчастных случаях первая помощь пострадавшим от электрического тока включает в себя два этапа: освобождение пострадавшего от действия тока и оказания ему доврачебной медицинской помощи.



Как известно, последствия от поражения током зависят от длительности прохождения его через тело человека, поэтому очень важно как можно быстрее освободить пострадавшего от тока и сразу же приступить к оказанию ему медицинской помощи. Это требование относится и к случаю

смертельного поражения током, поскольку период клинической смерти продолжается всего лишь несколько минут. Во всех случаях поражения человека током необходимо, не прерывая оказания ему первой помощи вызвать врача.

При поражении электрическим током нередко оказывается, что пострадавший продолжает быть в контакте с токоведущей частью и не может самостоятельно нарушить этот контакт, т.е. прервать проходящий через него ток, что резко усугубляет последствия поражения.

Выключение человека из цепи тока, или, как принято говорить, освобождение пострадавшего от действия тока можно осуществить несколькими способами. Однако первым действенным для освобождения пострадавшего от тока должно быть быстрое отключение той части электроустановки, которой он касается, предварительно позаботившись о собственной безопасности.

Отключение электроустановки осуществляется с помощью ближайшего рубильника, выключателя или иного отключающего аппарата, а также путем снятия или вывертывания предохранителей и т.п. При этом надо обезопасить возможное падение пострадавшего и исключить другие травмы. Если быстро отключить установку не удаётся, надо немедленно отделить пострадавшего от токоведущей части.

При невозможности быстрого отключения установки необходимо принять иные меры освобождения пострадавшего от действия тока. Так, в некоторых случаях можно прервать цепь тока через пострадавшего, перерубив провода или вызвав автоматическое отключение электроустановки, отделить пострадавшего от токоведущих частей, которых он касается, и т.п.

**При номинальном напряжении электроустановки до 1000 В**, при отсутствии электроззащитных средств (диэлектрические перчатки, изолирующие клещи, штанга и т. п.), можно пользоваться подручными средствами (сухой канат, доска, палка и др.).

*Правила освобождения пострадавшего от действия электрического тока:*

Правило первое. Надеть диэлектрические перчатки.

Правило второе. Отключить электрооборудование.

Правило третье. Освободить пострадавшего от контакта с электрооборудованием или электрическими проводами.

Правило четвертое. Подложить под пострадавшего диэлектрический коврик.

Правило пятое. Если в пределах видимости находятся все необходимые средства защиты, обязательно воспользоваться ими.

Правило шестое. Только в крайнем случае можно ограничиться лишь одним из перечисленных выше действий. (Кроме правила 4.)

**Помните о собственной безопасности!**

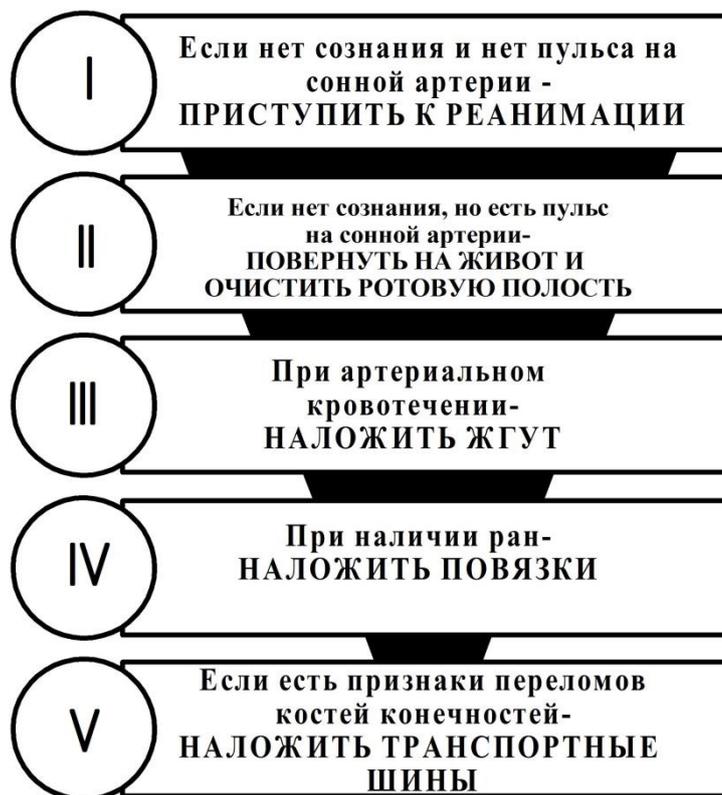
Нельзя браться за мокрую одежду или открытые участки тела пострадавшего.

**В электроустановках выше 1000 В** можно пользоваться лишь табельными электроззащитными средствами - основными (штанга, изолирующие клещи, указатель напряжения и т.п.) и дополнительными (диэлектрические перчатки, боты, коврики и др.). Использовать только дополнительные средства, без основных, и тем более подручные материалы в установках выше 1000 В категорически запрещается, т.е. для отделения пострадавшего от токоведущих частей необходимо надеть диэлектрические перчатки и боты и действовать штангой или изолирующими клещами.

После освобождения пострадавшего от электрического тока нужно оценить его состояние и действовать по универсальной схеме оказания первой помощи на месте происшествия (Схема 1).

Действующие правила техники безопасности требуют, чтобы весь персонал, обслуживающий электроустановки, был практически обучен приемам освобождения пострадавшего от тока и способам оказания ему первой доврачебной медицинской помощи.

Первая медицинская помощь пострадавшему от электрического тока оказывается немедленно после освобождения его от действия тока здесь же на месте. Переносить пострадавшего в другое место можно только в тех случаях, когда опасность продолжает угрожать пострадавшему или оказывающему помощь или при наличии крайне неблагоприятных условий – темнота, дождь, теснота и т.д.



Для определения состояния пострадавшего необходимо уложить его на спину и проверить наличие дыхания и сердечных сокращений.

Если пострадавший в сознании, но до этого был в обмороке или продолжительное время находился под током, необходимо его удобно уложить на сухую подстилку, накрыть его сверху чем-либо из одежды, удалить из помещения лишних людей и до прибытия врача, который должен быть вызван немедленно, обеспечить ему полный покой, непрерывно наблюдая за его дыханием и пульсом.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимися устойчивыми дыханием и пульсом, его следует удобно уложить на подстилку, расстегнуть одежду и пояс, с тем чтобы они не затрудняли его дыхания, обеспечить приток свежего воздуха и принять меры к приведению его в сознание – поднести к носу вату, смоченную в нашатырном спирте, обрызгать лицо холодной водой, растереть и согреть тело.

Если пострадавший плохо дышит – редко, судорожно, как бы всхлипыванием или если дыхание пострадавшего постепенно ухудшается, в то время как во всех этих случаях продолжается нормальная работа сердца, необходимо делать искусственное дыхание.



При отсутствии признаков жизни, т.е. когда у пострадавшего отсутствуют дыхание, сердцебиение и пульс, а болевые раздражения не вызывают никаких реакций, зрачки глаз

расширены и не реагируют на свет, надо считать пострадавшего в состоянии клинической смерти и немедленно приступать к его оживлению, т.е. к искусственному дыханию и массажу сердца.

Пораженного электрическим током можно признать мертвым только при явно видимых смертельных повреждениях, в других случаях констатировать смерть имеет право только врач.

Эта схема является универсальной для всех случаев оказания первой помощи на месте происшествия.

Какое бы несчастье ни произошло - автодорожное происшествие, падение с высоты, поражение электрическим током или утопление - в любом случае оказание помощи следует начать с восстановления сердечной деятельности и дыхания, затем приступать к временной остановке кровотечения.

После этого можно приступить к наложению фиксирующих повязок и транспортных шин.



Именно такая схема действий поможет сохранить жизнь пострадавшего до прибытия медицинского персонала.

#### ***Последовательность действий***

##### ***Если нет дыхания и нет пульса на сонной артерии (внезапная смерть):***

- убедиться в отсутствии пульса; нельзя терять время на определение признаков дыхания;
- освободить грудную клетку от одежды и расстегнуть поясной ремень;
- прикрыть двумя пальцами мечевидный отросток;
- нанести удар кулаком по груди; нельзя наносить удар при наличии пульса на сонной артерии;
- проверить пульс; если пульса нет, начать непрямой массаж сердца. Частота нажатия 50-80 раз в минуту, глубина продавливания грудной клетки не менее 3-4 см;
- сделать «вдох» искусственного дыхания. Зажать нос, захватить подбородок, запрокинуть голову пострадавшего и сделать выдох ему в рот;
- выполнять комплекс реанимации.

##### ***Правила выполнения реанимации:***

- 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.



**Внимание!**

Такое расположение участников позволяет:

- избегать столкновений головами,
- рационально использовать силы (физически слабого участника следует чаще располагать в ногах пострадавшего, но при этом он должен координировать действия всей команды),
- привлечь к реанимации любого необученного человека.

Сначала новичку следует доверить поддержание ног, а затем задействовать в проведении реанимации.

- Для быстрого возврата крови к сердцу - приподнять ноги пострадавшего.
- Для сохранения жизни головного мозга - приложить холод к голове.
- Для удаления воздуха из желудка - повернуть пострадавшего на живот и надавить кулаками ниже пупка.

#### ***Взаимодействие партнеров:***

*Первый спасатель* - проводит непрямой массаж сердца, отдает команду «Вдох!» и контролирует эффективность вдоха по подъему грудной клетки.

*Второй спасатель* — проводит искусственное дыхание, контролирует реакцию зрачков, пульс на сонной артерии и информирует партнеров о состоянии пострадавшего: «Есть реакция зрачков! Нет пульса! Есть пульс!» и т.д.

*Третий спасатель* - приподнимает ноги пострадавшего для лучшего притока крови к сердцу и готовится к смене партнера, выполняющего непрямой массаж сердца.

#### ***Если нет сознания, но есть пульс на сонной артерии (состояние комы):***

- повернуть пострадавшего на живот, только в положении лежа на животе пострадавший должен ожидать прибытия врачей. Нельзя оставлять человека в состоянии комы лежать на спине;

- удалить слизь и содержимое желудка из ротовой полости с помощью салфетки или резинового баллончика и делать это периодически;

- приложить холод к голове (пузырь со льдом, бутылки с холодной водой и пр.).

*Реанимационные мероприятия необходимо проводить до прибытия врача.*

*Констатировать смерть пострадавшего может только врач.*

Практические навыки оказания первой помощи пострадавшему от электрического тока должны иметь все лица электротехнического персонала, имеющие группу по электробезопасности.

### **3. Явления при стекании тока в землю**

Стеkanie тока в землю происходит только через проводник, находящийся с нею в непосредственном контакте. Такой контакт может быть случайным или преднамеренным. В последнем случае проводник или группа соединенных между собой проводников, находящихся в контакте с землей, называется заземлителем. Одиночный проводник, находящийся в контакте с землей, называется также одиночным заземлителем, или заземляющим электродом, либо просто электродом, а заземлитель, состоящий из нескольких параллельно соединенных электродов, называется групповым или сложным заземлителем.

Земля является плохим проводником электрического тока. Проводимость ее во много раз меньше проводимости металлов. Однако поскольку площадь земли, через которую проходит ток, стекающий с заземлителя, обычно весьма велика, земля оказывает сравнительно небольшое сопротивление току.

Грунт представляет собой дисперсное пористое тело, состоящее из трех частей: твердой, жидкой и газообразной.

Твердая часть грунта – это мелкие частицы различных минералов, являющиеся продуктом разрушения и выветривания горных пород, а также перегной органической части почвы. Размеры этих частиц обычно находятся в пределах сотых долей микрона до 1 мм.

Жидкая часть грунта – это так называемый почвенный раствор – вода и растворенные в ней вещества, которые содержатся также в твердой и газообразной частях грунта. Воду условно можно разделить на две формы: связанную и свободную.

Связанная вода – тонкая водяная пленка, окружающая твердые границы грунта и

удерживаемая ими с большой силой. Это явление объясняется наличием на поверхности почвенных частиц электрически ненасыщенных активных центров, которые обуславливают притяжение к поверхности частиц грунта молекул воды и ионов растворенных в ней солей.

Свободная вода – вода, не подверженная влиянию сорбционных сил, т.е. не ориентированная около почвенных частиц. Она может свободно перемещаться в порах и пустотах грунта.

Газообразная часть грунта – воздух и водяной пар, заполняющие не занятые водой пространства в грунте, т.е. над водой а также содержащиеся в свободной воде в виде местных включений.

Причинами стекания тока в землю являются замыкание токоведущей части на заземленный корпус электрооборудования, падение провода на землю, использование земли в качестве провода и т.п. Во всех этих случаях происходит резкое снижение потенциала (т.е. напряжения относительно земли)  $\varphi_3$ , В, заземлившейся токоведущей части до значения, равного произведению тока, стекающего в землю,  $I_3$ , А, на сопротивление, которое этот ток встречает на своем пути, т.е. сопротивления заземлителя растекающему ток  $R_3$ , Ом:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3.$$

Это явление, весьма благоприятное по условиям безопасности, используется как мера защиты от поражения током при случайном появлении напряжения на металлических нетоковедущих частях, которые с этой целью заземляются. Однако наряду с понижением потенциала заземлившейся токоведущей части при стекании тока в землю возникают и отрицательные явления, а именно появление потенциалов на заземлителе и находящихся в контакте с ним металлических частях, а также на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю. Возникающие при этом разности потенциалов отдельных точек цепи тока, в том числе точек на поверхности земли, могут достигать больших значений, представляющих опасность для человека.

Значение разности потенциалов, а также характер их изменений, а следовательно, и обусловленная ими опасность поражения человека током зависит от многих факторов: значения тока, стекающего в землю; конфигурации, размеров, числа и взаимного расположения электродов, составляющих групповой заземлитель; удельного сопротивления грунта и др. Воздействуя на некоторые из факторов, можно снизить разности потенциалов, действующие на человека, до безопасных значений.

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

$$U_{пр} = I_h \cdot R_h.$$

где  $I_h$  – ток, проходящий через человека по пути рука – ноги, А;

$R_h$  – сопротивление тела человека, Ом.

В области защитных заземлений, занулений и т.п. мер защиты, одна из этих точек имеет потенциал заземлителя  $\varphi_3$ , В, а другая – потенциал основания в том месте, где стоит человек,  $\varphi_{осн}$ , В. В этом случае напряжение прикосновения будет:

$$U_{пр} = \varphi_3 - \varphi_{осн},$$

или

$$U_{пр} = \varphi_3 \cdot \alpha,$$

где  $\alpha$  – коэффициент, называемый коэффициентом напряжения прикосновения или просто коэффициентом прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\alpha \leq 1.$$

Напряжением шага называется напряжение между точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек, или, иначе говоря, падение напряжения в сопротивлении тела человека, В:

$$U_{ш} = I_h \cdot R_h.$$

где  $I_h$  – ток, проходящий через человека по пути нога – нога, А;

$R_h$  – сопротивление тела человека, Ом.

В области защитных устройств от поражения током – заземления, зануления и др. – интерес

представляет в первую очередь напряжение между точками на поверхности земли (или иного основания, на котором стоит человек) в зоне растекания тока с заземлителя. В этом случае напряжением шага будет являться разность потенциалов двух точек на поверхности земли в зоне растекания тока, которые находятся на расстоянии от заземлителя и на расстоянии шага одна от другой и на которых одновременно стоит человек.

#### 4. Анализ опасности поражения током

**Нейтраль** - общая точка соединенных в звезду обмоток (элементов) оборудования. Нейтраль, а правильнее нейтральная точка обмотки источника или потребителя электроэнергии, есть точка, напряжения которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению. Нейтралью обладают многофазные источники и потребители энергии, обмотки которых соединены звездой. Обмотки нескольких однофазных источников или потребителей, соединенные последовательно или звездой, также могут иметь нейтральную точку.

**Глухозаземленная нейтраль** - нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству.

**Изолированная нейтраль** - нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление.

В случае поражения человека током в результате электрического удара, т.е. прохождения тока через человека, являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения, оценивается, как известно, током, проходящим через тело человека или напряжением, под которым он оказался, т.е. напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкости токоведущих частей относительно земли и т.п.

Таким образом, указанная опасность не однозначна: в одних случаях включение человека в электрическую цепь будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется неопасным, в других токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

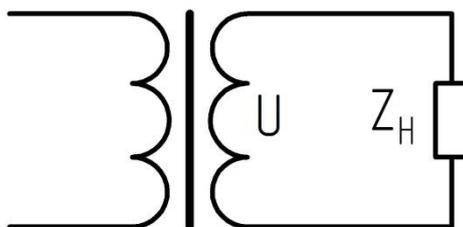
Сети переменного тока бывают однофазными и многофазными. В промышленности применяют, как правило, трехфазные и значительно реже однофазные сети.

Однофазные сети могут быть двухпроводными изолированными от земли или с заземленным проводом и однопроводными, когда роль второго провода играет земля.

Двухпроводные сети используют для питания напряжением ручных переносных ламп, электрифицированных инструментов и подобных им потребителей, а также сварочных трансформаторов, испытательных установок и т.д.

##### **Двухпроводная сеть, изолированная от земли.**

Такие сети, так же как и предыдущие, применяются для обеспечения условий электробезопасности. Источниками электроэнергии в них обычно являются обмотки понижающих трансформаторов напряжением от 6 до 220 В



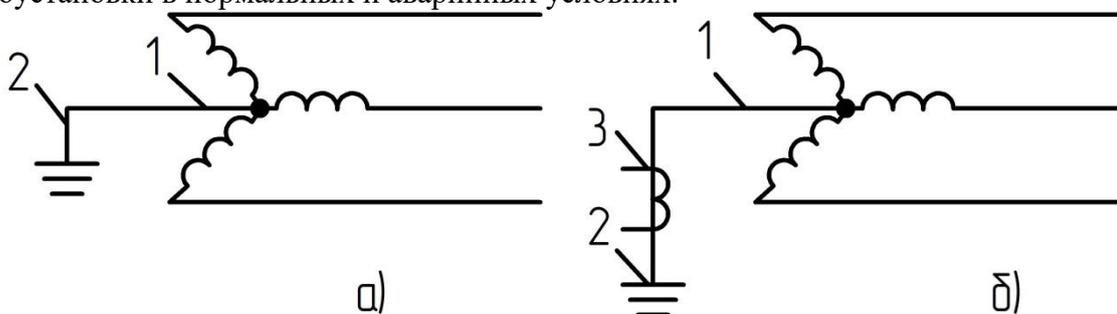
**Рис.3. Двухпроводная сеть, изолированная от земли**

Однопроводные сети применяют на электрифицированном транспорте в испытательных устройствах и т.п.

Трехфазные сети в зависимости от режима нейтрали источника тока и наличия нейтрального или нулевого проводника могут быть выполнены по четырем схемам: 1) трехпроводной с заземленной нейтралью; 2) четырехпроводной с заземленной нейтралью; 3) трехпроводной с изолированной нейтралью; 4) четырехпроводной с изолированной нейтралью

#### 4.1. Трехфазная трехпроводная сеть с заземленной нейтралью

В сети с заземленной нейтралью нейтрали генераторов и трансформаторов присоединены к заземляющим устройствам непосредственно или через малое сопротивление (например, трансформатор тока). Заземление нейтрали является рабочим, оно обеспечивает работу электроустановки в нормальных и аварийных условиях.



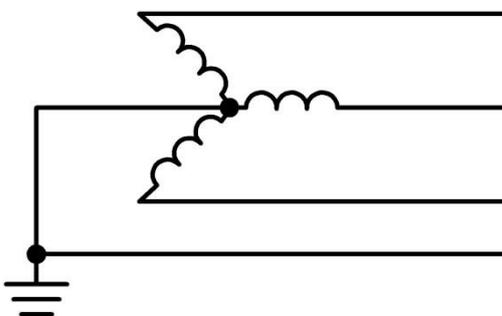
**Рис.4 Сеть с заземленной нейтралью:**

*a* — глухое заземление нейтрали; *б* — глухое заземление нейтрали через трансформатор тока; 1 — нейтраль; 2 — заземление; 3 — трансформатор тока.

В России глухое заземление нейтрали применяют: в сетях напряжением 110 кВ и выше. При этом сопротивление заземления нейтрали не должно превышать 0,5 Ом.

#### 4.2. Трехфазная четырехпроводная сеть с глухим заземлением нейтрали

Сеть имеет три фазных провода и выведенный из нейтрали обмотки трансформатора нулевой провод (рис. 5).



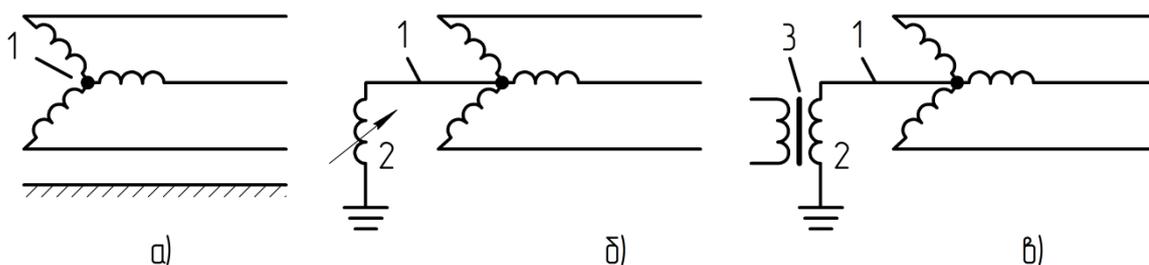
**Рис.5 .Трехфазная четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью.**

Благодаря наличию нулевого провода в этой сети обеспечивается возможность подключения электроприемников не только к линейному напряжению, но и к фазному. То есть здесь, не применяя трансформаторов, потребитель получает для своих нужд два напряжения (127/220, 220/380, 380/660 В), при этом нулевой провод N называют рабочим, если он используется только для питания электроприемников. Благодаря экономии на трансформаторах эти сети получили наиболее широкое применение.

Стандартом ГОСТ Р 50571.2-94 «Электроустановки зданий» регламентировано применение как четырехпроводных, так и пятипроводных сетей с глухим заземлением нейтрали. В первых нулевой рабочий проводник N используется также в качестве нулевого защитного (PEN – проводник), а пятипроводные сети содержат два нулевых проводника - рабочий (N) и защитный (PE).

#### 4.3. Трехфазная сеть с изолированной нейтралью

**Изолированной** называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, защиты, контроля и т.п.



**Рис.6 .Сеть с изолированной нейтралью:**

*а* — нейтраль полностью изолирована; *б* - в нейтраль включена катушка, компенсирующая емкостный ток сети; *в* — в нейтраль включена обмотка трансформатора напряжения; 1 — нейтраль; 2 — компенсирующая катушка; 3 — трансформатор напряжения

Нагрузка - трехфазная или однофазная - подключается к линейным проводам. Применяется в тех случаях, когда предъявляются повышенные требования к безопасности, надежности питания приемников электроэнергии при эксплуатационных повреждениях электрической изоляции или к их помехозащищенности. Диапазон напряжений: 36 В – 35 кВ.

В электрических сетях напряжением 6...35 кВ нейтрали источников питания, как правило, изолированы или связаны с заземляющим устройством через аппараты, имеющие большое сопротивление (реактор или высокоомный резистор (2 — 4 кОм)).

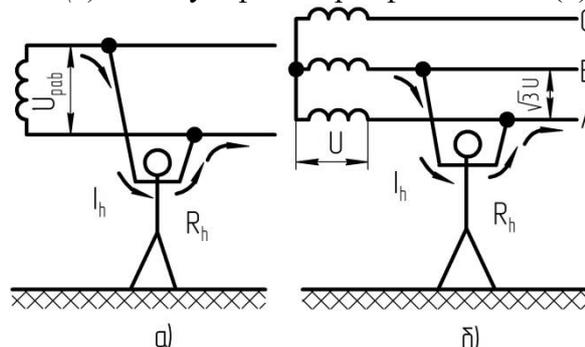
Если человек касается одновременно двух точек, между которыми существует напряжение, и при этом образуется замкнутая цепь, то через тело человека проходит ток. Величина этого тока зависит от схемы включения, т. е. от того, каких частей электроустановки касается человек, а также от параметров электрической сети. Рассмотрим типовые схемы включения человека в цепь тока. Наиболее характерны две схемы включения: между двумя фазами электрической сети и между одной фазой и землей. Разумеется, во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей. Такая связь может быть обусловлена несовершенством изоляции проводов относительно земли, наличием емкости между проводами и землей и наконец, заземлением нейтрали источника тока, питающего данную сеть.

Применительно к сетям переменного тока первая схема соответствует двухфазному прикосновению, а вторая – однофазному.

Двухфазное прикосновение, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное, а ток проходящий через тело человека, оказывается не зависимым от схемы сети, режима ее нейтрали и других факторов и имеет наибольшее значение.

Случаи двухфазного прикосновения происходят очень редко. Они являются, как правило, результатом работы под напряжением в электроустановках до 1000 В – на щитах, сборках, воздушных линиях и т.п.

На рис. показано одновременное прикосновение к двум полюсам сети постоянного тока или однофазной сети переменного тока (*а*) и к двум фазам трехфазной сети (*б*).



**Рис. 7. Двухполюсное прикосновение к токоведущим частям.**

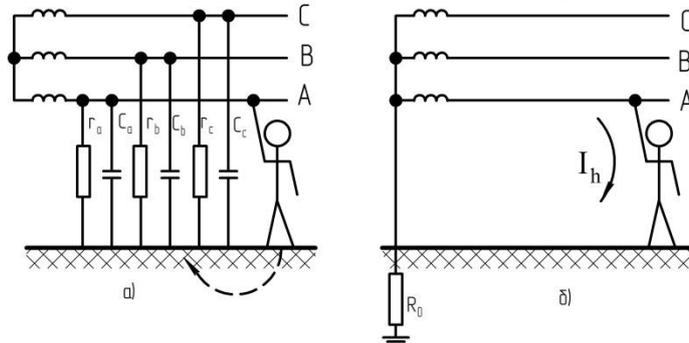
*а* - в сети постоянного тока или в однофазной сети переменного тока;

*б* - в трехфазной сети.

При этом человек оказывается под рабочим напряжением сети, и ток, проходящий через него равен  $I_h = U_{раб} / R_h$ .

В трехфазной сети переменного тока ток через тело человека определяется линейным напряжением  $U_{раб} = U_l = \sqrt{3} U$ , где  $U$  - фазное напряжение.

Если человек, стоя на земле, касается одного из полюсов или одной из фаз, цепь тока замыкается через землю и далее через сопротивления изоляции и емкости фаз в сети с изолированной нейтралью (рис. а) или через заземление нейтрали (рис. б).



**Рис.8. Однополюсное прикосновение к токоведущим частям.**

(а - в сети с изолированной нейтралью; б - в сети с заземленной нейтралью).

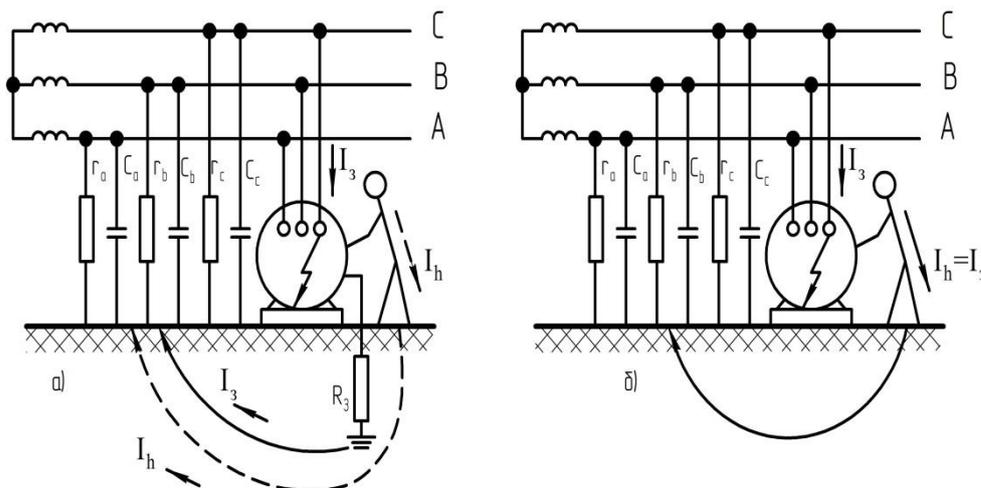
Как видно из рис., через тело человека происходит замыкание на землю, так как человек, касаясь провода, соединяет его с землей. При этом человек оказывается под фазным напряжением сети, и ток, проходящий через него равен  $I_h$ , можно представить как ток замыкания на землю  $I_3$ , т. е.  $I_h = I_3$ .

Однофазное прикосновение, как правило, менее опасно, чем двухфазное, поскольку ток, проходящий через человека, ограничивается влиянием многих факторов. Однако однофазное прикосновение возникает во много раз чаще.

#### 4.4. Прикосновение к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением

Нетоковедущие части электроустановки, которые нормально не находятся под напряжением (корпуса электрооборудования, оболочки кабелей и т. п.), могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

Прикосновение к корпусу электроустановки, оказавшемуся под напряжением, показано на рис.



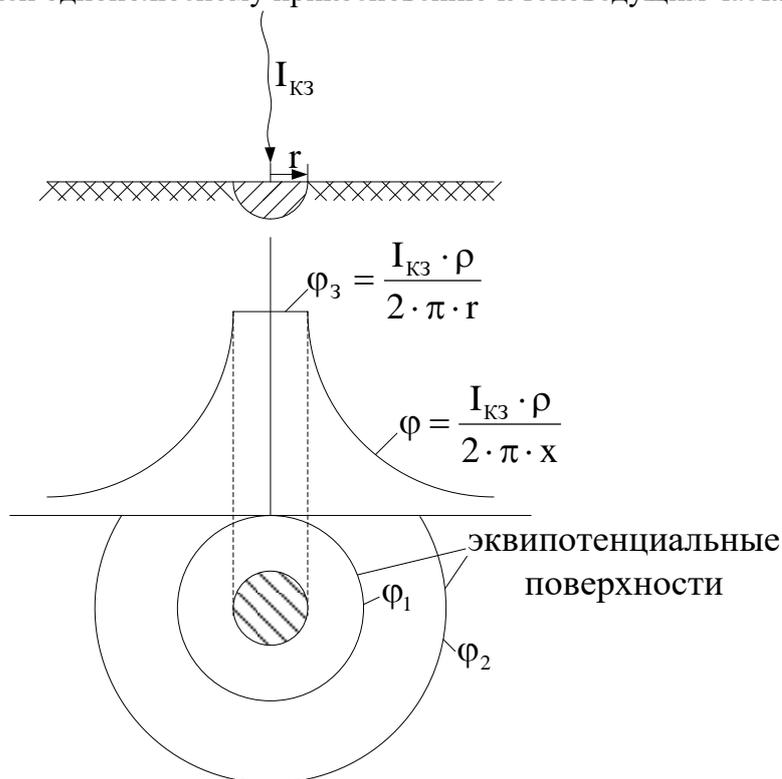
**Рис.9. Прикосновение к корпусу электроустановки, оказавшемуся под напряжением,**

а - при исправном заземлении; б - при отсутствии заземления.

Прикосновение к заземленному корпусу электроустановки, имеющему контакт с одной из фаз, показано на рис. 11, а. Напряжение на корпусе электроустановки при этом будет равно  $U_k = I_3 * R_3$ ,

При прикосновении человека к корпусу часть тока замыкания на землю будет проходить через тело человека, т. е. ток через тело человека зависит от тока замыкания на землю:  $I_h = f(I_3)$ .

Если человек касается незаземленного корпуса, оказавшегося под напряжением, то, как это видно из рис. 11, б, через человека проходит весь ток замыкания на землю  $I_h = I_3$ . Таким образом, этот случай равноценен однополюсному прикосновению к токоведущим частям.



$\varphi = \frac{I_{кз} \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x}$  – потенциал поверхности.  $U_{ш} = \varphi_1 - \varphi_2$  – шаговое напряжение.

При  $x > 20$  м  $\varphi \rightarrow 0$ .

#### 4.5. Включение на напряжение шага

При электрическом соединении находящихся под напряжением частей электроустановки с землей (замыкание на землю) ток от частей, находящихся под напряжением, проходит в землю через электрод, который осуществляет контакт с грунтом.

Замыкание на землю может произойти вследствие появления контакта между токоведущими частями и заземленным корпусом или конструктивными частями оборудования, при падении на землю оборванного провода, при нарушении изоляции оборудования и т.п. Если человек находится вблизи заземлителя, с которого стекает ток в землю, то часть этого тока может ответвляться и проходить через ноги человека по нижней петле (рис.).

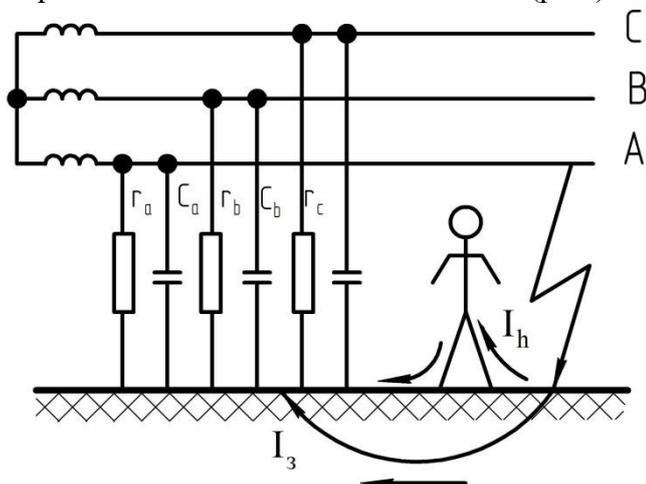


Рис. 10. Включение человека на напряжение шага.

Стекание тока в землю сопровождается возникновением на заземлителе, в земле вокруг заземлителя и на поверхности земли некоторых потенциалов. Возникающие при этом разности потенциалов отдельных точек цепи тока, в том числе точек на поверхности земли, могут достигать больших значений, представляющих собой опасность для человека.

Значения потенциалов, их разностей и характер изменений их, а следовательно, и обусловленная ими опасность поражения человека током зависят от многих факторов: значения тока, стекающего в землю, конфигурации, размеров, числа и взаимного расположения электродов, составляющих групповой заземлитель, удельного сопротивления грунта и др.

Наибольшее значение напряжения шага наблюдается вблизи заземлителя, особенно если человек стоит одной ногой над заземлителем в точке с потенциалом  $\varphi_3 = U_3$ , а второй на расстоянии шага от заземлителя.

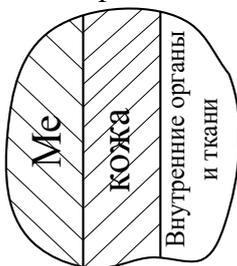
Величина тока, проходящего через человека, как и в предыдущем случае, зависит от величины тока замыкания на землю.

*Основные причины поражения электрическим током являются:*

1. Случайные прикосновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям электроустановок.
2. Появление напряжения на металлических конструкциях оборудования: корпусах, кожухах, в результате повреждения изоляции и других причин.
3. Появление напряжения на отключенных токоведущих частях вследствие ошибочного включения оборудования при работе людей.
4. Возникновение шагового напряжения в результате замыкания провода на землю.
5. Атмосферное электричество.

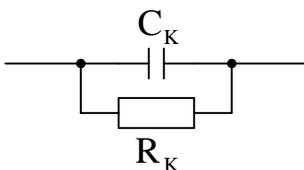
Электрическое сопротивление человека зависит от многих факторов:

- напряжение сети; – род тока; – состояние кожного покрова в местах контакта;
- психофизиологическое состояние.



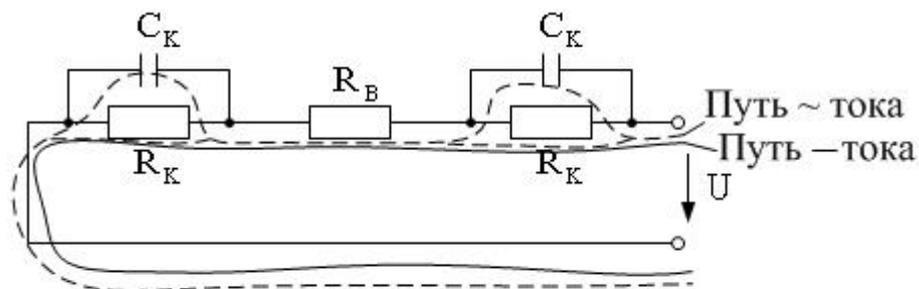
Состояние кожи определяется в основном состоянием эпидермиса, имеет толщину до 120 мкм, удельное сопротивление:  $\rho = 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .

Похоже на строение конденсатора.

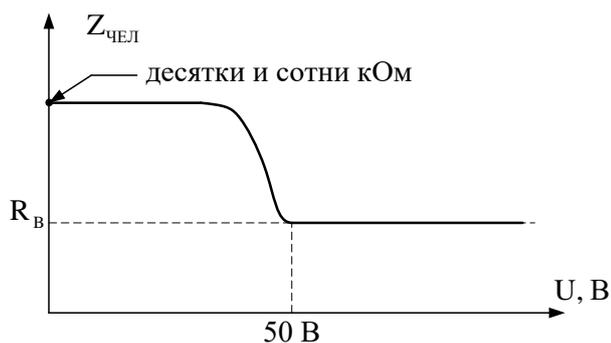


Чем больше  $R_K$ , тем дольше разряжается  $C_K$ .

Электрическая схема замещения сопротивления человека по пути рука–рука



Сопротивление тела человека зависит от напряжения



$R_{\text{В}}$  – сопротивление внутренних органов.

$$I_{\text{ЧЕЛ}} = \frac{U_{\text{ПР}}}{R_{\text{ЧЕЛ}}}.$$

В общем случае величина тока через тело человека зависит от:

1. Схемы прикосновения человека к электрической сети.
2. Напряжения сети.
3. Схемы сети.
4. Рода тока.
5. Режима работы сети (аварийный, нормальный).

ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность». ПДУ напряжений прикосновения и токов».

Нормируется напряжение и ток через тело человека, в зависимости от:

- а) рода тока;
- б) длительности воздействия;
- в) назначения электрической установки: бытовая; производственная;
- г) режимов работы: нормальный; аварийный.

Приводятся значения сопротивлений человека, на которые нужно ориентироваться при расчетах.

### Классификация помещений

С точки зрения электрической безопасности все помещения подразделяются:

1. С повышенной опасностью.

Критерии:

1. Влажность воздуха более 75 %.
2. Наличие токопроводящей пыли.
3. Наличие токопроводящих полов.
4. Повышенная температура воздуха (более 35 °С).
5. Возможность одновременного прикосновения человека к металлическим конструкциям зданий, имеющих соединение с землей, с другой стороны к металлическим частям электрической установки.

2. Особо опасные.

Критерии:

1. Влажность воздуха 100 %.
2. Химически активная среда.
3. Одновременное наличие 2-х и более условий повышенной опасности.
3. Без повышенной опасности.

Критерии:

Отсутствие условий, приведенных выше.

Например, в помещениях 2-го класса можно применять электрифицированный ручной инструмент на 42 В; в помещениях 1-го класса можно применять электрифицированный ручной инструмент на 42 В или инструмент с первым классом защиты; в помещениях 3-го класса возможно применение электрифицированного ручного инструмента на 220-380 В.

## 5. Защитное отключение

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ следует применять устройство защитного отключения (УЗО). В основе действия УЗО лежит принцип ограничения продолжительности протекания тока через тело человека при его непреднамеренном прикосновении к элементам электроустановки, находящимся под напряжением.

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека электрическим током.

Такая опасность может возникнуть, в частности, при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети ниже определенного предела и, наконец, в случае прикосновения человека непосредственно к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Во всех случаях опасность поражения обусловлена напряжением прикосновения или, иначе говоря, током, проходящим через тело человека.

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

Следует особо подчеркнуть, что важнейшим фактором защитного отключения, обеспечивающим безопасность человека, оказавшегося под током, является сокращение времени нахождения человека под опасным для него напряжением до весьма малых значений – долей секунды.

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

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

Этими элементами являются:

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

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

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

4) вспомогательные элементы – сигнальные лампы и измерительные приборы, характеризующие состояние электроустановки.

Исполнительный орган – автоматический выключатель, обеспечивающий отключение соответствующего участка электроустановки при получении сигнала от прибора защитного отключения.

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

*Основные требования, которым должны удовлетворять УЗО:*

- 1) высокая чувствительность;
- 2) малое время отключения;

- 3) селективность действия;
- 4) способность осуществлять самоконтроль исправности;
- 5) достаточная надежность.

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

Высокочувствительные устройства позволяют задавать уставку, обеспечивающую безопасность прикосновения человека к фазе. Однако они, как правило, более сложны и дороги. Под уставкой в данном случае понимается наперед установленное значение входного сигнала, при котором УЗО срабатывает.

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

Чем меньше время отключения, тем выше степень безопасности при одних и тех же условиях, так как опасность воздействия тока снижается с уменьшением времени его прохождения через тело человека.

Существующие конструкции приборов и аппаратов, применяемых в системах защитного отключения, обеспечивают время отключения 0,05 – 0,2 с.

Селективность – избирательность действия УЗО – выражается в способности отключать от сети лишь поврежденный объект, т.е. объект, в котором возникла опасность поражения человека током. Это очень важное свойство защитного отключения, поскольку из-за неселективности вместе с поврежденными объектами может отключаться исправное оборудование. К сожалению, селективностью обладают лишь некоторые схемы защитного отключения.

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

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

Надежность УЗО характеризуется постоянной готовностью к действию, способностью срабатывать во всех случаях нарушения нормального режима работы защищаемого объекта с возникновением опасности поражения током и, наконец, способностью не реагировать на все другие случаи нарушения режима.

Надежность должна быть достаточно высокой, так как отказы УЗО могут создавать опасные для людей условия в смысле поражения током или сопровождаться беспричинными отключениями работающего оборудования.

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

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

Защитное отключение является весьма рациональной мерой защиты в любых электроустановках, но особенно когда по каким-либо причинам трудно осуществить эффективное заземление или зануление, а также когда высока вероятность случайного прикосновения людей к токоведущим частям.

Такие условия чаще всего возникают в передвижных электроустановках, а также в стационарных испытательных устройствах, расположенных в районах с плохо проводящими грунтами, и т.п.

### **Системы электроснабжения электроустановок напряжением до 1 кВ**

С введением новых ГОСТ и выходом седьмой редакции Правил устройства электроустановок (ПУЭ), требования которых значительно приблизились к стандартам

Международной электротехнической комиссии (МЭК) для электроустановок напряжением до 1 кВ используются несколько систем электроснабжения, которые обозначаются 2 - 4 буквами.

Первая буква в обозначении системы - состояние нейтрали источника питания относительно земли:

*T* - заземленная нейтраль;

*I* - изолированная нейтраль.

Вторая буква в обозначении системы - состояние открытых проводящих частей относительно земли:

*T* - открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети;

*N* - открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

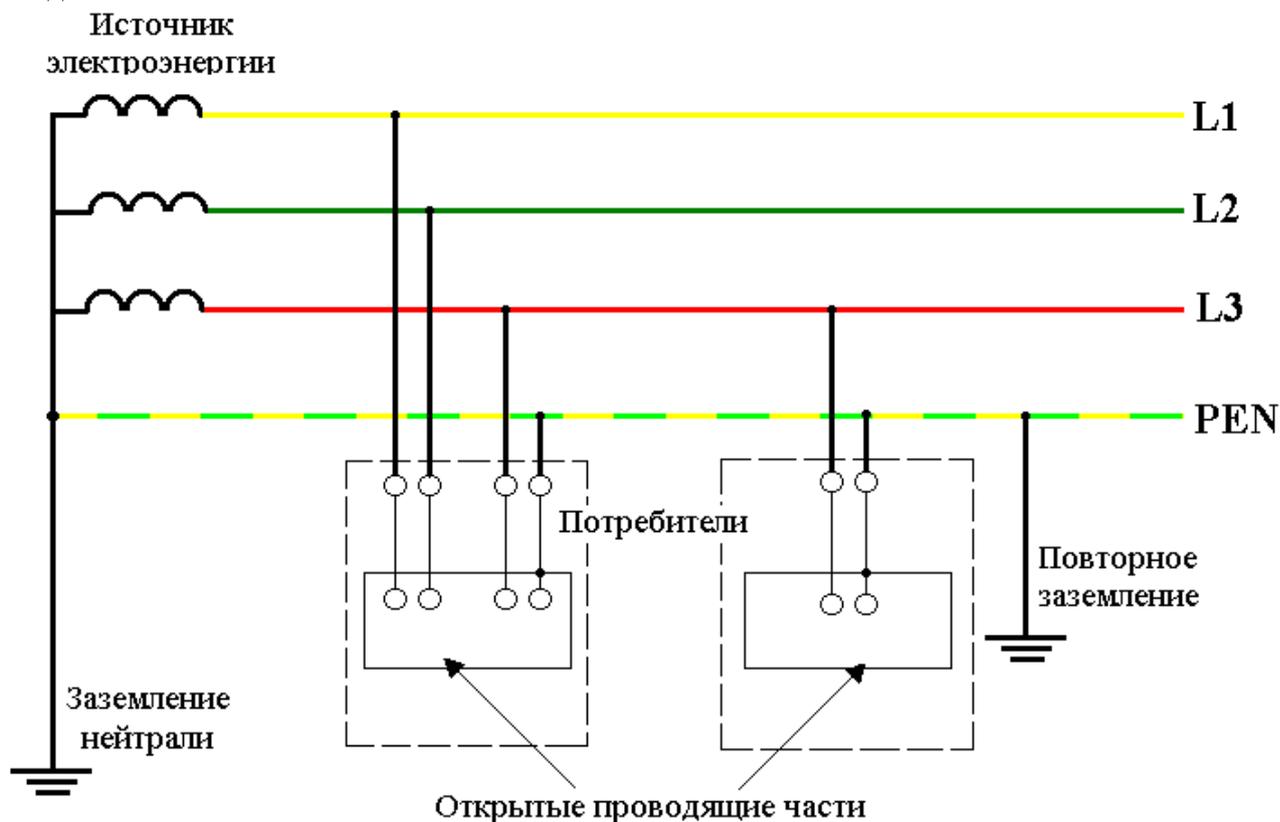
Последующие (после *N*) буквы в обозначении системы - совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

*S* - (separate, то есть раздельный) - нулевой рабочий (*N*) и нулевой защитный (*PE*) проводники разделены;

*C* - (combine, то есть объединенный) - функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (*PEN*-проводник).

Для электроснабжения потребителей до 1 кВ применяются трехфазные электрические сети *TN-C*, *TN-C-S*, *TN-S*, *IT*, *TT*.

**Система *TN-C*** – система *TN*, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении при этом совмещенный нулевой и рабочий провод обозначается ***PEN***.



**Система *TN-CT*** – нейтраль источника питания заземлена

*N* – открытые токопроводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания

*C* – нулевой рабочий и нулевой защитный провода совмещены в одном проводнике ***PEN***

## СЕТЬ TN-C

Сети 0,4 кВ с таким режимом заземления нейтрали и открытых проводящих частей (занулением) до последнего времени были широко распространены в России.

Электробезопасность в сети *TN-C* при косвенном прикосновении обеспечивается отключением возникших однофазных замыканий на корпус с помощью предохранителей или автоматических выключателей. Режим *TN-C* был принят в качестве главенствующего в то время, когда основными аппаратами защиты от замыканий на корпус были предохранители и автоматические выключатели. Характеристики срабатывания этих аппаратов защиты в свое время определялись особенностями защищаемых воздушных линий (ВЛ) и кабельных линий (КЛ), электродвигателей и других нагрузок. Обеспечение электробезопасности было второстепенной задачей.

Таким образом, в сети *TN-C* существует проблема обеспечения безопасности при косвенном прикосновении из-за невозможности обеспечения быстрого отключения. Кроме того, в сети *TN-C* при однофазном КЗ на корпус электроприемника возникает вынос потенциала по нулевому проводу на корпуса неповрежденного оборудования, в том числе отключенного и выведенного в ремонт. Это увеличивает вероятность поражения людей, контактирующих с электрооборудованием сети.

Особую опасность в сети *TN-C* представляет обрыв (отгорание) нулевого провода. В этом случае все присоединенные за точкой обрыва металлические зануленные корпуса электроприемников окажутся под фазным напряжением.

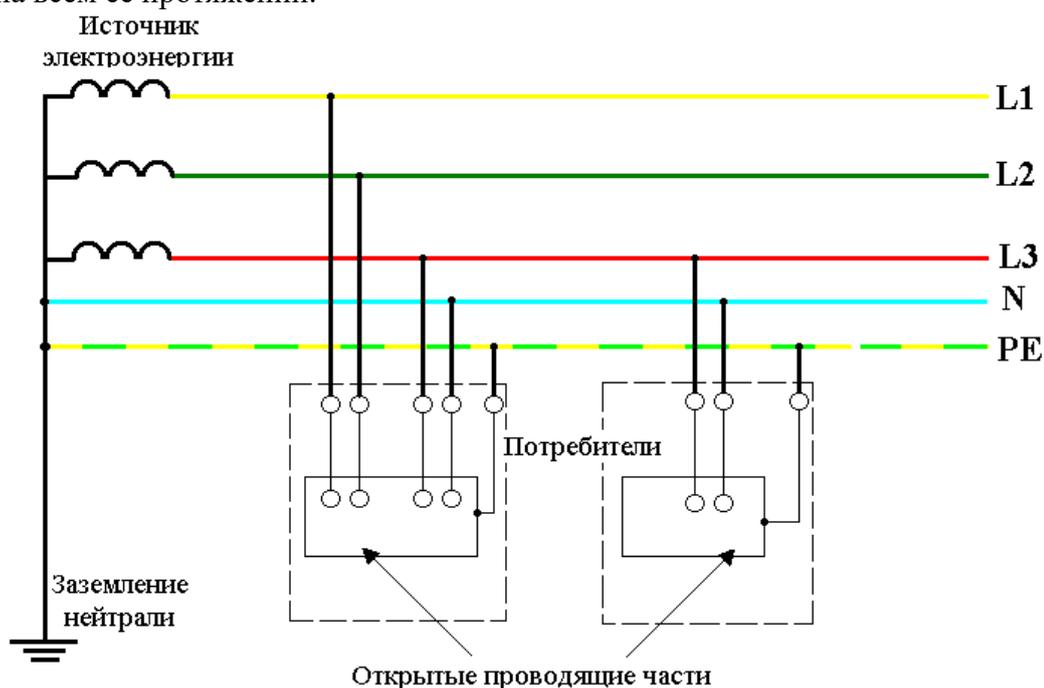
Самым большим недостатком сетей *TN-C* является неработоспособность в них устройств защитного отключения (УЗО).

Пожаробезопасность сетей *TN-C* низкая. При однофазных КЗ в этих сетях возникают значительные токи (килоамперы), которые могут вызывать возгорание. Значительный ток однофазных КЗ в сетях *TN-C* вызывает существенные разрушения электрооборудования. Например, прожигание и выплавление стали статоров электродвигателей.

Бесперебойность электроснабжения в сетях *TN-C* при однофазных замыканиях не обеспечивается, так как замыкания сопровождаются значительным током и требуется отключение присоединения.

В процессе однофазного КЗ в сетях *TN-C* возникает повышение напряжения (перенапряжения) на неповрежденных фазах примерно на 40%.

*Система TN-S* – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении.



### Система TN-S

*T* – нейтраль источника питания заземлена

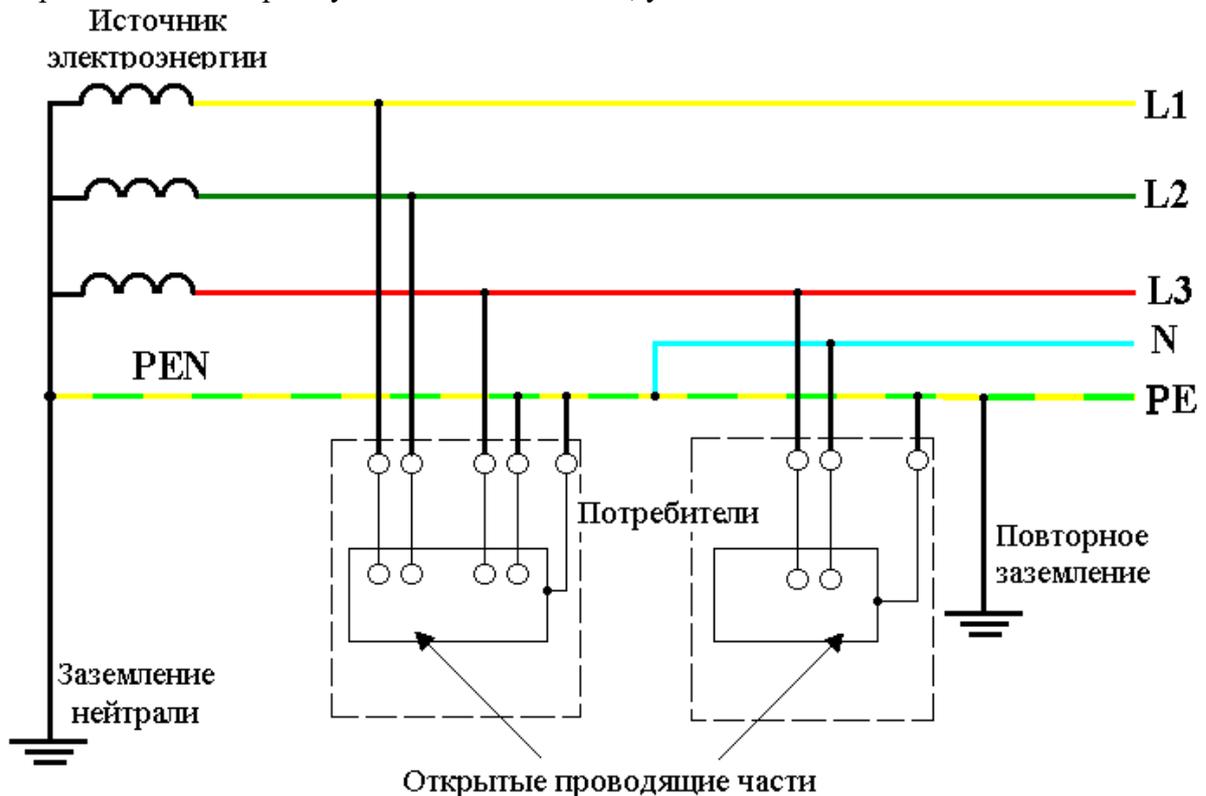
*N* – открытые токопроводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания

*S* – нулевой рабочий и нулевой защитный провода разделены *N* и *PE*

### СЕТЬ TN-S

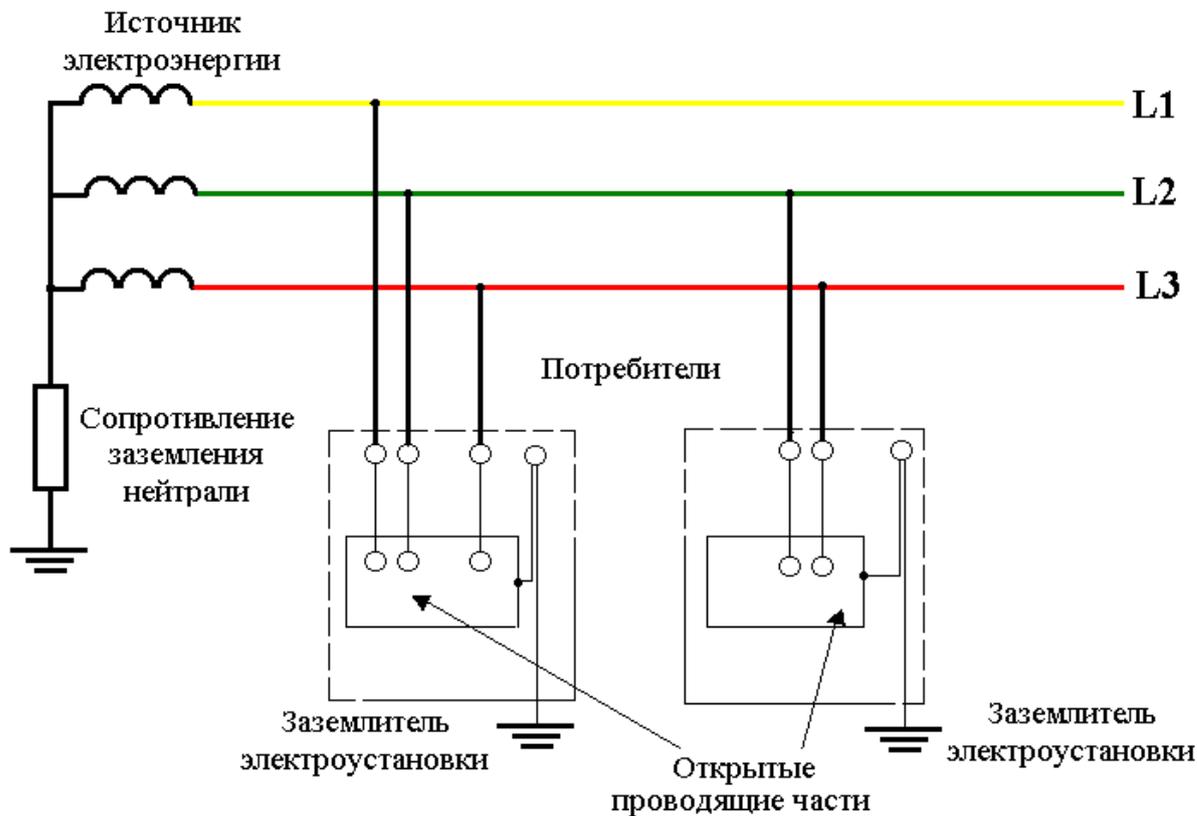
Сети 0,4 кВ с таким режимом заземления нейтрали и открытых проводящих частей называются пятипроводными. В них нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены. Само по себе использование сети TN-S не обеспечивает электробезопасность при косвенном прикосновении, так как при пробое изоляции на корпусе, как и в сети TN-C, возникает опасный потенциал. Однако в сетях TN-S возможно использование УЗО. При наличии этих устройств уровень электробезопасности в сети TN-S существенно выше, чем в сети TN-C. При пробое изоляции в сети TN-S также возникает вынос потенциала на корпуса других электроприемников, связанных проводником PE. Однако быстрое действие УЗО в этом случае обеспечивает безопасность. В отличие от сетей TN-C обрыв нулевого рабочего проводника в сети TN-S не влечет за собой появление фазного напряжения на корпусах всех связанных данной линией питания электроприемников за точкой разрыва. Пожаробезопасность сетей TN-S при применении УЗО в сравнении с сетями TN-C существенно выше. УЗО чувствительны к развивающимся дефектам изоляции и предотвращают возникновение значительных токов однофазных КЗ. В отношении бесперебойности электроснабжения и возникновения перенапряжений, сети TN-S не отличаются от сетей TN-C. Электромагнитная обстановка в сетях TN-S в нормальном режиме существенно лучше, чем в сетях TN-C. Это связано с тем, что нулевой рабочий проводник изолирован и отсутствует ответвление токов в сторонние проводящие пути. При возникновении однофазного КЗ создаются такие же электромагнитные возмущения, как и в сетях TN-C. Но сети TN-S более дорогие в сравнении с сетями TN-C из-за наличия пятого провода, а также УЗО.

*Система TN-C-S* - комбинация рассмотренных выше двух типов сетей. Для этой сети будут справедливы все преимущества и недостатки, указанные выше.



### Система TN-C-S

**Система IT** – система, в которой нейтраль источника электроэнергии изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.



### Система IT

*I* – нейтраль источника питания изолирована

*T* – открытые токопроводящие части заземлены независимо от отношения к земле нейтрали источника питания

### СЕТЬ IT

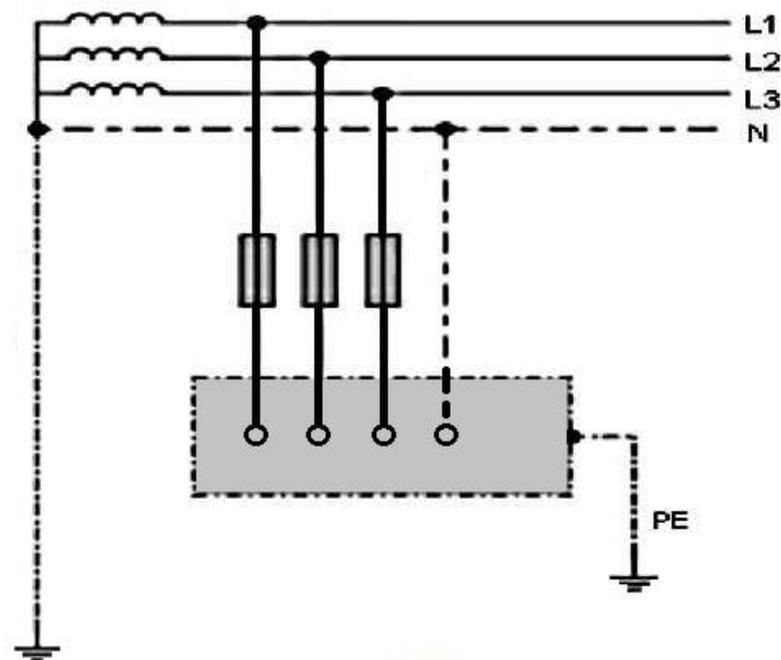
Нейтральная точка питающего трансформатора такой сети изолирована от земли или заземлена через значительное сопротивление. Защитный проводник в таких сетях отделен от нейтрального.

Электробезопасность при однофазном замыкании на корпус в этих сетях наиболее высокая из всех рассмотренных. Это связано с малой величиной тока однофазного замыкания. При таком токе замыкания напряжение прикосновения крайне невелико и отсутствует необходимость немедленного отключения возникшего повреждения. Кроме того, в сети IT безопасность может быть улучшена за счет применения УЗО.

Пожаробезопасность сетей IT самая высокая. Это объясняется наименьшей величиной тока однофазного замыкания (единицы ампер) и малой вероятностью возгорания. Сети IT отличаются высокой бесперебойностью электроснабжения потребителей. Повреждения оборудования при возникновении однофазного замыкания в сетях IT очень малы. Для эксплуатации сети IT необходим квалифицированный персонал, способный быстро находить и устранять возникшее замыкание. Для определения поврежденного присоединения необходимо специальное устройство.

Сети IT имеют ограничение на расширение сети, так как новые присоединения увеличивают ток однофазного замыкания.

**Система TT** – система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.



*T* – нейтраль источника питания заземлена

*T* – открытые токопроводящие части заземлены независимо от отношения к земле нейтрали источника питания

### **СЕТЬ TT**

Особенностью данного типа сетей является то, что открытые проводящие части электроприемников присоединены к заземлению, которое обычно независимо от заземления питающей подстанции.

Электробезопасность в этих сетях обеспечивается использованием УЗО в обязательном порядке. Само по себе использование режима TT не обеспечивает безопасности при косвенном прикосновении. Если сопротивление местного заземлителя, к которому присоединены открытые проводящие части, равно сопротивлению заземления питающей подстанции и возникает замыкание на корпус, то напряжение прикосновения составит половину фазного напряжения (110 В для сети 220 В). Такое напряжение опасно, и необходимо немедленное отключение поврежденного присоединения. Но отключение не может быть обеспечено автоматическими выключателями и предохранителями за безопасное для прикоснувшегося человека время из-за малой величины тока однофазного замыкания.

Пожаробезопасность сетей TT в сравнении с сетями TN-C существенно выше. Это связано со сравнительно малой величиной тока однофазного замыкания и с применением УЗО, без которых сети TT вообще эксплуатироваться не могут.

Бесперебойность электроснабжения в сетях TT при однофазных замыканиях не обеспечивается, так как требуется отключение присоединения по условиям безопасности.

В системе TT нескольких корпусов электроприемников обычно объединены одним защитным проводником PE и присоединены к общему заземлителю отдельному от заземлителя питающей подстанции. Выполнять отдельный заземлитель в сети TT для каждого электроприемника нецелесообразно по экономическим соображениям. В нормальном режиме по защитному проводнику в системе TT не протекает ток и соответственно между корпусами отдельных электроприемников нет разности потенциалов. Таким образом, с позиций электромагнитных возмущений сеть TT имеет преимущество по сравнению с сетями TN-C в нормальном режиме работы и с сетями TN-C, TN-S, TN-C-S в режиме однофазного замыкания.

С точки зрения проектирования, сети TT имеют существенное преимущество по сравнению с сетями TN. Сеть может быть расширена или изменена без повторного расчета токов КЗ или замера сопротивления петли тока КЗ. Учитывая, что сам по себе ток однофазного КЗ в сетях TT меньше, чем в сетях TN-S, TN-C-S, сечение защитного проводника PE в сети TT может быть меньше.

**Выводы:** В качестве общих рекомендаций для выбора той или иной сети можно указать следующее:

1. Сети TN-C и TN-C-S не следует использовать из-за низкого уровня электро- и пожаробезопасности, а также возможности значительных электромагнитных возмущений.
2. Сети TN-S рекомендуются для статичных (не подверженных изменениям) установок, когда сеть проектируется «раз и навсегда».
3. Сети TT следует использовать для временных, расширяемых и изменяемых электроустановок.
4. Сети IT следует использовать в тех случаях, когда бесперебойность электроснабжения является крайне необходимой.

Возможны варианты, когда в одной и той же сети следует использовать два или три режима. Например, когда вся сеть получает питание по сети TN-S, а часть ее через разделительный трансформатор по сети IT. Отметим, что ни один из способов заземления нейтрали и открытых проводящих частей не является универсальным. В каждом конкретном случае необходимо проводить экономическое сравнение и исходить из критериев: электробезопасности, пожаробезопасности, уровня бесперебойности электроснабжения, технологии производства, электромагнитной совместимости, наличия квалифицированного персонала, возможности последующего расширения и изменения сети.

## **6. Защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты в электроустановках сверхвысокого напряжения**

*Влияние электромагнитного поля на здоровье людей.*

В процессе эксплуатации электроэнергетических установок - открытых распределительных устройств (ОРУ) и воздушных линий (ВЛ) электропередачи сверхвысокого напряжения (330 кВ и выше) было отмечено ухудшение состояния здоровья персонала, обслуживающего указанные установки. Субъективно это выражалось в ухудшении самочувствия работающих, которые жаловались на повышенную утомляемость, вялость, головные боли, плохой сон, боли в сердце.

Специальные наблюдения и исследования, подтвердили обоснованность этих жалоб и установили, что фактором, влияющим на здоровье обслуживающего персонала, является электромагнитное поле, возникающее в пространстве вокруг токоведущих частей действующих электроустановок.

В электроустановках напряжением меньше 330 кВ также возникают электромагнитные поля, но менее интенсивные и, как показал длительный опыт эксплуатации таких установок, не оказывающие отрицательного влияния на биологические объекты.

Интенсивное электромагнитное поле промышленной частоты вызывает у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой системы, а также периферической крови. При этом наблюдается повышенная утомляемость, снижение точности рабочих движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце, сопровождающихся сердцебиением и аритмией, и т. п.

### ***Наиболее распространенные жалобы***

Кратковременное облучение (порядка нескольких минут) способно привести к негативной реакции только у особо чувствительных людей или у больных некоторыми видами аллергических заболеваний. Продолжительное облучение обычно приводит к различным патологиям сердечно-сосудистой и нервной систем (из-за разбалансировки подсистемы нервной регуляции). При сверхдлительном (порядка 10-20 лет) непрерывном облучении возможно (по непроверенным данным) развитие некоторых онкологических заболеваний.

Эффект воздействия электромагнитного поля на биологический объект принято оценивать количеством электромагнитной энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле.

*Электромагнитное поле* можно рассматривать как состоящее из двух полей: *электрического* и *магнитного*. Можно также считать, что в электроустановках электрическое поле

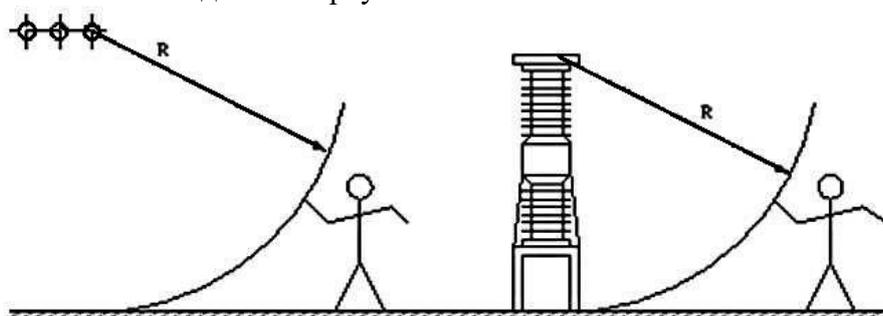
возникает при напряжении на токоведущих частях, а магнитное — при прохождении тока по этим частям.

### Защита от электромагнитного поля

Пространство, в котором напряженность электрического поля равна 5кВ/м и больше, принято называть опасной зоной или зоной влияния. Приблизительно можно считать, что эта зона лежит в пределах круга с центром в точке расположения ближайшей токоведущей части, находящейся под напряжением, и радиусом :

$R = 20$  м для электроустановок 400-500кВ

$R = 30$  м для электроустановок 750кВ



На пересечениях линий электропередачи сверхвысокого (400-750кВ) и ультравысокого (1150кВ) напряжения с железными и автомобильными дорогами устанавливаются специальные знаки безопасности, ограничивающие зоны влияния этих воздушных линий.



Внимание. Электромагнитное поле

Допустимое значение тока, проходящего через человека длительное время и обусловленного воздействием электрического поля электроустановок сверхвысокого напряжения, составляет примерно 50-60мкА, что соответствует напряженности электрического поля на высоте роста человека примерно 5кВ/м. Если при электрических разрядах, возникающих в момент прикосновения человека к металлической конструкции, имеющей иной, чем человек, потенциал, установившийся ток не превышает 50-60мкА, то человек, как правило, не испытывает болевых ощущений. Поэтому это значение тока принято в качестве нормативного (допустимого).

Таблица 2 - Предельно допустимое время пребывания в зоне сильных полей для электроустановок напряжением 400кВ и выше

Электрическая напряженность $E$ , кВ/м	Допустимое время пребывания, мин
Менее 5	Без ограничений
5-10	180
10-15	90
15-20	10
20-25	5

Ограничение времени пребывания человека в электромагнитном поле представляет собой так называемую «защиту временем».

Таблица 3 - Границы санитарно-защитных зон для ЛЭП на действующих линиях определяются по критерию напряженности электрического поля - 1 кВ/м.

<i>Напряжение ЛЭП</i>	330 кВ	500 кВ	750 кВ	1150 кВ
<i>Размер санитарно-защитной (охранной) зоны</i>	20 м	30 м	40 м	55 м

К размещению ВЛ ультравысоких напряжений (750 и 1150 кВ) предъявляются дополнительные требования по условиям воздействия электрического поля на население.

*Так, ближайшее расстояние от оси проектируемых ВЛ 750 и 1150 кВ до границ населенных пунктов должно быть, как правило, не менее 250 и 300 м соответственно.*

***В пределах санитарно-защитной зоны ВЛ запрещается:***

- - размещать жилые и общественные здания и сооружения;
- - устраивать площадки для стоянки и остановки всех видов транспорта;
- - размещать предприятия по обслуживанию автомобилей и склады нефти и нефтепродуктов;
- - производить операции с горючим, выполнять ремонт машин и механизмов.

Территории санитарно-защитных зон разрешается использовать как сельскохозяйственные угодья, однако рекомендуется выращивать на них культуры, не требующие ручного труда.

В случае, если на каких-то участках напряженность электрического поля за пределами санитарно-защитной зоны окажется выше предельно допустимой 0,5 кВ/м внутри здания и выше 1 кВ/м на территории зоны жилой застройки (в местах возможного пребывания людей), должны быть приняты меры для снижения напряженности. Для этого на крыше здания с неметаллической кровлей размещается практически любая металлическая сетка, заземленная не менее чем в двух точках. В зданиях с металлической крышей достаточно заземлить кровлю не менее чем в двух точках. На приусадебных участках или других местах пребывания людей напряженность поля промышленной частоты может быть снижена путем установления защитных экранов, например это железобетонные, металлические заборы, тросовые экраны, деревья или кустарники высотой не менее 2 м.

**Рекомендации по защите**

Основная мера защиты – предупредительная:

- необходимо исключить продолжительное пребывание (регулярно по несколько часов в день) в местах повышенного уровня магнитного поля промышленной частоты;
- кровать для ночного отдыха максимально удалять от источников продолжительного облучения, расстояние до распределительных шкафов, силовых электрокабелей должно быть 2,5 – 3 метра;
- если в данном помещении или в смежном есть какие-то неизвестные кабели, распределительные шкафы, трансформаторные подстанции – удаление должно быть максимально возможным, оптимально – промерить уровень электромагнитных полей до того, как находиться в таком помещении;
- при необходимости установить полы с электроподогревом выбирать системы с пониженным уровнем магнитного поля.

### ***Напряженность электрического поля.***

В разных точках пространства вблизи электроустановок промышленной частоты напряженность электрического поля имеет разные значения. Она зависит от ряда факторов: номинального напряжения электроустановки; расстояния между точкой, в которой определяется напряженность поля, и токоведущими частями; высоты размещения над землей токоведущих частей и интересующей нас точки и т. п.

Напряженность может быть измерена с помощью специальных приборов, а в некоторых случаях, например вблизи воздушных линий электропередачи, определена расчетом.

При подъеме на опору линии электропередачи ток через человека также меняется в широких пределах.

Например, когда человек стоит на земле у опоры линии 500 кВ, через него протекает ток в несколько микроампер;

по мере подъема человека |по опоре, т. е. по мере приближения к проводу, ток нарастает, и когда человек находится на опоре на уровне провода или на траверсе непосредственно над крайним проводом, ток, проходящий через него, достигает 500—600 мкА.

Вблизи опоры ток мал потому, что сказывается экранирующее действие заземленной опоры. Если же человек стоит под проводом вдали от опоры, например в середине пролета, то на линии 500 кВ протекающий через него ток достигает 100—150 мкА.

### ***Контроль напряженности электрического поля.***

Пространство, в котором напряженность электрического поля превышает 5 кВ/м, называется зоной влияния электрического поля или просто зоной влияния.

Определение напряженности электрического поля на рабочих местах, а также определение границ зоны влияния производится измерением напряженности поля с помощью специального прибора — измерителя напряженности.

Этот прибор работает следующим образом. В антенне прибора электрическое поле создает ЭДС (электродвижущая сила), которая усиливается с помощью транзисторного усилителя, выпрямляется полупроводниковыми диодами и измеряется стрелочным микроамперметром. Антенна представляет собой симметричный диполь, выполненный в виде двух металлических пластин, размещенных одна над другой. Поскольку наведенная в симметричном диполе ЭДС пропорциональна напряженности электрического поля, шкала миллиамперметра отградуирована в киловольтах, деленных на метр.



**Рис.11. Измерение напряженности.**

На рабочих местах напряженность измеряют в следующих случаях: при приемке электроустановки в эксплуатацию; при изменении конструкции электроустановки, а также экранирующих устройств, схемы подключения токоведущих элементов и режимов работы установки; при создании нового рабочего места и, наконец, в порядке текущего санитарного надзора.

Измерение напряженности должно производиться во всей зоне, где может находиться человек в процессе выполнения работы. Наибольшее измеренное значение напряженности является определяющим. При размещении рабочего места на земле наибольшая напряженность обычно бывает на высоте роста человека.

### Способы защиты от воздействия электромагнитного поля.

Защита человека с помощью экранирующего костюма.

Экранирующий костюм является индивидуальным защитным средством от воздействия электрического поля при работах в действующих электроустановках промышленной частоты сверхвысокого напряжения, а также при работах под напряжением на воздушных линиях электропередачи высокого напряжения.

Защитные свойства костюма основаны на принципе электростатического экранирования. Как известно, в проводящем теле, внесенном в электрическое поле, происходит перегруппировка, т. е. кратковременное движение электронов, в результате чего на поверхности тела, а точнее, в очень тонком молекулярном слое этой поверхности, возникают заряды, причем на стороне тела, обращенной к внешнему заряду, создавшему поле, заряд имеет знак, противоположный знаку внешнего заряда, а на другой стороне — знак внешнего заряда.

Поле, создаваемое разделенными зарядами внутри проводящего тела, оказывается равным и противоположным внешнему полю. В результате этого напряженность результирующего поля внутри тела оказывается равной нулю, т. е. поле внутри проводящего тела независимо от того, сплошное оно или полая, отсутствует.

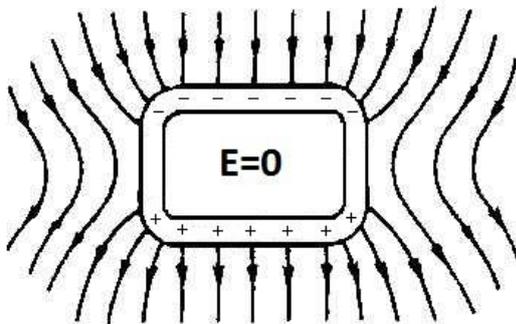


Рис.12. Электростатический экран

*Таким образом, чтобы оградить какое-либо тело от воздействия на него электрического поля, достаточно поместить его в тонкую металлическую оболочку (экран).*

Опытом установлено, что экран может быть не только сплошным, но и сетчатым: если плетение сетки не особенно редко, то силовые линии (линии напряженности) электрического поля будут замыкаться на ее проволочках и во внутреннее (огражденное сеткой) пространство не проникнут. Для надежности экранирования и устранения возникшего на экране потенциала экран заземляется.

Экранирующий костюм изготавливается из специальной токопроводящей ткани, в которой, например, наряду с обычными нитями содержится изолированный микропровод, расположенный в виде сетки.

Применяется и так называемая металлизированная ткань — обычная хлопчатобумажная ткань, на поверхности которой нанесен тонкий слой металла.

Экранирующий костюм изготавливается в виде комбинезона или куртки с брюками, а также в виде плаща с капюшоном. В комплект костюма входят также экранирующий головной убор, специальная обувь и перчатки или перчатки, покрытые электропроводящей тканью.

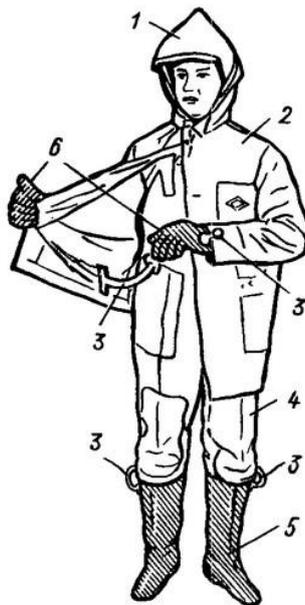
При большой напряженности поля на уровне головы человека (свыше 25 кВ/м) рекомендуется защищать и лицо с помощью специального съемного экрана из мелкой металлической сетки или электропроводящего органического стекла, укрепленных на каске или шапке.

Обувь, как правило, не является экранирующей; назначение ее — обеспечить заземление костюма, т. е. хороший контакт с основанием, на котором стоит человек. Обычно это кожаные ботинки с подошвами, из электропроводящей резины. Применяется также обувь, целиком выполненная из такой резины, — ботинки, сапоги, галоши (на валенки).

Сопротивление подошвы обуви, т. е. сопротивление между внутренней и наружной поверхностями подошвы, не должно превышать 50 кОм, благодаря чему обеспечивается хороший контакт костюма с основанием, на котором стоит человек.

При большой напряженности поля рекомендуется использовать обувь с электропроводящим верхом, чтобы полностью защитить ноги от воздействия поля.

Все предметы экранирующего костюма — головной убор, куртка, перчатки (перчатки), брюки и обувь, а точнее, их токопроводящие элементы, должны иметь между собой надежную электрическую связь, осуществляемую специальными проводниками связи.



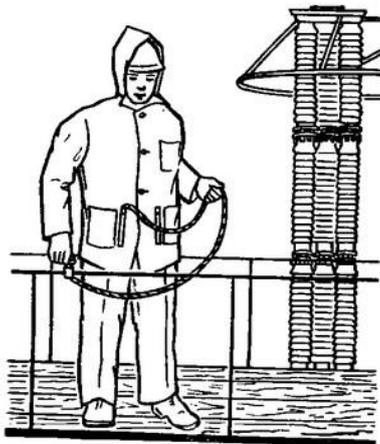
**Рис.13. Экранирующий костюм:**

1 — капюшон из токопроводящей ткани, выполненный как одно целое с курткой; 2 — куртка из токопроводящей ткани; 3 — проводники, обеспечивающие электрическую связь между отдельными элементами костюма; 4 — брюки из токопроводящей ткани; 5 — сапоги из токопроводящего материала; 6 — перчатки из токопроводящей ткани

Костюм надевается на белье, чтобы тело человека было изолировано от него. Допустимо также иметь хороший контакт тела человека с токопроводящей основой костюма, что может быть достигнуто с помощью токопроводящих манжет костюма, плотно охватывающих руки выше кистей. Этим исключаются покалывания и пощипывания при влажном белье или случайном прикосновении костюма к телу (например, в области шеи). При необходимости поверх костюма можно надевать другую одежду — телогрейку, халат, пальто и т. п.

Экранирующие костюмы как средства защиты от воздействия электрических полей следует применять при работах, проводимых в ОРУ и на ВЛ сверхвысокого напряжения вне области стационарных и временных экранирующих устройств, если напряженность поля на рабочем месте превышает 5 кВ/м.

Таковыми работами являются ремонтные, монтажные и строительные работы, осмотры оборудования, благоустройство и уборка территории ОРУ, проверка исправности изоляторов на опорах ВЛ, а также работы под напряжением на линиях электропередачи высокого и сверхвысокого напряжений и т. п.



**Рис.14. Заземление экранирующего костюма**

Костюм, т. е. его токопроводящие элементы, при работе должны быть соединены с землей — заземлены.

Работы, не связанные с прикосновением человека к заземленным предметам— оборудованию, конструкциям и пр., например осмотры оборудования, уборка снега, кошение травы и другие работы в ОРУ, а также обходы линий электропередачи можно производить без специального заземления костюма. В этом случае достаточной оказывается связь костюма с землей благодаря контактам токопроводящих подошв обуви с грунтом.

Работы, связанные с прикосновением человека к заземленным предметам, например ремонт оборудования и т. п., можно производить при условии специального заземления экранирующего костюма путем создания металлической связи между ним и заземляющим устройством электроустановки.

При этих работах специальное заземление костюма выполняется независимо от того, стоит ли человек непосредственно на земле или изолирован от нее.

Специальное заземление экранирующего костюма может осуществляться обеспечением контакта токопроводящих подошв обуви с так называемыми заземляющими площадками, металлическими рифлеными (для исключения скольжения) листами или сетками, размещенными на месте работ и надежно соединенными с заземляющим устройством электроустановки.

Лица, выполняющие работу с прикосновением к заземленным частям, обязаны во время работы всегда находиться на этих площадках.

Специальное заземление костюма может быть осуществлено также присоединением его к заземленным частям оборудования с помощью гибкого медного провода сечением не менее  $4 \text{ мм}^2$ , снабженного на концах надежными зажимами. Контакт этого провода с костюмом осуществляется присоединением его к любому из проводников связи в комплекте костюма .

При работах на высоте с применением лесов используют переносные заземляющие площадки, которые надежно укрепляют на лесах и металлически соединяют между собой и с заземляющим контуром. В этом случае применяют и полосы рифленой стали, прибиваемые к доскам настила. Их также соединяют одну с другой и с заземляющим устройством.

Длительность работы в экранирующем костюме Правилами не ограничивается. Однако надо иметь в виду, что длительная работа в экранирующем костюме сопровождается нарушением терморегуляции организма, в особенности при повышенной или пониженной температуре окружающего воздуха.

Запрещается применение экранирующих костюмов в тех случаях, когда возможно случайное прикосновение к частям, находящимся или могущим оказаться под напряжением, в том числе: при работах на действующих сборках и в цепях до 1000 В, при работах переносным электрифицированным инструментом; при электрических испытаниях оборудования; при электросварочных работах и др. Во всех этих случаях защита работающих от воздействия электрического поля должна осуществляться с помощью стационарных или временных экранирующих устройств, описанных ниже.

Исправность костюма проверяется периодически, например через каждые 2 мес. Необходимо проверять надежность электрической связи между всеми элементами костюма у комбинезонов, выполненных из ткани с изолированным микропроводом, следует контролировать с помощью омметра наличие гальванической связи между верхними и нижними накладками из ткани с серебряной мишурой, у ботинок — связь между металлической подошвой и выводом. Если подошва — из проводящей резины, то для проверки используется мегомметр 2500 В, при этом сопротивление не должно превышать 50 кОм.

### ***Защита человека с помощью экранирующего устройства***

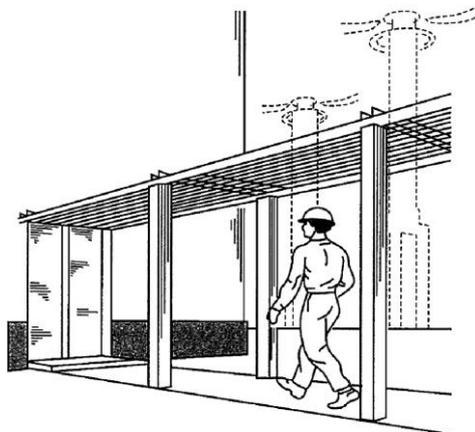
Экранирующие устройства (экраны) в зависимости от их конструкции и размеров, а также от места и условий размещения могут служить индивидуальными или коллективными средствами защиты людей от воздействия электрического поля при работах в действующих электроустановках промышленной частоты сверхвысокого напряжения.

Защитные свойства экранирующих устройств основаны на эффекте ослабления напряженности и искажения электрического поля в пространстве вблизи заземленного металлического предмета.

При соответствующих размерах, форме и размещении экранирующего устройства защищенное пространство может иметь незначительную напряженность электрического поля и достаточно большие размеры, чтобы в нем безопасно и удобно можно было выполнять работы.

Экранирующие устройства в зависимости от их назначения и исполнения подразделяются на стационарные и переносные (передвижные). Они должны обеспечивать снижение напряженности электрического поля в защищаемом пространстве до 5 кВ/м и менее.

Стационарные экранирующие устройства (экраны) являются неотъемлемой частью конструкции электроустановки и предназначены для защиты персонала при эксплуатационных работах (осмотрах оборудования, оперативных переключениях, выполнении обязанностей наблюдающего за производством работ и т. п.), а также при текущих и капитальных ремонтах выключателей и некоторых других работах. Их изготавливают из металла в виде плоских щитов — козырьков, навесов и перегородок.



**Рис.15. Экранирующий навес над проходом**

Козырьки изготавливают из металлической сетки с ячейками не крупнее 50 x 50 мм, укрепляемой на раме из угловой стали. Устанавливают их над рабочими местами, с которых производятся работы по управлению и обслуживанию аппаратов и устройств;

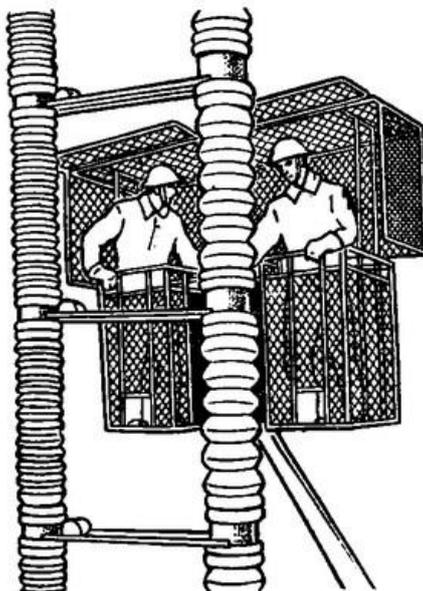
- у агрегатных шкафов и шкафов управления воздушных выключателей;
- у ящиков зажимных сборок и приводов разъединителей (если эти приводы

- выступают за пределы конструкции, на которой стоит разъединитель) ;
- у сборок до 1000 В;
  - у силовых распределительных шкафов;
  - у фильтров присоединений и у других устройств и аппаратов, нуждающихся в периодическом обслуживании.

Ширина козырька должна быть не меньше ширины шкафа, а длина его выступающей части — не менее 1 м.

Навесы изготавливают из стальных прутков, а также из отрезков стального троса или провода диаметром 5—8 мм, которые натягивают параллельно один другому на расстоянии между ними 10—20 см. Навесы устанавливают на высоте 2—2,5 м над землей над проходами, а также над участками ОРУ, с которых производят осмотр оборудования. Ширина навесов не менее 1,5 м, а длина их зависит от размеров защищаемого участка.

Перегородки изготавливают из металлической сетки или стальных прутков, смонтированных на стальной раме соответствующих размеров. Их устанавливают вертикально и точно посередине между соседними ячейками воздушных выключателей и крепят на специальных опорах с оттяжками. При этом нижняя грань перегородки должна находиться над поверхностью земли на высоте 2-3 м, чтобы не мешать проходу людей и проезду машин.



**Рис.16. Экранирование люлек**

Длина и высота перегородки должны быть по крайней мере равны длине и высоте воздушного выключателя с учетом всех его токоведущих частей.

При использовании экранирующих перегородок надо иметь в виду, что они защищают от полей, создаваемых лишь соседними присоединениями, и не защищают от поля данного присоединения (т. е. от поля, создаваемого токоведущими частями, размещенными над рабочим местом). Поэтому если работы производятся без снятия напряжения, то требуется применять дополнительные средства экранирования — навесы, щиты и т. п.

Переносные (передвижные) экранирующие устройства, называемые также временными устройствами, предназначены для защиты персонала, выполняющего в течение длительного времени эксплуатационные, ремонтные или монтажные работы на участках действующей электроустановки, не защищенных стационарными экранами. Их изготавливают в виде переносных или передвижных (съёмных) козырьков, навесов, перегородок, щитов, палаток и подобных им устройств из тех же материалов, что и стационарные экраны; палатки и навесы можно изготавливать из специальной металлизированной или обычной ткани, например брезента, покрытого алюминиевой краской.

Временные козырьки подобно стационарным устанавливают непосредственно у шкафов и других устройств на высоте, удобной для работы.

Временные навесы используют обычно для экранирования рабочих мест, поэтому их размеры определяются размерами рабочего места или численностью бригады.

Временные перегородки и щиты служат съемными боковыми экранами. Перегородки обычно устанавливают между действующими и отключенными или монтируемыми ячейками, а щиты - на лесах, с которых производятся работы на воздушных выключателях.

С помощью съемных или раздвижных щитов защищают также люльки гидроподъемников и телескопических вышек .

Палатки устанавливают над рабочими местами и крепят с помощью тросов или канатов к стойкам порталов или опорам оборудования.

Установку экранов как временных, так и постоянных следует выполнять с соблюдением следующих допустимых изоляционных расстояний до токоведущих частей:

- в установках 400 и 500 кВ — 4,5;
- в установках 750 кВ - 6 м.

При этом стационарные экраны не должны препятствовать проезду машин и механизмов нормальных габаритов.

Временные перегородки и щиты между действующими и монтируемыми присоединениями следует располагать возможно ближе к защищаемой зоне, благодаря чему усиливается экранирующий эффект и увеличиваются изоляционные расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Заземление экранирующих устройств исключительно важно для создания защитной зоны, поэтому оно должно быть особенно надежным. Каждый экран заземляют присоединением его не менее чем в двух точках к контуру заземления электроустановки или к заземленным металлическим конструкциям.

При этом стационарные экраны присоединяют к заземляющему устройству стальными проводниками с помощью сварки или болтов, а временные — с помощью специальных проводников, для чего на них предусматривают заземляющие зажимы.

Сопrotивление заземления не должно превышать 10 Ом.

### ***Особенности производства работ в зоне влияния электромагнитного поля***

Кроме рассмотренных ранее мер защиты от воздействия электрического поля с помощью экранирующих костюмов и экранирующих устройств при работах в ОРУ сверхвысоких напряжений необходимо выполнять и другие меры защиты и соблюдать определенные условия работы, также обусловленные наличием интенсивного электрического поля.

Так, перед началом работ, даже кратковременных, необходимо заземлять как отключенные, так и вновь монтируемые токоведущие части, а также другие металлические части оборудования и предметы, изолированные от земли, для того чтобы исключить воздействие на человека искрового разряда в случае прикосновения его к этим частям и предметам .

Заземление указанных частей и предметов необходимо и потому что в этом случае они становятся как бы экранами, значительно уменьшающими интенсивность электрического поля на рабочем месте. С этой же целью следует заземлять отключенные токоведущие части ближайших к месту работы аппаратов, даже если работа на них не предполагается. Заземление осуществляется с помощью заземляющих ножей или временных переносных заземлений.

Для увеличения степени естественного экранирования рабочих мест следует при работах в шкафах и ящиках так открывать их дверцы, чтобы они служили защитными экранами для работающих.

В пространстве около зданий и сооружений , находящихся в электрическом поле, а также вблизи заземленных металлоконструкций, фундаментов под оборудование и крупногабаритных объектов напряженность электрического поля может не превышать 5 кВ/м. В таком случае это пространство называется зоной экранирования, границы которой определяются измерением напряженности поля.

В пределах зоны экранирования персонал может находиться без средств защиты сколько угодно долго. Например, вблизи трансформаторов и шунтирующих реакторов постоянно существует зона экранирования с незначительной напряженностью электрического поля. Поэтому эксплуатационное обслуживание этих аппаратов без подъема на вводы (отбор проб масла из баков и вводов; обслуживание системы охлаждения, цепей контрольно-измерительной аппаратуры и приборов; производство мелкого ремонта и т. п.) можно производить без экранирующих средств независимо от продолжительности работы.

В помещениях ОРУ— на пульте управления, в трансформаторной башне, компрессорной, мастерской и др. имеющих заземленную металлическую кровлю или выполненных из железобетона, электрическое поле отсутствует. Поэтому в таких помещениях средств защиты не требуется.

Передвижные мастерские, лаборатории и прицепные фургоны по этим же соображениям должны быть металлическими или иметь металлическую крышу. И в том, и в другом случае металлические части должны заземляться.

Машины и механизмы на резиновом ходу - автокраны, тракторы, автомобили, и т. п., работающие в зоне влияния, снабжаются металлической цепью, соединенной с рамой или кузовом. Перед въездом на территорию ОРУ или в зону влияния ВЛ цепь опускают до надежного соприкосновения с землей. При работе таких машин и механизмов в зоне влияния без перемещения они должны быть заземлены путем соединения кузова или рамы с заземляющим устройством электроустановки специальным проводником.

## **7. Электрические защитные средства и предохранительные приспособления**

В процессе эксплуатации электроустановок нередко возникают условия, при которых даже самое совершенное конструктивное исполнение установок не обеспечивает безопасности работающего, и поэтому требуется применение специальных средств защиты – приборов, аппаратов, переносимых и перевозимых приспособлений и устройств, служащих для защиты персонала, работающего в электроустановках, от поражения электрическим током, от вредного воздействия электрического поля и продуктов горения, от опасности падения с высоты и пр. Эти средства не являются конструктивными частями электроустановок; они дополняют защитные свойства стационарно установленных ограждений, блокировок, сигнализаций и специальных устройств – заземлений, занулений и т.п.

Средства защиты, применяемые в электроустановках, можно условно разделить на четыре группы: изолирующие, ограждающие, экранирующие и предохранительные. Первые три группы предназначены для защиты персонала от поражения электрическим током и вредного воздействия электрического поля и называются электрозащитными средствами.

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

Основные изолирующие электрозащитные средства обладают изоляцией, способной длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки и поэтому ими разрешается прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства обладают изоляцией, не способной выдерживать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому они не могут самостоятельно защитить человека от поражения током при этом напряжении. Их назначение – усилить защитное действие основных изолирующих средств, вместе с которыми они должны применяться; причем при использовании основных электрозащитных средств достаточно применения одного дополнительного электрозащитного средства.

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

Экранирующие электрозащитные средства имеют задачу исключить вредное воздействие

на работающих электрических полях промышленной частоты. К ним относятся индивидуальные экранирующие комплекты, переносные экранирующие устройства и экранирующие тканевые изделия.

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

К электрорезистивным средствам относятся:

- изолирующие штанги всех видов;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные и стационарные;
- устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках (указатели напряжения для проверки совпадения фаз, клещи электроизмерительные, устройства для прокола кабеля);
- диэлектрические перчатки, галоши, боты;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- защитные ограждения (щиты и ширмы);
- изолирующие накладки и колпаки;
- ручной изолирующий инструмент;
- переносные заземления;
- плакаты и знаки безопасности;
- специальные средства защиты, устройства и приспособления изолирующие для работ под напряжением в электроустановках напряжением 110 кВ и выше;
- гибкие изолирующие покрытия и накладки для работ под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В;
- лестницы приставные и стремянки изолирующие стеклопластиковые.

Изолирующие электрорезистивные средства делятся на основные и дополнительные.

К основным изолирующим электрорезистивным средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся:

- изолирующие штанги всех видов;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках (указатели напряжения для проверки совпадения фаз, клещи электроизмерительные, устройства для прокола кабеля и т.п.);
- специальные средства защиты, устройства и приспособления изолирующие для работ под напряжением в электроустановках напряжением 110 кВ и выше (кроме штанг для переноса и выравнивания потенциала).

Таблица 4 - Основные термины, принятые в инструкции, и их определения

<i><b>Термин</b></i>	<i><b>Определение</b></i>
Средство защиты работающего	Средство, предназначенное для предотвращения или уменьшения воздействия на работающего опасных и (или) вредных производственных факторов
Средство коллективной защиты	Средство защиты, конструктивно и (или) функционально связанное с производственным процессом, производственным оборудованием, помещением, зданием, сооружением, производственной площадкой
Средство индивидуальной защиты	Средство защиты, используемое одним человеком
Электрозащитное средство (ЭЗС)	Средство защиты от поражения электрическим током, предназначенное для обеспечения электробезопасности
Основное изолирующее ЭЗС	Изолирующее электрозащитное средство, изоляция которого длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которое позволяет работать на токоведущих частях, находящихся под напряжением
Дополнительное изолирующее ЭЗС	Изолирующее электрозащитное средство, которое само по себе не может при данном напряжении обеспечить защиту от поражения электрическим током, но дополняет основное средство защиты, а также служит для защиты от напряжения прикосновения и напряжения шага
Напряжение прикосновения	Напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека
Напряжение шага	Напряжение между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека
Безопасное расстояние	Наименьшее допустимое расстояние между работающим и источником опасности, необходимое для обеспечения безопасности работающего
Указатель напряжения	Устройство для определения наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок
Сигнализатор наличия напряжения	Устройство для предупреждения персонала о нахождении в потенциально опасной зоне из-за приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на опасное расстояние или для предварительной (ориентировочной) оценки наличия напряжения на токоведущих частях электроустановок при расстояниях между ними и работающим, значительно превышающих безопасные
Работа без снятия напряжения	Работа, выполняемая с прикосновением к токоведущим частям, находящимся под напряжением (рабочим или наведенным), или на расстояниях от этих токоведущих частей менее допустимых
Зона влияния электрического поля	Пространство, в котором напряженность электрического поля промышленной частоты превышает 5 кВ/м
Плакат (знак) безопасности	Цветографическое изображение определенной геометрической формы с использованием сигнальных и контрастных цветов, графических символов и (или) поясняющих надписей, предназначенное для предупреждения людей о непосредственной или возможной опасности, запрещения, предписания или разрешения определенных действий, а также для информации о расположении объектов и средств, использование которых исключает или снижает воздействие опасных и (или) вредных факторов
Напряженность неискаженного электрического поля	Напряженность электрического поля, не искаженного присутствием человека и измерительного прибора, определяемая в зоне, где предстоит находиться человеку в процессе работы
Экранирующее устройство	Средство коллективной защиты, снижающее напряженность электрического поля на рабочих местах в электроустановках, находящихся под напряжением

К дополнительным изолирующим электробезопасным средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся:

- диэлектрические перчатки и боты;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки и накладки;
- штанги для переноса и выравнивания потенциала;
- лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые. К основным

изолирующим электробезопасным средствам для электроустановок напряжением до 1000 В относятся:

- изолирующие штанги всех видов;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- ручной изолирующий инструмент.

К дополнительным изолирующим электробезопасным средствам для электроустановок напряжением до 1000 В относятся:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки, покрытия и накладки;
- лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые.

К средствам защиты от электрических полей повышенной напряженности относятся комплекты индивидуальные экранирующие для работ на потенциале провода воздушной линии электропередачи (ВЛ) и на потенциале земли в открытом распределительном устройстве (ОРУ) и на ВЛ, а также съемные и переносные экранирующие устройства и плакаты безопасности.

Кроме перечисленных средств защиты в электроустановках применяются следующие средства индивидуальной защиты:

- средства защиты головы (каска защитные);
- средства защиты глаз и лица (очки и щитки защитные);
- средства защиты органов дыхания (противогазы и респираторы);
- средства защиты рук (рукавицы);
- средства защиты от падения с высоты (пояса предохранительные и канаты страховочные);
- одежда специальная защитная (комплекты для защиты от электрической дуги).

При использовании основных изолирующих электробезопасных средств достаточно применение одного дополнительного, за исключением особо оговоренных случаев.

При необходимости защитить работающего от напряжения шага диэлектрические боты или галоши могут использоваться без основных средств защиты.

### **Электробезопасные средства**

Изолирующая часть электробезопасных средств, содержащих диэлектрические штанги или рукоятки, должна ограничиваться кольцом или упором из электроизоляционного материала со стороны рукоятки.

У электробезопасных средств для электроустановок выше 1000 В высота ограничительного кольца или упора должна быть не менее 5 мм.

У электробезопасных средств для электроустановок до 1000 В (кроме изолированного инструмента) высота ограничительного кольца или упора должна быть не менее 3 мм.

При использовании электробезопасных средств запрещается прикасаться к их рабочей части, а также к изолирующей части за ограничительным кольцом или упором.

Применение бумажно-бакелитовых трубок для изготовления изолирующих частей не допускается.

В электроустановках напряжением выше 1000 В пользоваться изолирующими штангами, клещами и указателями напряжения следует в диэлектрических перчатках.

### Штанги изолирующие

Штанги изолирующие предназначены для оперативной работы (операции с разъединителями, смена предохранителей, установка деталей разрядников и т.п.), измерений (проверка изоляции на линиях электропередачи и подстанциях), для наложения переносных заземлений, а также для освобождения пострадавшего от электрического тока.

Штанги должны состоять из трех основных частей: рабочей, изолирующей и рукоятки.

Штанги могут быть составными из нескольких звеньев. Для соединения звеньев между собой могут применяться детали, изготовленные из металла или изоляционного материала. Допускается применение телескопической конструкции, при этом должна быть обеспечена надежная фиксация звеньев в местах их соединений.

Оперативные штанги могут иметь сменные головки (рабочие части) для выполнения различных операций. При этом должно быть обеспечено их надежное закрепление.

Таблица 5.1 - Минимальные размеры штанг изолирующих

Номинальное напряжение электроустановки, кВ	Длина, мм	
	изолирующей части	рукоятки
До 1	Не нормируется, определяется удобством пользования	
Выше 1 до 15	700	300
Выше 15 до 35	1100	400
Выше 35 до 110	1400	600
150	2000	800
220	2500	800
330	3000	800
Выше 330 до 500	4000	1000

Таблица 5.2 - Минимальные размеры штанг переносных заземлений

Назначение штанг	Длина, мм	
	изолирующей части	рукоятки
Для установки заземления в электроустановках напряжением до 1 кВ	Не нормируется, определяется удобством пользования	
Для установки заземления в РУ выше 1 кВ до 500 кВ, на провода ВЛ выше 1 кВ до 220 кВ, выполненные целиком из электроизоляционных материалов	По табл. 5.1	По табл. 5.1
Составные, с металлическими звеньями, для установки заземления на провода ВЛ от 110 до 220 кВ	500	По табл. 5.1
Составные, с металлическими звеньями, для установки заземления на провода ВЛ от 330 до 1150 кВ	1000	По табл. 5.1
Для установки заземления на изолированные от опор грозозащитные тросы ВЛ от 110 до 500 кВ	700	300
Для установки заземления на изолированные от опор грозозащитные тросы ВЛ от 750 до 1150 кВ	1400	500
Для установки заземления в лабораторных и испытательных установках	700	300
Для переноса потенциала провода	Не нормируется, определяется удобством пользования	

В электроустановках напряжением выше 1000 В пользоваться изолирующими штангами следует в диэлектрических перчатках.

### Клещи изолирующие

Клещи изолирующие предназначены для замены предохранителей в электроустановках до и выше 1000 В, а также для снятия накладок, ограждений и других аналогичных работ<sup>1</sup> в электроустановках до 35 кВ включительно.

Клещи состоят из рабочей части (губок клещей), изолирующей части и рукоятки (рукояток).

Таблица 5.3 - Минимальные размеры клещей изолирующих

Номинальное напряжение электроустановки, кВ	Длина, мм	
	изолирующей части	рукоятки
До 1	Не нормируется, определяется удобством пользования	
Выше 1 до 10	450	150
Выше 10 до 35	750	200

При работе с клещами по замене предохранителей в электроустановках напряжением выше 1000 В необходимо применять диэлектрические перчатки и средства защиты глаз и лица.

При работе с клещами по замене предохранителей в электроустановках напряжением до 1000 В необходимо применять средства защиты глаз и лица, а клещи необходимо держать на вытянутой руке.

### Указатели напряжения

Указатели напряжения предназначены для определения наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок.

#### Указатели напряжения выше 1000 В

Указатели напряжения выше 1000 В реагируют на емкостный ток, протекающий через указатель при внесении его рабочей части в электрическое поле, образованное токоведущими частями электроустановок, находящимися под напряжением, и "землей" и заземленными конструкциями электроустановок.

Указатели должны содержать основные части: рабочую, индикаторную, изолирующую, а также рукоятку.

Рабочая часть может содержать электрод-наконечник для непосредственного контакта с контролируемыми токоведущими частями и не содержать электрода-наконечника (указатели бесконтактного типа).

Индикаторная часть, которая может быть совмещена с рабочей, содержит элементы световой или комбинированной (световой и звуковой) индикации. В качестве элементов световой индикации могут применяться газоразрядные лампы, светодиоды или иные индикаторы. Световой и звуковой сигналы должны быть надежно распознаваемыми. Звуковой сигнал должен иметь частоту 1-4 кГц и частоту прерывания 2-4 Гц при индикации фазного напряжения. Уровень звукового сигнала должен быть не менее 70 дБ на расстоянии 1 м по оси излучателя звука.

Рабочая часть может содержать также орган собственного контроля исправности. Контроль может осуществляться нажатием кнопки или быть автоматическим, путем периодической подачи специальных контрольных сигналов. При этом должна быть обеспечена возможность полной проверки исправности электрических цепей рабочей и индикаторной частей.

Рабочие части не должны содержать коммутационных элементов, предназначенных для включения питания или переключения диапазонов.

Таблица 5.4 - Минимальные размеры изолирующих частей и рукояток указателей напряжения выше 1000 В

Номинальное напряжение электроустановки, кВ	Длина, мм	
	изолирующей части	рукоятки
От 1 до 10	230	110

<sup>1</sup> Вместо клещей при необходимости допускается применять изолирующие штанги с универсальной головкой.

Выше 10 до 20	320	110
35	510	120
110	1400	600
Выше 110 до 220	2500	800

Таблица 5.5 - Расстояние до ближайшего провода соседней цепи

Номинальное напряжение электроустановки, кВ	Расстояние от указателя до ближайшего провода соседней цепи, мм
Выше 1 до 6	150
Выше 6 до 10	220
Выше 10 до 35	500
110	1500
150	1800
220	2500

### Правила пользования

Перед началом работы с указателем необходимо проверить его исправность.

Исправность указателей, не имеющих встроенного органа контроля, проверяется при помощи специальных приспособлений, представляющих собой малогабаритные источники повышенного напряжения, либо путем кратковременного прикосновения электродом-наконечником указателя к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением.

Исправность указателей, имеющих встроенный узел контроля, проверяется в соответствии с руководствами по эксплуатации.

При проверке отсутствия напряжения время непосредственного контакта рабочей части указателя с контролируемой токоведущей частью должно быть не менее 5 с (при отсутствии сигнала).

Следует помнить, что, хотя указатели напряжения некоторых типов могут подавать сигнал о наличии напряжения на расстоянии от токоведущих частей, непосредственный контакт с ними рабочей части указателя является обязательным.

В электроустановках напряжением выше 1000 В пользоваться указателем напряжения следует в диэлектрических перчатках.

#### Указатели напряжения до 1000 В

В электроустановках напряжением до 1000 В применяются указатели двух типов: двухполюсные и однополюсные.

Двухполюсные указатели, работающие при протекании активного тока, предназначены для электроустановок переменного и постоянного тока.

Однополюсные указатели, работающие при протекании емкостного тока, предназначены для электроустановок только переменного тока.

Применение двухполюсных указателей является предпочтительным.

Применение контрольных ламп для проверки отсутствия напряжения не допускается.

Двухполюсные указатели состоят из двух корпусов, выполненных из электроизоляционного материала, содержащих элементы, реагирующие на наличие напряжения на контролируемых токоведущих частях, и элементы световой и (или) звуковой индикации. Корпуса соединены между собой гибким проводом длиной не менее 1 м. В местах вводов в корпуса соединительный провод должен иметь амортизационные втулки или утолщенную изоляцию.

Размеры корпусов не нормируются, определяются удобством пользования.

Каждый корпус двухполюсного указателя должен иметь жестко закрепленный электрод-наконечник, длина неизолированной части которого не должна превышать 7 мм, кроме указателей для воздушных линий, у которых длина неизолированной части электродов-наконечников определяется техническими условиями.

Однополюсный указатель имеет один корпус, выполненный из электроизоляционного материала, в котором размещены все элементы указателя. Кроме электрода-наконечника,

соответствующего требованиям п. 2.4.25, на торцевой или боковой части корпуса должен быть электрод для контакта с рукой оператора.

Указатели напряжения до 1000 В могут выполнять также дополнительные функции: проверка целостности электрических цепей, определение фазного провода, определение полярности в цепях постоянного тока и т.д. При этом указатели не должны содержать коммутационных элементов, предназначенных для переключения режимов работы.

наибольшее рабочее напряжение указателя на 10%.

#### **Правила пользования**

Перед началом работы с указателем необходимо проверить его исправность путем кратковременного прикосновения к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением.

При проверке отсутствия напряжения время непосредственного контакта указателя с контролируруемыми токоведущими частями должно быть не менее 5 с.

При пользовании однополюсными указателями должен быть обеспечен контакт между электродом на торцевой (боковой) части корпуса и рукой оператора. Применение диэлектрических перчаток не допускается.

#### **Перчатки диэлектрические**

Перчатки предназначены для защиты рук от поражения электрическим током. Применяются в электроустановках до 1000 В в качестве основного изолирующего электрозащитного средства, а в электроустановках выше 1000 В - дополнительного.

В электроустановках могут применяться перчатки из диэлектрической резины бесшовные или со швом, пятипалые или двухпалые.

В электроустановках разрешается использовать только перчатки с маркировкой по защитным свойствам ЭВ и ЭН.

Длина перчаток должна быть не менее 350 мм.

Размер диэлектрических перчаток должен позволять надевать под них трикотажные перчатки для защиты рук от пониженных температур при работе в холодную погоду.

Ширина по нижнему краю перчаток должна позволять натягивать их на рукава верхней одежды.

#### **Правила пользования**

Перед применением перчатки следует осмотреть, обратив внимание на отсутствие механических повреждений, загрязнения и увлажнения, а также проверить наличие проколов путем скручивания перчаток в сторону пальцев.

При работе в перчатках их края не допускается подвертывать. Для защиты от механических повреждений разрешается надевать поверх перчаток кожаные или брезентовые перчатки и рукавицы.

Перчатки, находящиеся в эксплуатации, следует периодически, по мере необходимости, промывать содовым или мыльным раствором с последующей сушкой.

#### **Обувь специальная диэлектрическая**

Обувь специальная диэлектрическая (галoши, боты, в т.ч. боты в тропическом исполнении) является дополнительным электрозащитным средством при работе в закрытых, а при отсутствии осадков - в открытых электроустановках.

Кроме того, диэлектрическая обувь защищает работающих от напряжения шага.

Галоши применяют в электроустановках напряжением до 1000 В, боты - при всех напряжениях.

По защитным свойствам обувь обозначают: ЭН - галоши, ЭВ - боты.

Боты должны иметь отвороты.

Высота бот должна быть не менее 160 мм.

Перед применением галоши и боты должны быть осмотрены с целью обнаружения возможных дефектов (отслоения облицовочных деталей или подкладки, наличие посторонних жестких включений и т.п.).

#### **Ковры диэлектрические резиновые**

### **и подставки изолирующие**

Ковры диэлектрические резиновые и подставки изолирующие применяются как дополнительные электротехнические средства в электроустановках до и выше 1000 В.

Ковры применяют в закрытых электроустановках, кроме сырых помещений, а также в открытых электроустановках в сухую погоду.

Подставки применяют в сырых и подверженных загрязнению помещениях.

Ковры изготовляют в соответствии с требованиями государственного стандарта в зависимости от назначения и условий эксплуатации следующих двух групп: 1-я группа - обычного исполнения и 2-я группа - маслостойкие.

Ковры изготовляются толщиной  $6 \pm 1$  мм, длиной от 500 до 8000 мм и шириной от 500 до 1200 мм.

Ковры должны иметь рифленую лицевую поверхность.

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

Настил размером не менее  $500 \times 500$  мм следует изготавливать из хорошо просушенных строганых деревянных планок без сучков и косослоя. Зазоры между планками должны составлять 10-30 мм. Планки должны соединяться без применения металлических крепежных деталей. Настил должен быть окрашен со всех сторон. Допускается изготавливать настил из синтетических материалов.

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

### **Заземления переносные**

Заземления переносные предназначены для защиты работающих на отключенных токоведущих частях электроустановок от ошибочно поданного или наведенного напряжения при отсутствии стационарных заземляющих ножей.

Заземления состоят из проводов с зажимами для закрепления их на токоведущих частях и струбцинами для присоединения к заземляющим проводникам. Заземления могут иметь штанговую или бесштанговую конструкцию.

Провода заземлений должны быть гибкими, могут быть медными или алюминиевыми, неизолированными или заключенными в прозрачную защитную оболочку.

Сечения проводов заземлений должны удовлетворять требованиям термической стойкости при протекании токов трехфазного короткого замыкания, а в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью - также при протекании токов однофазного короткого замыкания. Провода заземлений должны иметь сечение не менее  $16 \text{ мм}^2$  в электроустановках до 1000 В и не менее  $25 \text{ мм}^2$  в электроустановках выше 1000 В.

Для выбора сечений проводов заземлений по условию термической стойкости рекомендуется пользоваться следующей упрощенной формулой:

$$S_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{уст}} \sqrt{t_{\text{в}}}}{C}.$$

где:  $S_{\text{мин}}$  - минимально допустимое сечение провода,  $\text{мм}^2$ ;

$I_{\text{уст}}$  - наибольшее значение установившегося тока короткого замыкания;

$t_{\text{в}}$  - время наибольшей выдержки основной релейной защиты, с;

$C$  - коэффициент, зависящий от материала проводов (для меди  $C=250$ , а для алюминия  $C=152$ ).

В таблицах 6.1 и 6.2 показаны допустимые по условиям термической стойкости токи короткого замыкания в зависимости от сечения проводов и времени выдержки релейной защиты 0,5; 1,0 и 3,0 с, рассчитанные по приведенной формуле для медных и алюминиевых проводов.

При больших токах короткого замыкания разрешается устанавливать несколько заземлений параллельно.

Таблица 6.1 - Максимально допустимые токи короткого замыкания для переносного заземления с медным проводом

Сечение медного провода, мм <sup>2</sup>	Максимально допустимый ток короткого замыкания, кА, при времени выдержки релейной защиты, с		
	0,5	1,0	3,0
16	5,7	4,0	2,3
25	8,8	6,2	3,6
35	12,4	8,8	5,1
50	17,7	12,5	7,2
70	24,7	17,5	10,1
95	33,6	23,8	13,7

Таблица 6.2 - Максимально допустимые токи короткого замыкания для переносного заземления с алюминиевым проводом

Сечение алюминиевого провода, мм <sup>2</sup>	Максимально допустимый ток короткого замыкания, кА, при времени выдержки релейной защиты, с		
	0,5	1,0	3,0
16	3,4	2,4	1,4
25	5,4	3,8	2,2
35	7,5	5,3	3,1
50	10,7	7,6	4,4
70	15,0	10,6	6,1
95	20,4	14,4	8,3

При выборе заземлений в эксплуатации следует также проверять их на соответствие требованиям электродинамической устойчивости при коротких замыканиях по следующей формуле:

$$i_{\text{дин. мин.}} = 2,55 I_{\text{уст.}}$$

где:  $i_{\text{дин. мин.}}$  - минимально необходимый ток динамической устойчивости для заземления;

$I_{\text{уст.}}$  - наибольшее значение установившегося тока короткого замыкания.

Значения  $i_{\text{дин.}}$  должны указываться в паспортах на каждое конкретное заземление.

Провода переносных заземлений, применяемых для снятия остаточного заряда при проведении испытаний, для заземления испытательной аппаратуры и испытуемого оборудования, должны быть медными, сечением не менее 4 мм<sup>2</sup>, а применяемых для заземления изолированного от опор грозозащитного троса воздушных линий, а также передвижных установок (лабораторий, мастерских и т.п.) и грузоподъемных машин - медными, сечением не менее 10 мм<sup>2</sup> по условиям механической прочности.

На каждом заземлении, кроме перечисленных должны быть обозначены номинальное напряжение электроустановки, сечение проводов и инвентарный номер. Эти данные выбиваются на одном из зажимов или на бирке, закрепленной на заземлении.

Установка и снятие переносных заземлений должны выполняться в диэлектрических перчатках с применением в электроустановках выше 1000 В изолирующей штанги. Закреплять зажимы переносных заземлений следует этой же штангой или непосредственно руками в диэлектрических перчатках.

В оперативной документации электроустановок должен проводиться учет всех установленных заземлений.

В процессе эксплуатации заземления осматривают не реже 1 раза в 3 месяца, а также непосредственно перед применением и после воздействия токов короткого замыкания. При обнаружении механических дефектов контактных соединений, обрыве более 5% проводников, их расплавлении заземления должны быть изъяты из эксплуатации.

#### **Плакаты и знаки безопасности**

Плакаты и знаки безопасности предназначены:

- для запрещения действий с коммутационными аппаратами, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на место работы (запрещающие плакаты);
- для предупреждения об опасности приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, и передвижения без средств защиты в ОРУ 330 кВ и выше с напряженностью электрического поля выше допустимой (предупреждающие знаки и плакаты);
- для разрешения конкретных действий только при выполнении определенных требований безопасности (предписывающие плакаты);
- для указания местонахождения различных объектов и устройств (указательный плакат).

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

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

Переносные плакаты следует изготавливать только из электроизоляционных материалов.

Применение постоянных плакатов и знаков из металла допускается только вдали от токоведущих частей.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

### Критерии достижения результатов обучения по лабораторным работам

Подготовка к лабораторной работе выполняется студентом самостоятельно во внеаудиторное время в рамках обязательных часов, выделенных на самостоятельную работу по дисциплине.

Преподаватель проверяет подготовленную часть работы и допускает студента к выполнению лабораторной работы на лабораторном оборудовании.

На следующие аудиторские занятия студент приходит с подготовленной лабораторной работой.

Преподаватель проверяет выполнение работы, и студент получает допуск к защите лабораторной работы.

Защита представляет собой ответы на вопросы преподавателя по теме работы.

В процессе защиты лабораторной работы студент должен продемонстрировать следующие качества знаний: осознанность, прочность, полноту, глубину.

**Студент должен ПОНИМАТЬ содержание выполненной работы (ЗНАТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНЯТИЙ, УМЕТЬ РАЗЪЯСНИТЬ ЗНАЧЕНИЕ И СМЫСЛ ЛЮБОГО ТЕРМИНА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В РАБОТЕ И Т.П.).**

Все виды работы: результаты анализа, сопоставления, самоопределения, выводы и т.п. записываются аккуратно, с выделением номера задания, отдельными абзацами. **Никакие сокращения слов в текстах лабораторных работ не допускаются!**

После защиты результаты работы **подписываются** преподавателем («зачтено», количество баллов, подпись преподавателя, дата сдачи). Не подписанная преподавателем работа не считается защищенной.

В журнале учета успеваемости студентов выставляется балл за выполненную работу (от 3 до 5,0 баллов в зависимости от качества выполненной работы). **Суммарная максимальная оценка за все выполненные в срок лабораторные работы (без учета бонуса) – 40 баллов**

### Критерии оценки лабораторных работ:

Балл	Критерии оценки (содержательная характеристика)
«1»	Работа выполнена полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допуская грубые ошибки, испытывает затруднения в формулировке собственных суждений, неспособен ответить на дополнительные вопросы.
«2»	Работа выполнена полностью. Студент не владеет теоретическим материалом, допуская ошибки по существу рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.
«3»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, отсутствуют ошибки при описании теории, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«4»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«5»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.

**Работа, оцененная менее, чем 3 баллами, НЕ МОЖЕТ БЫТЬ «ЗАЧТЕНА» и пересдается.**

В случае пропуска занятий или не допуска к защите, проверка и защита лабораторной работы осуществляется во время, определяемое преподавателем. **В часы занятий по расписанию проверяется и защищается только та работа, тема которой предусмотрена календарным планом.** Студент, защитивший работу, продолжает в аудитории готовиться к выполнению следующей работы.

**ПОСЛЕДНИЙ СРОК СДАЧИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ – ПОСЛЕДНИЙ ДЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В СЕМЕСТРЕ В КАЖДОЙ ПОДГРУППЕ.**

**КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ:**

Оценка выполненных лабораторных работ осуществляется в рамках рейтинговой системы (5,0 баллов) по следующим показателям:

- Владение теоретическим материалом по рассматриваемым вопросам.
- Работа с различными источниками технической литературы.
- Наличие собственных оценочных, аргументированных, развернутых вопросов.
- Ответы на дополнительные вопросы.

**ШКАЛА ПЕРЕВОДА БАЛЛОВ В ОЦЕНКИ ЗА ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

Баллы	Оценка
60 – 100	зачет
0 – 60	незачет

Вид работы	Кoeff. важн.	Критерии	Количество баллов	Общая сумма баллов
Выполнение и защита лабораторных работ	<b>1,0</b>	Соответствие требованиям (см. ниже)	5,0 максимально за каждую работу. Итого: $5,0 \times 8 = 40 + 5 = 45$ <i>5 баллов выставляется как бонус за своевременную сдачу всех работ в рамках учебных занятий</i>	<b>45</b>

*Меры безопасности при проведении лабораторных работ.*

Перед эксплуатацией лабораторного стола проверить присоединение его к контуру заземления лаборатории, в соответствии с требованиями ПУЭ п. п 1.7.76, 1.7.93, 1.7.94.

2. Перед началом работы проверяется состояние лабораторного стенда и используемых измерительных приборов. Студент должен: осмотреть электрический провода, находящиеся в комплекте стенда, питающие кабели, пусковые кнопки и др. устройства, электроизмерительные приборы, защитные средства, убедиться в наличии заземления, в отсутствии оголенных проводов, не закрытых клемных коробок, соединений.

3. Во время работы студент обязан регулярно производить осмотр обслуживаемого им оборудования, рабочего места. При выявлении неполадок немедленно известить об этом преподавателя.

4. Выполнение работ на лабораторном стенде производить в соответствии с порядком выполнения лабораторной работы согласно методическим указаниям к выполнению лабораторных работ.

5. Выполнение необходимых изменений в лабораторном стенде (сборка электрической схемы эксперимента) производить на отключенном стенде.

6. По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G1 и A11, а также – выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.

Занятия по лабораторным работам осуществляются в группе студентов, не превышающей восьми человек. Во-вторых, для ведения занятий назначается два человека: преподаватель, имеющий как минимум III квалификационную группу по ТБ.

Перед началом лабораторных занятий все студенты проходят вводный инструктаж по ТБ, а перед проведением конкретной лабораторной работы – инструктаж по правилам безопасности проведения опытов на данной установке. После этого каждый студент расписывается в журнале, что он прошел инструктаж, а преподаватель расписывается в том, что он провел инструктаж.

#### *Правила техники безопасности в лаборатории*

Настоящие правила распространяются на преподавателей, инженерно-технологических работников и студентов, проводящих и выполняющих лабораторные работы в лаборатории. Требования настоящих правил являются обязательными и отступление от них не допускается.

Запрещается выполнение распоряжений противоречащих требованиям настоящих правил.

Каждый работающий в лаборатории, если он сам не может принять меры по устранению нарушения правил, обязан немедленно сообщить вышестоящему начальству о всех замеченных им нарушениях правил, представляющих опасность для жизни людей.

При несчастных случаях с людьми снятие напряжений для освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока должно быть произведено без предварительного разрешения.

Лица, не имеющие непосредственного отношения к кафедре энергетики или к выполнению лабораторных работ, допускаются в лабораторию с разрешения декана (заместителя декана) или заведующего кафедры энергетики под надзором инженера или преподавателя.

Выполнение лабораторных работ в лаборатории осуществляется группой студентов в количестве не более 8 человек под руководством инженера или преподавателя. Инженер должен иметь группу по электробезопасности не ниже 5, преподаватель не ниже 4, студенты не ниже 2.

Группа, прибывшая для выполнения лабораторных работ разбивается на две-три подгруппы (бригады), где студенты являются членами бригады. Каждую бригаду возглавляет преподаватель или инженер которые являются производителями работ.

Производитель работ отвечает:

- за соответствие рабочего места методическим указаниям;
- за четкость и полноту инструктажа членов бригады (студентов);
- за наличие, исправность и правильное приспособлений;
- за безопасное проведение лабораторной работы и соблюдение настоящих Правил ТБ;
- осуществляет постоянный надзор за членами бригады.

Каждый член бригады обязан соблюдать настоящие Правила ТБ и инструктивные указания, полученные при допуске к работе и во время работы, а также требования методических указаний по выполнению лабораторных работ и местных инструкций по охране труда.

Лица, нарушившие правила настоящие Правила ТБ, отстраняются от выполнения лабораторной работы и удаляются из аудитории.

#### *Перед началом выполнения лабораторных работ:*

Преподавателем назначается старший в бригаде и производится распределение обязанностей, т.е. определяется, кто включает и выключает установку, кто следит за показаниями приборов и производит отсчет, кто делает записи результатов.

Перераспределение обязанностей во время проведения лабораторной работы не допускается.

Члены бригады:

а) изучают методические указания по выполнению лабораторной работы, знакомятся с установкой, ее схемой, приборами, расположением оборудования.

б) изучают особые правила техники безопасности при выполнении данной работы.

в) получают инструктаж от преподавателя или инженера по безопасному выполнению лабораторной работы и использованию оборудования, приборов и приспособлений.

г) сдают зачеты по знанию настоящих Правил ТБ, а также схем и методических указаний по выполнению лабораторной работы.

д) заготавливают черновик работы, куда зарисовывают схему установки, составляют таблицы для записей и результатов.

Во время выполнения лабораторной работы:

**- категорически запрещается:**

- 1) Прикасаться руками к приборам.
- 2) Без разрешения преподавателя или инженера:
  - а) включать и отключать приборы;
  - б) переключать тумблеры и переключатели на приборах;
  - в) переходить на другое рабочее место;
  - г) громко разговаривать, кричать, перераспределять обязанности.

- все переключения в схемах установок производятся только после проверки схемы преподавателем или инженером и после их разрешения.

- с момента включения испытываемое оборудование и соединительные провода, считаются находящимися под напряжением, проводить какие-либо изменения в схеме или на испытываемом оборудовании, прикасаться к корпусу установки категорически запрещается.

- после выполнения испытаний или измерений необходимо:

1. отключить источник;
2. отключить питание блока мультиметров;
3. сообщить об этом бригаде и только после выполнения этих операций можно

производить переключения, т.е. присоединить провода или отсоединить их от установки.

После окончания лабораторной работы:

- отключить установку от сети;
- при необходимости разобрать схему испытаний или измерений;
- навести порядок на рабочих местах.

## **2.1 Определение влияния режима электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности** (лабораторная работа № 1)

**Цель работы:** Оценить опасность поражения электрическим током в зависимости от:

- напряжения и схемы питания электроустановок,
- режима нейтрали,
- сопротивления элементов электрической сети,
- условий включения человека в цепь.

**Задание:** Проанализировать полученные результаты и сделать выводы о влиянии параметров в электрической сети с глухозаземленной (изолированной) нейтралью на условия электробезопасности.

**Краткое содержание теоретической части:**

В общем случае электробезопасность электрических сетей, если не учитывать физиологические особенности и психологическое состояние человека, оценивается в основном значениями тока, проходящего через человека, напряжения прикосновения и времени воздействия указанных величин. Однако, следует предположить, что на тяжесть электротравмы существенное влияние будет оказывать режим работы нейтрали электрической сети, причем как при непосредственном прикосновении к токоведущим частям, так и при прикосновении к корпусам электрооборудования при аварийных режимах.

**В зависимости от режима нейтрали электрические сети разделяют на четыре группы:**

- 1) сети с незаземленными (изолированными) нейтральями;
- 2) сети с резонансно-заземленными (компенсированными) нейтральями;
- 3) сети с эффективно заземленными нейтральями;
- 4) сети с глухо заземленными нейтральями.

Согласно требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ, гл. 1.2).

Сети с номинальным напряжением до **1 кВ**, питающиеся от понижающих трансформаторов, присоединенных к сетям с  $U_{ном} > 1$  кВ, выполняются с глухим заземлением нейтрали.

Сети с **U<sub>ном</sub> до 1 кВ**, питающиеся от автономного источника или разделительного трансформатора (по условию обеспечения максимальной электробезопасности при замыканиях на землю), выполняются с незаземленной нейтралью.

Сети с **U<sub>ном</sub> = 110 кВ** и выше выполняются с эффективным заземлением нейтрали (нейтраль заземляется непосредственно или через небольшое сопротивление).

Сети **3 — 35 кВ**, выполненные кабелями, при любых токах замыкания на землю выполняются с заземлением нейтрали через резистор.

Сети **3—35 кВ**, имеющие воздушные линии, при токе замыкания не более 30 А, выполняются с заземлением нейтрали через резистор.

Компенсация емкостного тока на землю необходима при значениях этого тока в нормальных условиях:

- в сетях **3 - 20 кВ** с железобетонными и металлическими опорами ВЛ и во всех сетях **35 кВ** - более 10 А;
- в сетях, не имеющих железобетонных или металлических опор ВЛ:
  - при напряжении **3 - 6 кВ** - более 30 А;
  - при **10 кВ** - более 20 А;
  - при **15 - 20 кВ** - более 15 А;
- в схемах **6 - 20 кВ** блоков генератор - трансформатор - более 5А.

При токах замыкания на землю более 50 А рекомендуется установка не менее двух заземляющих дугогасящих реакторов.

Электротехнические установки напряжением выше 1 кВ согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) разделяются на установки с большими токами замыкания на землю (сила тока однофазного замыкания на землю превышает 500 А) и установки с малыми токами замыкания на землю (сила тока однофазного замыкания на землю меньше или равна 500 А). В установках с большими токами замыкания на землю нейтрали присоединены к заземляющим устройствам непосредственно или через малые сопротивления. Такие установки называются **установками с глухозаземленной нейтралью**.

В установках, имеющих малые токи замыкания на землю, нейтрали присоединены к заземляющим устройствам через элементы с большими сопротивлениями. Такие установки называются **установками с изолированной нейтралью**.

В установках с глухозаземленной нейтралью всякое замыкание на землю является коротким замыканием и сопровождается большим током.

В установках с изолированной нейтралью замыкание одной из фаз на землю не является коротким замыканием (КЗ).

Прохождение тока через место замыкания обусловлено проводимостями (в основном, емкостными) фаз относительно земли.

Выбор режима нейтрали в установках напряжением выше 1 кВ производится при учете следующих факторов: экономических, возможности перехода однофазного замыкания в междуфазное, влияние на отключающую способность выключателей, возможности повреждения оборудования током замыкания на землю, релейной защиты и др.

В электрических сетях приняты следующие режимы работы нейтрали:

электрические сети с номинальными напряжениями 6...35 кВ работают с малыми токами замыкания на землю; при небольших емкостных токах замыкания на землю - с изолированными нейтралью; при определенных превышениях значений емкостных токов - с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор.

Если в одной из фаз трехфазной системы, работающей с изолированной нейтралью, произошло замыкание на землю, то напряжение ее по отношению к земле станет равным нулю, а напряжение остальных фаз по отношению к земле станет равным линейному, т. е. увеличится в 3 раз. Ток замыкания на землю будет небольшим, поскольку вследствие изоляции нейтрали

отсутствует замкнутый контур для его прохождения. Ток замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью будет небольшим и не вызовет аварийного отключения линии. Таким образом, изоляция нейтрали источника питания обеспечивает надежность электроснабжения, так как не отражается на работе потребителей.

Однако в сетях с большими емкостными токами на землю (особенно в кабельных сетях) в месте замыкания возникает перемежающаяся дуга, которая периодически гаснет и вновь зажигается, что наводит в контуре с активными, индуктивными и емкостными элементами э.д.с, превышающие номинальные напряжения в 2,5...3 раза. Такие напряжения в системе при однофазном замыкании на землю недопустимы. Чтобы предотвратить возникновение перемежающихся дуг между нейтралью и землей включают индуктивную катушку с регулируемым сопротивлением.

Повышение напряжения по отношению к земле в неповрежденных фазах при наличии слабых мест в изоляции этих фаз может вызвать междуфазное короткое замыкание. Кроме того, напряжение в неповрежденных фазах повышается в 3 раз, следовательно, требуется выполнять изоляцию всех фаз на линейное напряжение, что приводит к удорожанию машин и аппаратов. Поэтому, хотя и разрешается работа сети с изолированной нейтралью при замыкании фазы на землю, его требуется немедленно обнаружить и устранить.

Электрические сети с номинальным напряжением 110 кВ и выше работают с большими токами замыкания на землю (с эффективно заземленными нейтралью).

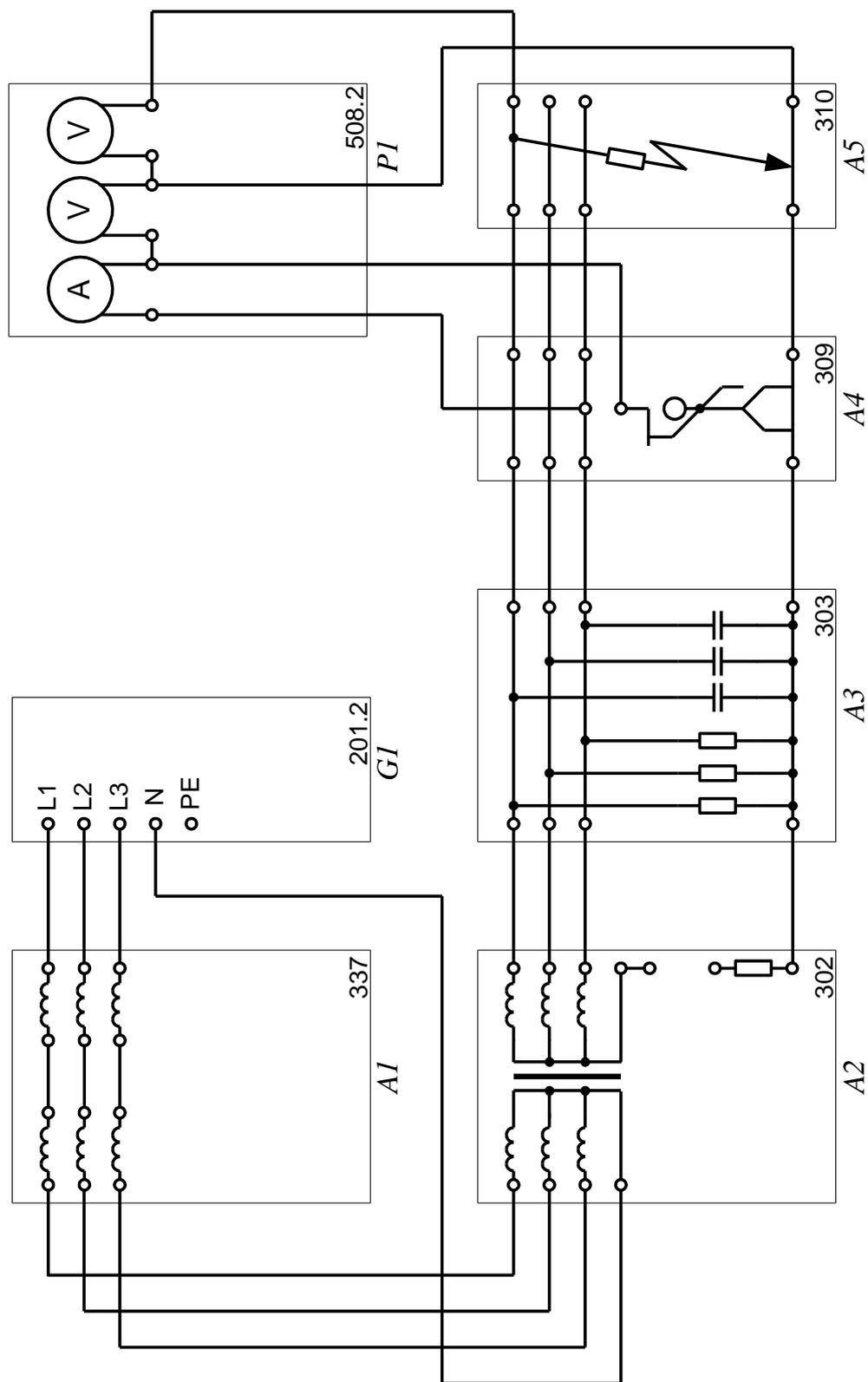
Для автономных передвижных установок нейтраль выбирается изолированной.

Согласно "Правил устройств электроустановок" при питании стационарных электроприемников от автономных источников питания режим нейтрали источника питания и защитные меры должны соответствовать режиму нейтрали и защитным мерам, принятым в сетях стационарных электроприемников. Поэтому, для дизель-генераторов, используемых в качестве "резерва промышленной сети", нейтраль выбирается глухозаземленной.

#### *Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	400 В ; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трёхфазный трансформатор	302	250 В·А. 380/380 В. Y-0/Y-0
A3	Модель участка электрической сети	303	380 В; 3x0.5 А
A4	Модель человека	309	380 В; 3x0.5 А
A5	Модель замыкания на землю	310	380 В; 3x0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В; 0...10 А; 0...20 МОм

## Электрическая схема соединений

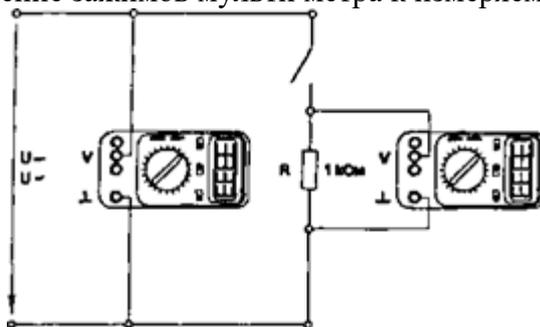


### Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

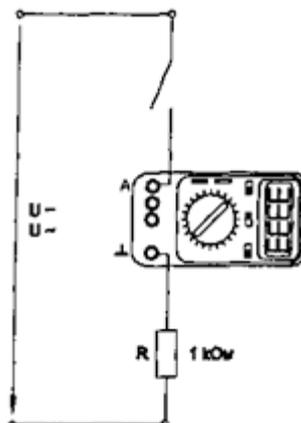
Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

- установка рода тока (постоянный/переменный);

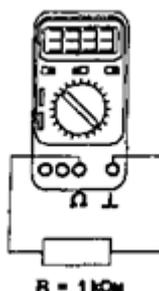
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



*Присоединение мультиметра как вольтметра*



*Присоединение мультиметра как амперметра*



*Присоединение мультиметра как омметра*

**Указания по проведению эксперимента:**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
4. Установите у модели A5 сопротивление замыкания на землю  $R_{зам} = \infty$ .
5. Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
6. Варьируя сопротивления изоляции  $R_{из} = R_A + R_B + R_C$  и емкости  $C = C_A + C_B + C_C$  фаз модели A3, а также сопротивлений  $R_{об}$  и  $R_{пола}$  модели A4, снимите в электрической сети с изолированной нейтралью с помощью амперметра блока P1 следующие зависимости тока через тело человек:  $I_h = f(R_{из})$ ,  $I_h = f(C)$ ,  $I_h = f(R_{об})$ ,  $I_h = f(R_{пола})$ .
7. Смоделируйте электрическую сеть с глухозаземленной нейтралью. Для этого соедините перемычкой гнездо нейтральной точки трансформатора и гнездо сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора A2.
8. Снимите аналогичные ранее снятым для электрической сети с изолированной нейтралью зависимости тока через тело человека для электрической сети с глухозаземленной нейтралью.

9. Сопоставьте снятые зависимости и сделайте вывод о влиянии режима нейтрали электрической сети на условия электробезопасности.
10. Варьируя сопротивление изоляции  $R_{из} = R_A + R_B + R_C$  и емкости  $C = C_A + C_B + C_C$  фаз модели А3, сопротивление замыкания на землю  $R_{зам}$  модели А5, а также сопротивлений  $R_{об}$  и  $R_{пола}$  модели А4, снимите в электрической сети с глухозаземленной нейтралью с помощью амперметра блока Р1 зависимости тока через тело человека:  $I_h = f(R_{из})$ ,  $I_h = f(C)$ ,  $I_h = f(R_{зам})$ , а также с помощью вольтметра блока Р1- зависимость напряжения прикосновения  $U_{пр} = f(R_{зам})$ .
11. Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы о влиянии параметров в электрической сети с глухозаземленной нейтралью на условия электробезопасности.
12. Смоделируйте электрическую сеть изолированной нейтралью. Для этого уберите переключку, соединяющую гнездо нейтральной точки трансформатора и гнездо сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора А2.
13. Варьируя параметры моделей А3... А5, снимите с помощью амперметра и вольтметров блока Р1: зависимости тока через тело человека:  $I_h = f(R_{из})$ ,  $I_h = f(C)$ ,  $I_h = f(R_{зам})$ , зависимости напряжения прикосновения  $U_{пр} = f(R_{зам})$ ,  $U_{пр} = f(R_{пол})$  и напряжения фаз электрической сети относительно земли  $U_A = f(R_{зам})$ ,  $U_B = f(R_{зам})$ ,  $U_C = f(R_{зам})$ .
14. Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы о влиянии параметров в электрической сети с изолированной нейтралью на условия электробезопасности.
15. По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров Р1.

Таблица 1

№	$R_{из}$	$I_h$ (изолир.нейтраль)	$I_h$ (глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
.....			

Таблица 2

№	C	$I_h$ (изолир.нейтраль)	$I_h$ (глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
.....			

Таблица 3

№	$R_{об}$	$I_h$ (изолир.нейтраль)	$I_h$ (глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
.....			

Таблица 4

№	$R_{пола}$	$I_h$ (изолир.нейтраль)	$I_h$ (глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
.....			

Таблица 5

№	$R_{зам}$	$U_{пр}$ (глухозаз.нейтраль)	$I_h$ (глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
.....			

Таблица 6

№	$R_{зам}$	$U_{пр}$ (изолир.нейтраль)	$I_n$ (изолир.нейтраль)
1			
2			
3			
.....			

Таблица 7

№	$R_{зам}$	$U_A$ (изолир.нейтраль)	$U_B$ (изолир.нейтраль)	$U_C$ (изолир.нейтраль)
1				
2				
3				
.....				

### **Форма представления результатов, полученных при проведении работы**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

#### **Выводы**

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

#### **Вопросы и задания для самостоятельного контроля**

1. Как в зависимости от режима нейтрали электрические сети разделяются на группы;
2. Что такое глухо заземлённая нейтраль;
3. Что такое изолированная нейтраль;
4. Что такое компенсированная нейтраль;
5. Назначение электронного мультиметра в данной лабораторной работе;
6. Как влияет режим электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности.

## **2.2 Определение зависимостей, характеризующих явление при стекании тока в землю через защитный заземлитель**

(лабораторная работа № 2)

**Цель работы:** Изучить зависимости, характеризующие явления при стекании тока в землю через различные виды заземлителей.

**Задание:** Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о зависимостях, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель.

#### **Краткое содержание теоретической части:**

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

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

Причинами стекания тока в землю является замыкание токоведущей части на заземленный корпус электрического оборудования или падение провода на землю либо использование земли в качестве провода и т. п. Во всех этих случаях происходит резкое снижение потенциала  $\varphi_3$ , заземлившейся токоведущей части до значения, равного произведению тока, стекающего в землю,  $I_3$ , на сопротивление заземлителя растеканию тока  $R_3$ .

$$\varphi_3 = I_3 R_3 \quad , \quad (1)$$

Это явление используют как меру защиты от поражения током при случайном появлении напряжения на металлических нетоковедущих частях, которые с этой целью заземляют. Однако наряду с понижением потенциала заземлившейся токоведущей части при стекании тока в землю возникают и отрицательные явления, появляется потенциал на заземлителе и находящихся в контакте с ним металлических частях, а также на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю. Возникающие при этом разности потенциалов отдельных точек электрической цепи протекания тока, в том числе точек на поверхности земли, достигают больших значений, и представлять опасность для человека.

Значение потенциалов, их разностей и характер изменений, а, следовательно, и обусловленная ими опасность поражения человека током зависят от многих факторов:

- значения тока, стекающего в землю;
- конфигурации, размеров, числа и взаимного расположения электродов;
- удельного сопротивления грунта и др.

Воздействуя на некоторые из этих факторов можно снизить разности потенциалов, действующие на человека, до безопасных значений.

### **Заземлитель с полусферическим электродом**

*Заземлитель с полусферическим электродом* – заземлитель со сферическим электродом, заглубленный так, что его центр находится на уровне земли.

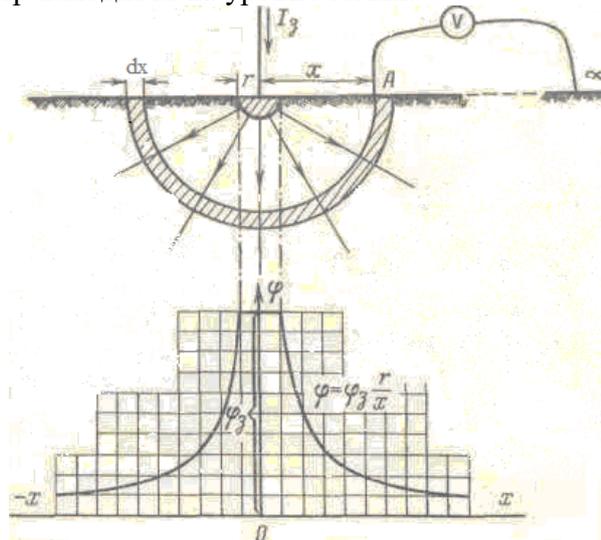


Рисунок 1- Распределение потенциала на поверхности земли вокруг заземлителя с полусферическим электродом

Для такого заземлителя уравнение потенциальной кривой на поверхности земли будет равно:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi x} \quad , \quad (2)$$

Потенциал заземлителя  $\varphi_3$ , будет при  $x$ , равном радиусу заземлителя  $r$ , т. е.

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi r} \quad , \quad (3)$$

Разделив (2) на (3), получим

$$\varphi = \varphi_3 r \frac{I}{x} \quad , \quad (4)$$

### Заземлитель с вертикальным трубчатым электродом

Рассмотрим заземлитель с вертикальным трубчатым электродом длиной  $l$ , и диаметром  $d$ , погруженный в землю так, чтобы его верхний конец был на уровне земли.

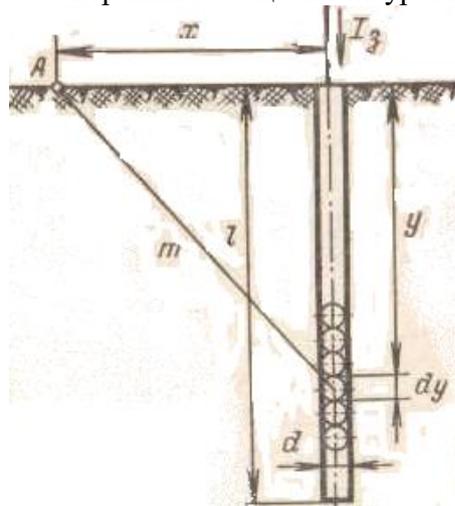


Рисунок 2 - Определение уравнения потенциальной кривой заземлителя с вертикальным трубчатым электродом

С заземлителя стекает ток  $I_3$ . Найдем выражение для расчета потенциала точек на поверхности земли и потенциала заземлителя.

Разбиваем заземлитель по длине на бесконечно малые участки каждый длиной  $dy$  и диаметром  $dy$ .

С каждого такого участка в землю стекает ток, который обуславливает возникновение элементарного потенциала  $d\phi$ , в некоторой точке земли.

$$dI_3 = \frac{I_3}{l} dy, \quad (4)$$

Рассмотрим точку А на поверхности земли, отстоящую от оси заземлителя на расстоянии  $x$ . Потенциал этой точки будет равен

$$d\phi = \frac{dI_3 \rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{m}, \quad (6)$$

Учитывая, что  $m = \sqrt{x^2 + y^2}$ , и заменяя  $dI_3$  его значением из формулы (4), получаем

$$d\phi = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \cdot \frac{dy}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad (7)$$

Проинтегрировав это уравнение по всей длине заземлителя (от 0 до  $l$ ), получим искомое уравнение для потенциала точки А, т. е. уравнение потенциальной кривой

$$d\phi = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \int_0^l \frac{dy}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x}, \quad (8)$$

Потенциал заземлителя  $\phi_3$ , будет, при  $x = 0,5d$  т. е.

$$\phi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{(0,5d)^2 + l^2} + l}{0,5d}, \quad (9)$$

Здесь  $0,5 d \ll 1$ , следовательно, первым слагаемым под корнем можно пренебречь. Тогда это уравнение примет вид

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}, \quad (10)$$

На рис. 2.3 показана потенциальная кривая заземлителя с вертикальным трубчатым электродом с отношением размеров  $l : d = 50$ .

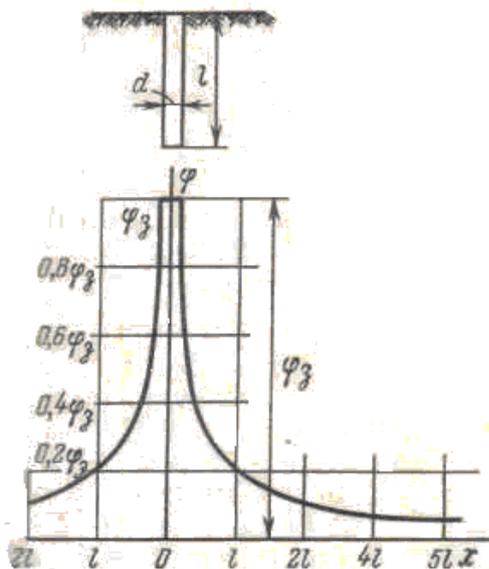


Рисунок 3 - Распределение потенциала на поверхности земли вокруг заземлителя с вертикальным трубчатым электродом с размерами  $l : d = 50$  ( $l = 2,5$ ;  $d = 0,05$ )

#### Заземлитель с протяженным трубчатым электродом на поверхности

У этого вида заземлителя, находящегося на поверхности земли и заглубленного так, что его продольная ось совпадает с поверхностью земли, изменения потенциальной кривой различны в различных направлениях.

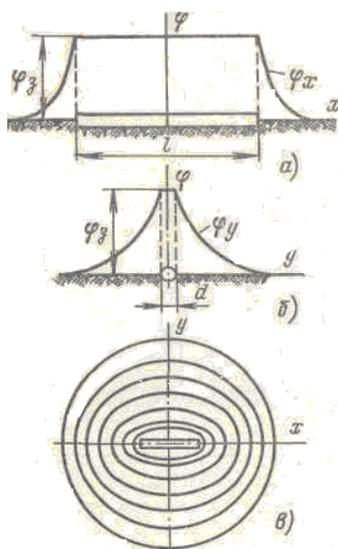


Рисунок 4 - Распределение потенциала на поверхности земли вокруг заземлителя с протяженным трубчатым электродом:

- а) потенциальная кривая вдоль оси заземлителя;
- б) потенциальная кривая в плоскости, перпендикулярной оси заземлителя и пересекающей его в середине;
- в) эквипотенциальные кривые на поверхности земли вокруг протяженного заземлителя.

Наиболее резко потенциал падает вдоль оси заземлителя, а наиболее плавно – поперек оси по линии, проведенной через его середину.

Уравнение потенциальных кривых этого заземлителя имеют следующий вид:

а) вдоль оси заземлителя (по оси  $x$ ),

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2 \pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + d^2} + 2x}{\sqrt{l^2 + d^2} + 2x - 2l}, \quad (11)$$

где  $l$  и  $d$  – длина и диаметр сечения заземлителя.

б) поперек оси заземлителя (по оси  $y$ ),

$$\varphi_y = \frac{I_3 \rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4y^2} + l}{2y}, \quad (12)$$

Потенциал заземлителя будет при наименьшем значении  $x$ , т. е. при  $x = 0,5l$ , если  $\varphi_z$  вычисляется из (11), или при наименьшем значении  $y$ , т. е. при  $y = 0,5d$ , если  $\varphi_z$  вычисляется из (12), т. е.

$$\varphi_z = \frac{I_3 \rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}, \quad (13)$$

Эквипотенциальные линии на поверхности земли вокруг протяженного заземлителя приближаются по форме к эллипсам; на большом расстоянии от заземлителя они переходят в окружности (рисунок 4 в).

### Напряжение прикосновения

Напряжение прикосновения для человека, касающегося заземленного корпуса электрооборудования и стоящего на земле (случай 3 на рисунке 5), определяется отрезком АВ и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния  $x$  между человеком и заземлителем (чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше  $U_{пр}$  и наоборот). Так, при наибольшем расстоянии, т. е. при  $x \rightarrow \infty$ , практически при  $x \geq 20$  м (случай 1 на рисунке 5) напряжение прикосновения имеет наибольшее значение:  $U_{пр} = \varphi_z$ ; при этом коэффициент прикосновения  $\alpha_1 = 1$ . Это — наиболее опасный случай прикосновения.

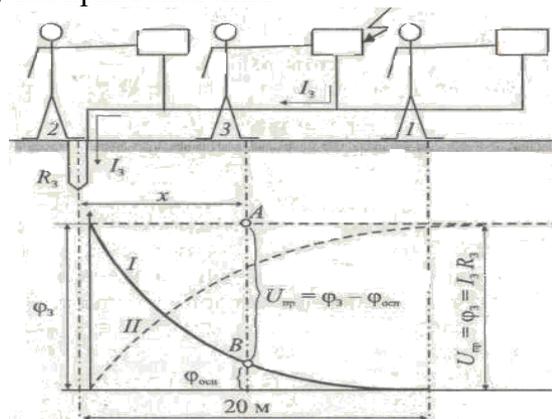


Рисунок 5 - Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе:

I - потенциальная кривая; II – кривая, характеризующая изменение  $U_{пр}$  при изменении  $x$

При наименьшем значении  $x$ , т. е. когда человек стоит непосредственно на заземлителе (случай 2 на рисунке 5),  $U_{пр} = 0$  и  $\alpha_1 = 0$ . Это — безопасный случай, так как человек не подвергается воздействию напряжения, хотя он, и находится под потенциалом заземлителя  $\varphi_z$ .

При других значениях  $x$  в пределах  $0 - 20$  м (случай 3 на рисунке 5)  $U_{пр}$  плавно возрастает от 0 до  $\varphi_z$ , а  $\alpha_1$  — от 0 до 1.

В практике устройства защитных заземлений необходимо знать максимальные напряжения прикосновения.

Для примера проанализируем изменение  $U_{пр}$  и  $\alpha_1$ , при одиночном полусферическом заземлителе радиусом  $r$ . В этом случае потенциал любой точки на поверхности земли вокруг заземлителя описывается уравнением  $\varphi = r\varphi_3/x$ , поэтому

$$U_{пр} = \varphi_3 - \frac{\varphi_3 r}{x} = \varphi_3 \left(1 - \frac{r}{x}\right), \quad (14)$$

а коэффициент прикосновения

$$\alpha_1 = 1 - \frac{r}{x}, \quad (15)$$

При  $x \rightarrow \infty$ , а практически при  $x \geq 20$  м (случай 1 на рисунке 5)  $\frac{r}{x} \approx 0$ . Напряжение прикосновения и коэффициент прикосновения будут иметь максимальные значения:  $U_{пр \max} = \varphi_3$ ;  $\alpha_1 = 1$ .

При  $x = r$  (случай 2 на рисунке 5)  $\frac{r}{x} = 1$ , поэтому  $U_{пр} = 0$  и  $\alpha_1 = 0$ .

При промежуточных значениях  $x$  от  $r$  до  $20$  м  $U_{пр}$  и  $\alpha_1$  определяются из выражения (14) и (15).

При заземлителе с вертикальным трубчатом электродом выражение для расчета  $U_{пр}$  и  $\alpha_1$  можно получить, вычитая уравнение потенциала некоторой точки основания из уравнения потенциала заземлителя

$$\frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} - \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x} = \varphi_3 \left( 1 - \frac{\ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x}}{\ln \frac{4l}{d}} \right), \quad (16)$$

$$\alpha_1 = 1 - \frac{\ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x}}{\ln \frac{4l}{d}}, \quad (17)$$

Максимальные  $U_{пр}$  и  $\alpha_1$  будут при  $x = \infty$ .

### Шаговое напряжение

Шаговое напряжения возникает между ногами человека в следствии не равномерного распределения потенциала заземлителя по земле (рисунок 6). Точка касания ноги расположенная ближе к заземляющему электроду будет иметь больший потенциал, по сравнению с более удаленной. Следовательно, между двумя точками касания на расстоянии шага (0,8 м) существует разность потенциала. Эта разность и называется шаговым напряжением.

Величина шагового напряжения зависит от величины шага и от расстояния  $x$  от заземлителя. Шаговое напряжения для полусферического электрода можно найти на основании (4) по следующему выражению:

$$U_{ш} = \varphi - \varphi_a = (r\varphi_3/x) - (r\varphi_3/(x+a)) = r\varphi_3 a / (x(x+a)) \quad (18)$$

Как видно  $U_{ш1} > U_{ш2}$  если расстояние от заземлителя больше. Следовательно, по мере удаления от места замыкания шаговое напряжение уменьшается. Шаговое напряжения на расстоянии 10..20 м от места замыкания практически не представляет опасность.

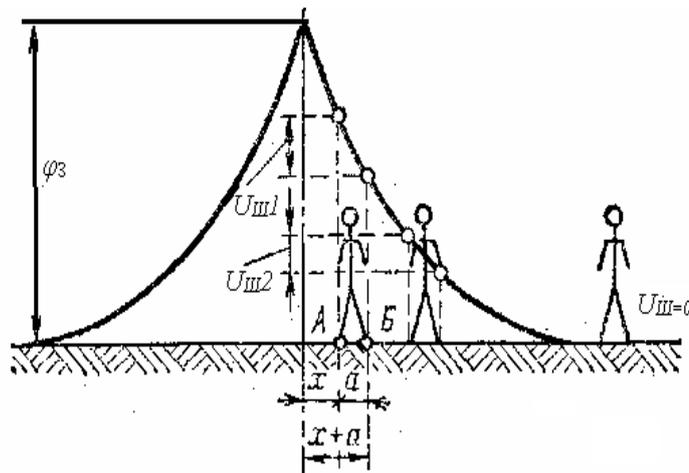
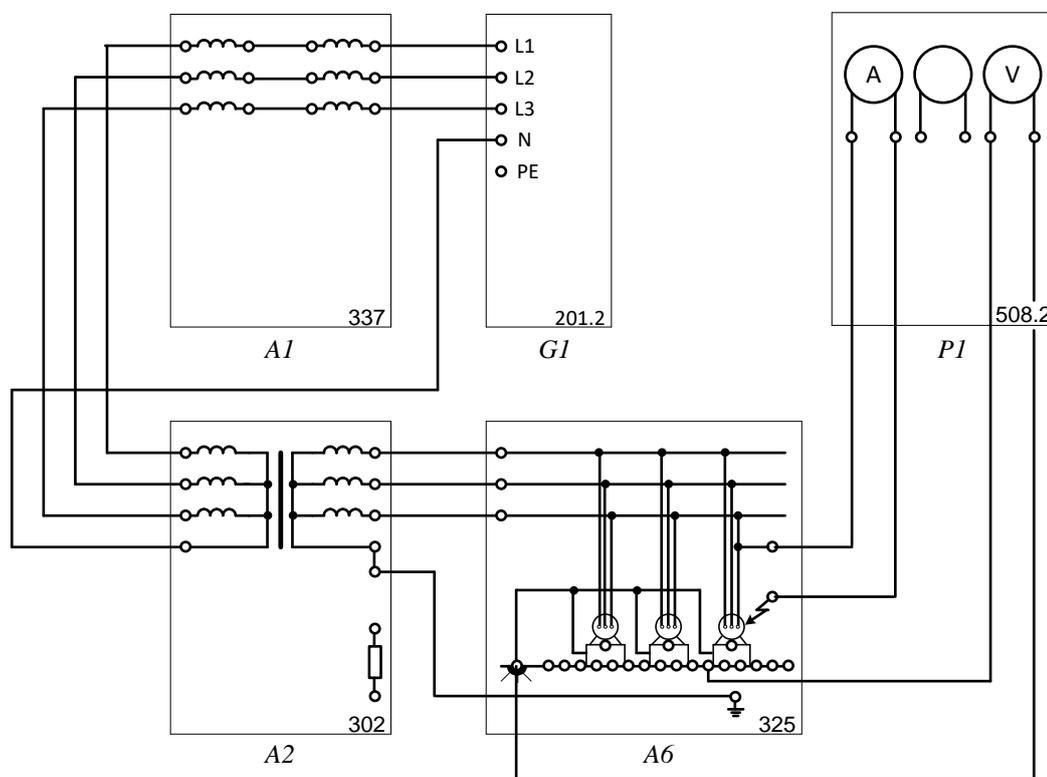


Рисунок 6 – Шаговое напряжение

**Перечень аппаратуры**

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	400 В 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Тн; 0,5 А
A2	Трёхфазный трансформатор Y-0/Y-0	302	250 В А, 380/380 В
A6	Модель заземлителя с полусферическим электродом Модель заземлителя с вертикальным трубчатым электродом Модель заземлителя с протяженным трубчатым электродом на поверхности	325 326 327	380 В 3 x 0.5 А
P1	Блок мультиметров (3 мультиметра)	508.2	0... 1000 В 0...10 А 0...20 Мом

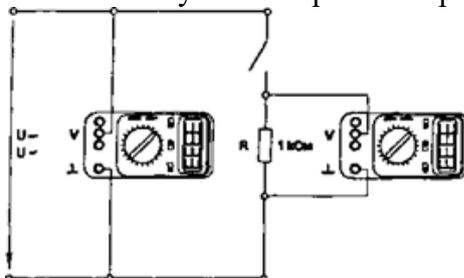
**Электрическая схема соединений**



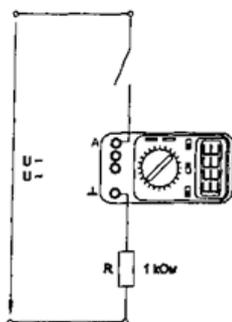
### **Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра**

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

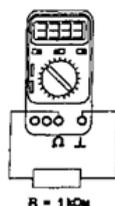
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



**Присоединение мультиметра как вольтметра**



**Присоединение мультиметра как амперметра**



**Присоединение мультиметра как омметра**

#### **Указания по проведению эксперимента:**

1. Используйте первоначально в эксперименте, например, модель АБ заземлителя с полусферическим электродом (код 325).
2. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
3. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
6. При заданных сопротивлениях грунта  $\rho$  модели заземлителя АБ, снимите с помощью вольтметра блока P1 зависимости от расстояния  $x$ : потенциала основания электрооборудования  $\varphi_{осн} = f(x)$  (вольтметр включать между гнездом « $\perp$ » и гнездами, соответствующими расстоянию  $x$ ), напряжения прикосновения  $U_{пр} = f(x)$  (вольтметр включать между гнездом «0» и гнездами, соответствующими расстоянию  $x$ ), шагового напряжения  $U_{ш} = f(x)$  (вольтметр включать между соседними гнездами, соответствующими расстоянию  $x$ ).
7. Ток стекания в землю контролируйте с помощью амперметра блока P1. Он не должен превышать **0,5 А!**

8. Отключите источник G1 и замените в электрической схеме модель А6 заземлителя с полусферическим электродом (код 325) на модель А6 заземлителя с вертикальным трубчатым электродом (код 326).
9. Включите источник G1 и вновь снимите вышеупомянутые зависимости.
10. Еще раз отключите источник G1 и замените в электрической схеме модель А6 заземлителя с вертикальным трубчатым электродом (код 326) на модель А6 заземлителя с протяженным трубчатым электродом на поверхности (код 327).
11. Вновь включите источник G1 и в третий раз снимите вышеупомянутые зависимости.
12. По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
13. Используйте полученные зависимости для формулирования выводов о влиянии на электробезопасность типа заземлителя, удельного сопротивления грунта, в котором он заложен, и расстояния от заземлителя до места установки защищаемого электрооборудования.

№	x	$\rho$	$\Phi_{осн}$	$\rho$	$\Phi_{осн}$
1					
2					
3					
4					

**Таблица 2**

№	x	$U_{пр}$
1		
2		
3		
4	....	....

**Таблица 3**

№	x	$U_{ш}$
1		
2	....	....

### ***Форма представления результатов, полученных при проведении работы***

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

### ***Выводы***

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

### ***Вопросы и задания для самостоятельного контроля***

1. Причина возникновения шагового напряжения;
2. Как распределяется потенциал на поверхности грунта в зоне растекания тока с заземляющего электрода;
3. На каком расстоянии начинается «земля» с нулевым потенциалом;
4. Как зависит напряжения прикосновения заземленного корпуса от расстояния от места замыкания на землю;
5. Как влияет величина напряжения прикосновения на величину сопротивления растеканию заземляющего устройства.

## 2.3 Определение зависимостей, характеризующих электрическое сопротивление тела человека

(лабораторная работа № 3)

**Цель работы:** Изучить основные факторы, влияющие на тяжесть поражения человека электрическим током, исследовать изменение сопротивления тела человека в зависимости от площади контакта при различной частоте электрического тока.

**Задание:** Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о зависимостях, характеризующих электрическое сопротивление тела человека

**Краткое содержание теоретической части:**

Человеческое тело, как и любое другое тело живого организма, имеет свойство проводить через себя электрический ток. Разные живые ткани в организме имеют различную проводимость (сопротивление). К примеру — кожа, жировая ткань, кости – имеют большое сопротивление, а кровь, мышечная масса и особенно головной и спинной мозг – малое. Кожа имеет большое удельное электрическое сопротивление, что впоследствии и определяет фактическое сопротивление человеческого тела.

Кожа человека, как известно, имеет два слоя:

1. наружный слой кожи (также ещё называется эпидермис) состоит из нескольких слоёв, самый верхний из которых называется роговым и представляет собой множество рядов отмерших и ороговевших клеток. В чистом и сухом виде этот слой можно характеризовать как диэлектрик (он имеет очень большое электрическое сопротивление). Следующий слой эпидермиса (носит название — ростковый) гораздо тоньше рогового и имеет значительно большую электрическую проводимость (меньшее сопротивление).

2. внутренний слой кожи (называется дерма) представляет собой живую ткань. Данный слой дермы имеет малое электрическое сопротивление. Электрическое сопротивление обычного человека при условии, что кожа у него чистая, сухая и неповреждённая (измеренное напряжением 15-20 Вольт) лежит в пределах 3 - 100 кОм (1кОм = 1000 Ом), в некоторых случаях и более. Сопротивление тела человека, а именно проводимость между двух электродов, которые касаются поверхности кожи, можно рассматривать как 3 сопротивления включённых последовательно: наружные слои (эпидермиса) представляют собой первое сопротивление, и внутренние слои является вторым и третьим сопротивлением, включающим в себя сопротивления внутреннего слоя кожи и сопротивление внутренних тканей.

Наружное сопротивление человека обладает не только активным сопротивлением, а ещё и ёмкостным, поскольку в самом месте контактирования электродов с человеческим телом образовывается некое подобие конденсатора, в роле обкладок которого, являются сами электроды и ткани тела человека, хорошо проводящие электрический ток, что находятся под наружным слоем кожи, ну, а диэлектриком (изолятором между обкладками) в данном случае будет выступать наружный слой кожи (эпидермис). Ёмкостная составляющая, присутствующая в сопротивлении человека обуславливает влияние, как рода электрического тока, так и его частоты на общую величину сопротивления тела. При частоте 10 - 20 кГц и выше можно утверждать, что поверхностный слой кожи почти полностью утрачивает своё сопротивление, и общее сопротивление человека в данном случае будет состоять лишь из внутреннего сопротивления тела (сопротивление дермы и внутренних тканей). Общее состояние кожи в значительной мере оказывает влияние на величину электрического сопротивления человека. При повреждении рогового слоя кожи (царапины, порезы, ссадины и т.д.) происходит снижение сопротивления человека до величины, приближенного к значению внутреннего сопротивления, а это, естественно, повышает опасность поражения электрическим током. Подобное влияние может оказываться и в случае увлажнения кожи водой или потом.

Так как сопротивление кожи у одного и того же человека может быть неодинаковое в разных местах и частях тела, то, естественно, на его сопротивление сильно будет влиять конкретное место прикосновения электрических контактов, а также их общая площадь. Величина электрического тока и длительность воздействия на тело оказывают прямое влияние на полное сопротивление человека: с увеличением значения тока и времени его прохождения, сопротивление будет

понижаться, потому что происходит местный нагрев участков кожи, а это, само собой, ведёт к расширению сосудов, тем самым усиливая снабжение данного участка тела кровью, увеличения его потоотделение. Увеличение напряжения, воздействующее на тело человека, вызывает понижение сопротивления кожи в 10-ки раз, следовательно, и общее сопротивление человека, снижается до предела 300 - 500 Ом. А это опасно.

Степень воздействия электрического тока на организм человека зависит в основном от следующих факторов:

- от величины электрического тока, А;
- длительности воздействия тока, с;
- пути протекания;
- рода и частоты тока, Гц.

Величина тока в электрической цепи определяется сопротивлением этой цепи и приложенным напряжением. Сопротивление тела человека является специфическим, так как различные ткани тела имеют различное электрическое сопротивление (таблица 1).

Таблица 1 – Удельное объемное электрическое сопротивление тканей человеческого организма, Ом · м

№ п/п	Наименование ткани	Удельное сопротивление, Ом*м
1	Кожа сухая	$3 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$
2	Кости (без надкостницы)	$10^4 - 2 \cdot 10^5$
3	Жировая ткань	300 – 600
4	Мышечная ткань	15,0 – 30,0
5	Кровь	10,0 – 20,0
6	Спинномозговая жидкость	5,0 – 6,0

Как видно из таблицы 1, кожа обладает наибольшим сопротивлением, что является главным фактором определяющим сопротивление всего тела человека.

Наружный слой кожи, расположенный между электродом и хорошо проводящей внутренней областью кожи (рисунок 1.), можно представить в виде несовершенного конденсатора  $C$ . Величина удельной емкости этого конденсатора колеблется в пределах  $(0,0047 \dots 0,0152) \cdot 10^{-4} \text{ мкФ/м}^2$  в зависимости от толщины наружного слоя кожи (эпидермиса) и его относительной диэлектрической проницаемости.

Электрическую схему замещения наружного слоя кожи и всего тела человека по пути протекания тока "рука-рука" с учетом активного сопротивления слоя кожи  $r_H$  и внутреннего сопротивлений живых тканей организма  $r_B$  можно представить в виде схемы (рисунок 2).

Из схемы видно, что ток в наружном слое кожи протекает по путям: через активное сопротивление  $r_H$  и ёмкость наружного слоя  $C_H$ .

Тело человека в электрической цепи не может рассматриваться как простой физический проводник. При протекании электрического тока в теле человека проходят сложные биофизические процессы, которые значительно сложнее процессов при протекании тока в электролитах, металлах и полупроводниках. Однако при определенных допущениях емкость наружного слоя кожи и его активное сопротивление можно определить по следующим формулам:

$$C_H = \frac{ES}{36 \cdot 10^4 \cdot \pi d}, \Phi; r_H = \frac{\rho \cdot d}{S}, \text{ Ом} \quad (1)$$

где  $d$  – толщина наружного слоя, м;

$S$  – поверхность сопротивления электрода, м<sup>2</sup>;

$E$  – относительная диэлектрическая проницаемость наружного слоя кожи;

$\rho$  – удельное сопротивление этого слоя, Ом·м.

Активное сопротивление  $r_H$  и емкость  $C_H$  составляют полное сопротивление наружного слоя кожи  $z_H$ . Внутреннее сопротивление зависит от пути протекания тока (рисунок 3) и может

колебаться в пределах 300...800 Ом. Согласно исследованиям, средние значения этих сопротивлений составляют таблицу 2.

Если поверхности электродов одинаковы и условия их наложения симметричны, то для случая прохождения тока по пути «рука-рука» сопротивления будут равны, и полное сопротивление тела человека может быть выражено:

$$z = 2z_H + r_B \quad (2)$$

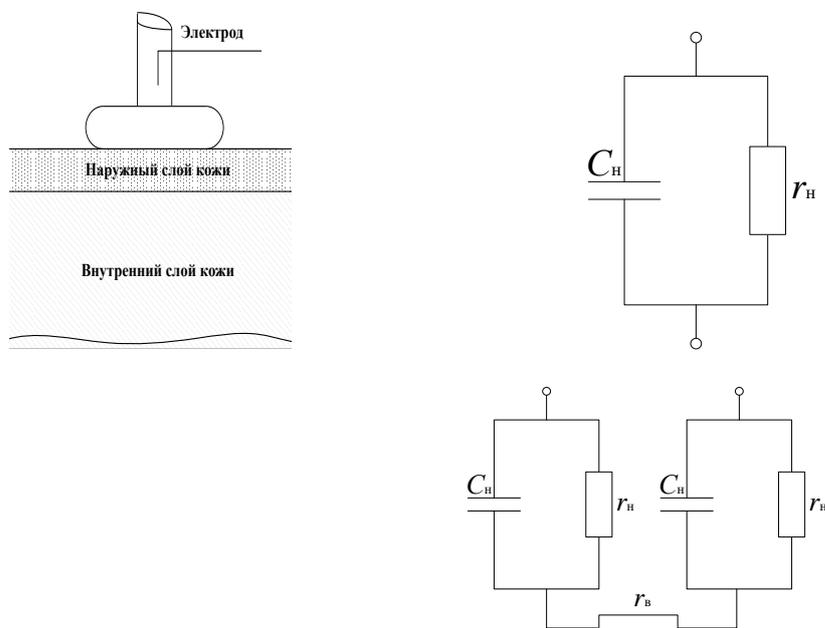


Рисунок 1 – Схема замещения

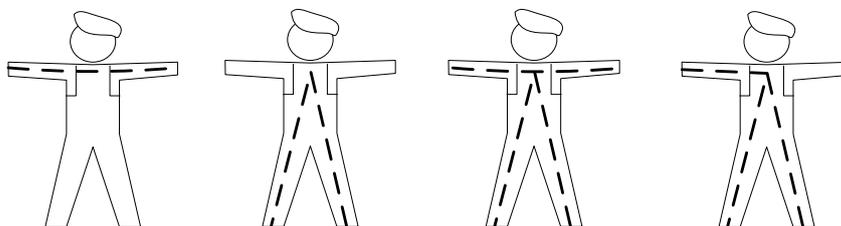


Рисунок 2 – Пути протекания тока через тело человека

Таблица 2 – Средние значение внутренних сопротивлений тела человека.

№ п/п	Путь тока	$r_B, \text{Ом}$
1	Рука-рука	660
2	Рука ноги	510
3	Руки-ноги	330
4	Нога-нога	210

Модуль полного сопротивления тела человека в этом случае можно выразить формулой:

$$z = \sqrt{\left(r_B + \frac{2r_H}{1 + \omega^2 \cdot r_H^2 \cdot C_H^2}\right)^2 + \left(\frac{2\omega \cdot r_H^2 \cdot C_H}{1 + \omega^2 \cdot r_H^2 \cdot C_H^2}\right)^2}, \text{ Ом} \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что с возрастанием  $\omega$  модуль сопротивления уменьшается, так как при  $\omega=2\pi f \rightarrow \infty, z \rightarrow r_B$ .

На частоте порядка 10–20 кГц полное сопротивление наружного слоя кожи мало и его можно принять с некоторыми допущениями равным 0, т.е. при  $f=10\text{--}20$  кГц полное сопротивление тела человека равно внутреннему сопротивлению, т.е.  $z = r_B$  Ом.

Величину полного сопротивления тела человека при постоянном токе  $r_0$  можно найти методом линейной экстраполяции значений сопротивлений тела человека, полученных экспериментально при низких частотах 0-50 Гц.

Величина полного сопротивления наружного слоя кожи может быть определена:

$$z_H = \frac{r_H}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot r_H^2 \cdot C_H^2}}, \text{ Ом}, \quad r_H = \frac{r_0 - r_B}{2}, \text{ Ом} \quad (4)$$

Преобразуя эти выражения, получим формулу для расчета величины емкости  $C_H$  наружного слоя кожи:

$$C_H = \frac{z_H - r_H}{z_H \cdot \omega \cdot r_H}, \text{ Ф} \quad (5)$$

где  $r_H$  – активное сопротивление наружного слоя кожи, Ом;

$z_H$  – полное сопротивление наружного слоя, Ом на частоте  $\omega$ ,

$\omega = 2\pi f$  – круговая частота.

Приведенные соотношения 1-5 справедливы при напряжениях ниже 50 В. При больших напряжениях, проявляется несовершенство ёмкостного сопротивления, оно пробивается и при напряжениях 150 – 200 В, но не оказывает влияния на полное сопротивление тела.

### *Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
-	Устройство для исследования сопротивления тела человека	341	0...7 В ~; 0,03 А

### *Указания по проведению эксперимента*

- Подключите с помощью сетевого шнура устройство для исследования сопротивления тела человека (код 341) к трехпроводной электрической сети 220 В и включите на его лицевой панели выключатель «СЕТЬ».
- Оперировав кнопками на поле «ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ» по индикатору выставьте требуемое напряжение  $U$  и его частоту  $f$ , например, 6,0 В и 15 кГц.
- Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности  $S=1250 \text{ мм}^2$  и с верхнего индикатора считайте величину тока  $I_h$ , протекающего через тело человека.
- Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности  $S=2500 \text{ мм}^2$  и с верхнего индикатора считайте величину тока  $I_h$ , протекающего через тело человека.
- Рассчитайте электрическое сопротивление тела человека  $Z_h = U/I_h$  в обоих случаях и сделайте вывод о влиянии на него площади контактной поверхности.

- Варьируя частоту  $f$  напряжения генератора снимите зависимость от нее тока, протекающего через тело человека,  $I_h(f)$ .
- Рассчитайте зависимость электрического сопротивление тела человека  $Z_h(f) = U / I_h(f)$ .
- По завершении эксперимента отключите питание устройства для исследования сопротивления тела человека (код 341).

U, В	f, Гц	I, мА (1250 мм <sup>2</sup> )	I, мА (2500 мм <sup>2</sup> )
...	....	....	...

### **Форма представления результатов, полученных при проведении работы**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

#### **Выводы**

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

#### **Вопросы и задания для самостоятельного контроля**

1. Пути протекания тока через тело человека;
2. Степень воздействия электрического тока на организм человека;
3. Что понимается под электрическим сопротивлением тела человека;
4. Виды воздействия электрического тока на живую ткань.

## **2.4 Натурное моделирование зануления электрооборудования**

(лабораторная работа № 4)

**Цель работы:** Изучить на лабораторном стенде принцип работы защитного зануления, назначение элементов зануления (зануления нейтрали источника питания, соединения корпуса электроустановки с нулевым проводником, повторного заземления нулевого проводника).

**Задание:** Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о влиянии режима нейтрали, сопротивления нулевого провода, повторного заземлителя и сопротивления замыкания на землю на условия электробезопасности сети.

#### **Краткое содержание теоретической части:**

^ **Защитное зануление** в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

^ **Нулевым защитным проводником** называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом. Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего проводника, который также соединен с глухозаземленной нейтральной точкой источника тока, но предназначен для питания током электроприемников, т.е. по нему проходит рабочий ток.

^ **Назначение нулевого защитного проводника** – создание для тока короткого замыкания цепи с малым сопротивлением, чтобы этот ток был достаточным для быстрого отключения поврежденной установки от сети.

^ **Повторное заземление нулевого защитного проводника** выполняется для уменьшения опасности поражения людей электрическим током, возникающей при обрыве защитного проводника и замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

^ **Нейтраль** – общая точка обмоток генераторов или трансформаторов, питающих сеть; напряжения на выходных зажимах источника электроэнергии, измеренные относительно нейтрали, равны.

^ **Глухо заземленная нейтраль источника электроэнергии** – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

^ **Изолированная нейтраль** – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

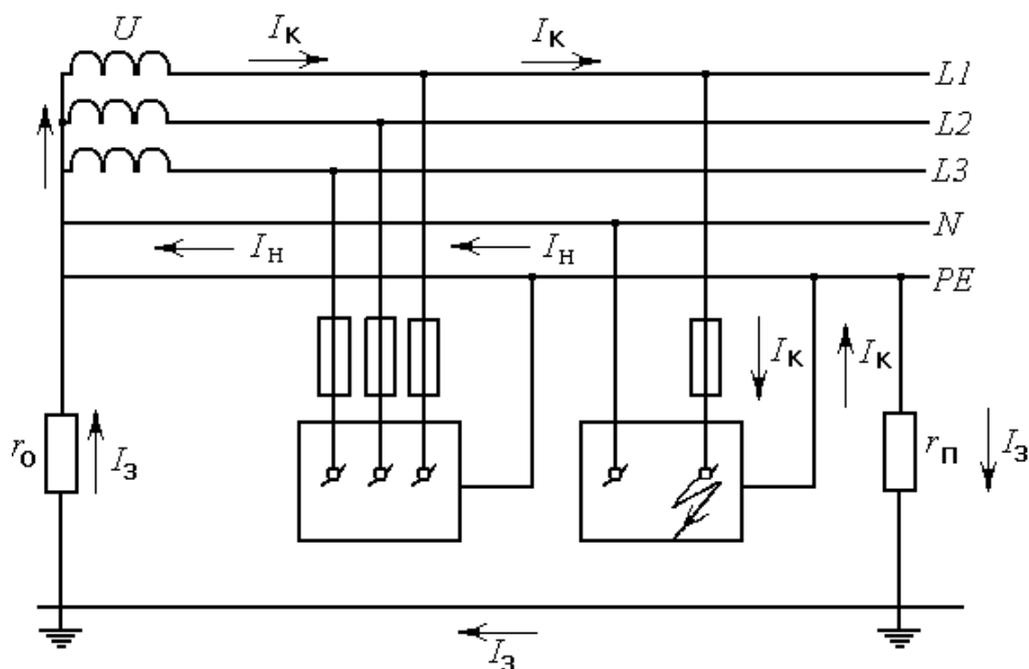


Рисунок 1 - Принципиальная схема организации зануления в сетях трехфазного тока

Проводник, при помощи которого обеспечивается данное соединение, называется нулевым защитным проводником. Этот проводник не следует путать с нулевым рабочим проводником, который также как и защитный соединяется с глухозаземленной нейтральной точкой источника электроэнергии, но служит для питания током энергопотребителей (т.е. по нему протекает рабочий ток).

Таким образом, нулевой рабочий проводник представляет собой часть рабочей цепи тока и поэтому должен иметь изоляцию, равноценную защитной изоляции всех фазных проводников. Помимо этого, он должен иметь сечение, рассчитанное на длительное прохождение по нему рабочего тока. При организации осветительной сети дома, например, в последний вводятся два провода: один из них - фазный, используемый для подведения тока к осветителям, а другой - нулевой рабочий. По этому проводу ток возвращается в питающую электросеть. Оба эти проводника имеют, как правило, одинаковое сечение и равноценную изоляцию. Обычно нулевой рабочий проводник используется одновременно и как нулевой защитный, т. е. в целях зануления металлических частей электрооборудования. В данном случае нулевой рабочий проводник должен в точности соответствовать требованиям, которые предъявляются и к нулевым защитным проводникам. Особо отметим, что в нулевом рабочем проводнике, в том случае, когда он используется одновременно и как нулевой защитный, ставить предохранители не допускается.

Защитное зануление является достаточно эффективным средством, которое успешно применяется для предотвращения возможного поражения людей электрическим током в случае их

прикосновения к металлическим частям корпуса электроустановки, случайно находящейся под напряжением (например, при повреждении изоляции).

Суть защитного действия зануления заключается в превращении аварийного замыкания токоведущих частей установки на корпус в обычное однофазное короткое замыкание. Подобное замыкание (между фазным и нулевым защитным проводниками) приведёт к появлению в цепи больших токов короткого замыкания, что вызовет немедленное срабатывание защитного устройства, т.е. автоматическое отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. В качестве защитных устройств в этом случае могут использоваться:

- плавкие вставки (предохранители) или автоматы (АВ), устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания;
- магнитные пускатели, имеющие тепловую защиту;
- контакторы;
- автоматы с комбинированными расцепителями.

Поскольку при занулении металлических частей электроустановок одновременно осуществляется и их заземление (через нулевой защитный проводник и глухо заземлённую нейтраль), то в аварийном режиме, с момента возникновения замыкания на корпус и до отключения электроустановки от сети, попутно проявляется и защитное действие этого заземления.

Таким образом, защитное зануление корпусов электроустановок решает одновременно две задачи по защите человека от поражения электрическим током: производит быстрое автоматическое отключение поврежденной части электроустановки от питающей линии и снижает величину опасного напряжения на зануленных металлических частях, случайно оказавшихся под напряжением. При этом отключение установки от сети производится только в случае замыкания отдельных токоведущих частей на корпус. Снижение же напряжения прикосновения до безопасной величины происходит во всех случаях присутствия опасного для жизни человека напряжения на зануленных токопроводящих частях, в том числе и при замыкании на корпус, электромагнитном (электростатическом) воздействии соседних электрических полей от других электроприемников и т. п.

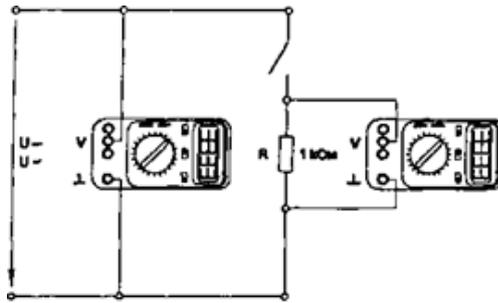
#### *Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трёхфазный трансформатор	302	250 В · А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A5	Модель замыкания на землю	310	380 В ~; 3 × 0.5 А
A7	Модель зануления	329	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В ~; 0...10 А ~; 0...20 МОм

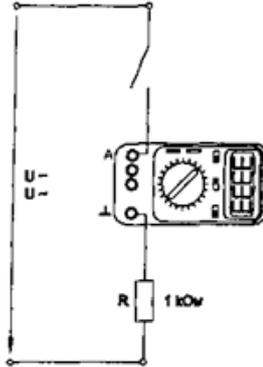
#### *Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра*

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

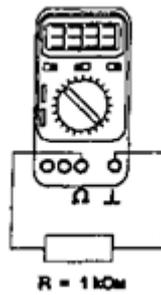
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



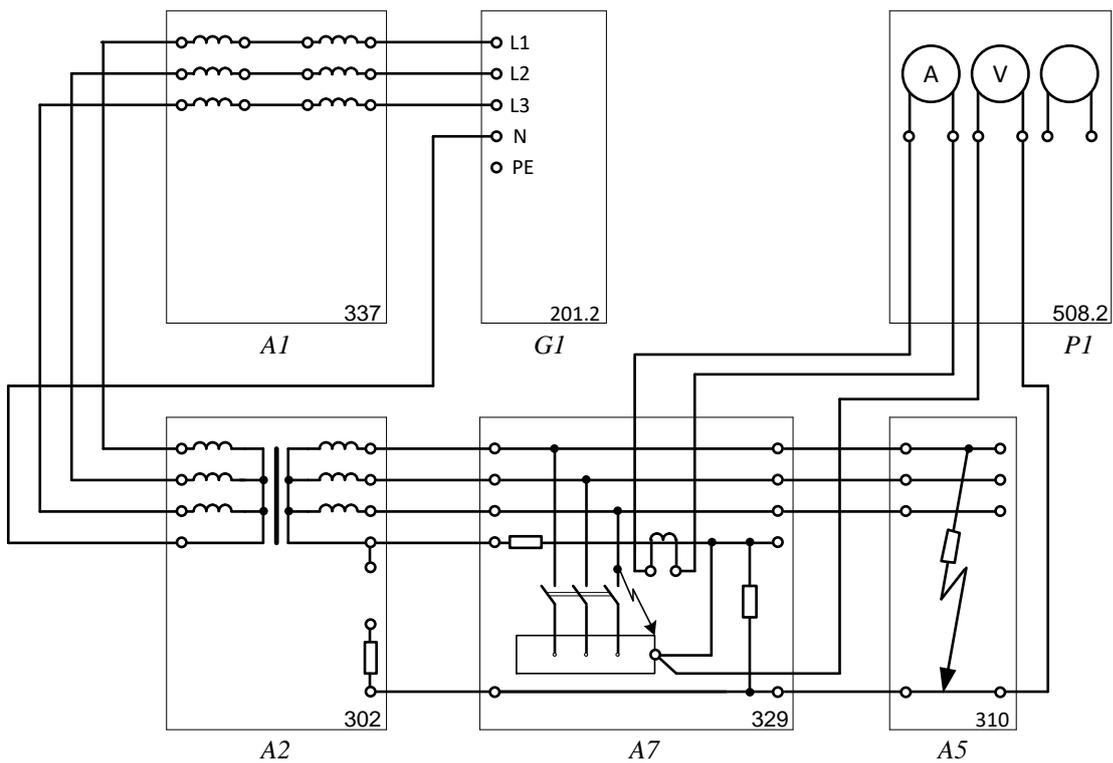
*Присоединение мультиметра как вольтметра*



*Присоединение мультиметра как амперметра*



*Присоединение мультиметра как омметра*  
Электрическая схема соединений



### **Указания по проведению эксперимента:**

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Установите у модели A5 сопротивление замыкания на землю  $R_{\text{зам}} = \infty$ .
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора A2.
- Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируйте установкой выключателя S в положение «ВКЛ.».
- Ток короткого замыкания измеряйте с помощью амперметра блока мультиметров P1.
- При величинах сопротивления цепи короткого замыкания  $R_N = 1, 2, 3 \text{ Ом}$  и возникновении короткого замыкания фазы на корпус электрооборудования (выключатель S включен) защита отключает электрооборудование от сети, что проявляется в отсутствии свечения светодиодов в фазах подходящих к нему проводов.
- При величинах сопротивления цепи короткого замыкания  $R_N = 5, 10, 15, 20 \text{ Ом}$  и возникновении короткого замыкания фазы на корпус электрооборудования (выключатель S включен) защита не отключает электрооборудование от сети, что проявляется в наличии свечения светодиодов в фазах подходящих к нему проводов.
- Наличие повторного заземления моделируйте установкой любого его значимого сопротивления  $R_{\text{П}} \neq \infty$ .
- Напряжение на корпусе электрооборудования измеряйте с помощью вольтметра блока мультиметров P1.
- Сопротивление замыкания на землю  $R_{\text{зам}} \neq \infty$  устанавливайте только при моделировании режима изолированной нейтрали питающей электрической сети.
- По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

### **Форма представления результатов, полученных при проведении работы**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

#### **Выводы**

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

#### **Вопросы и задания для самостоятельного контроля**

1. Чем отличается заземление от зануления;
2. Что такое защитное зануление;
3. В каких сетях используют зануление для обеспечения электробезопасности;
4. Каково назначение нулевого защитного проводника;
5. В чем заключается разница между сетями с глухозаземленной и изолированной нейтралью;
6. Дать определение «нейтрали».

## 2.5 Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью (лабораторная работа № 5)

**Цель работы:** Научиться контролировать неисправность изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью.

**Задание:** Измерить напряжение фаз электрической сети и сделать вывод о соотношении сопротивлений изоляции этих фаз.

### **Краткое содержание теоретической части:**

**Контроль изоляции** обязателен к применению в электрических сетях изолированных от земли, т.к. от электроустановок, работающих в режиме изолированной нейтрали, требуется повышенная надежность энергоснабжения и по условиям электропоражения они относятся к числу с повышенной опасностью. Поэтому организация контроля изоляции в таких электрических установках является приоритетной задачей. К таким электроустановкам относятся системы энергетического снабжения:

- больниц;
- железнодорожных коммуникаций и предприятий;
- организаций занимающихся горной, нефтяной и газодобывающей, сталеплавильной, химической промышленностью;
- взрывоопасного, а также испытательного и лабораторного производства

В электроустановках и электрических сетях, которые изолированы от земли, условия безопасности и надежности определяются состоянием контроля изоляции, ее качеством, сопротивлением и емкостью.

Для того, чтобы обеспечить надлежащий уровень сопротивления контроля изоляции в электросети или определенной электроустановке, в правилах предполагается ведение постоянного автоматического контроля изоляции, осуществляемого устройствами контроля изоляции.

Условия электробезопасности в IT-сетях достигаются высоким сопротивлением изоляции по отношению к земле, но при условии достижения более высокой степени безопасности применение устройств контроля изоляции вполне оправдано. Основной задачей устройства контроля изоляции является измерение сопротивления изоляции сетей под напряжением и при включенных потребителях. Принцип действия, заключается в оценке результатов измерения сопротивления изоляции и сравнения с заданной установкой, соответствующей условиям электробезопасности, и, в случае нарушения, включается сигнализация или подается команда на отключающий аппарат.

### **Перечень аппаратуры**

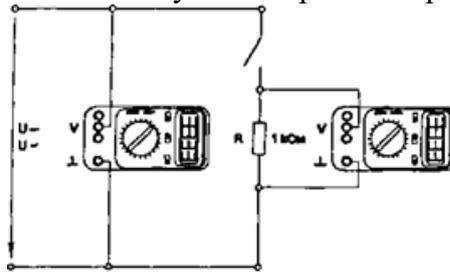
Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В · А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A3	Модель участка электрической сети	303	380 В ~; 3 × 0.5 А
A7	Модель сопротивления изоляции	311	380 В ~
A8	Устройство контроля изоляции	316	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В $\varnothing$ ; 0...10 А $\varnothing$ ; 0...20 МОм

### **Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра**

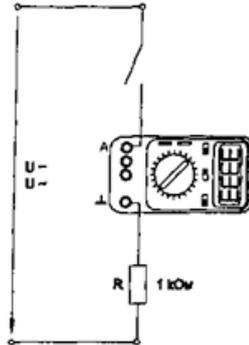
Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;

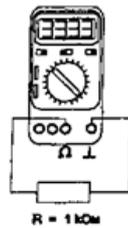
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



*Присоединение мультиметра как вольтметра*

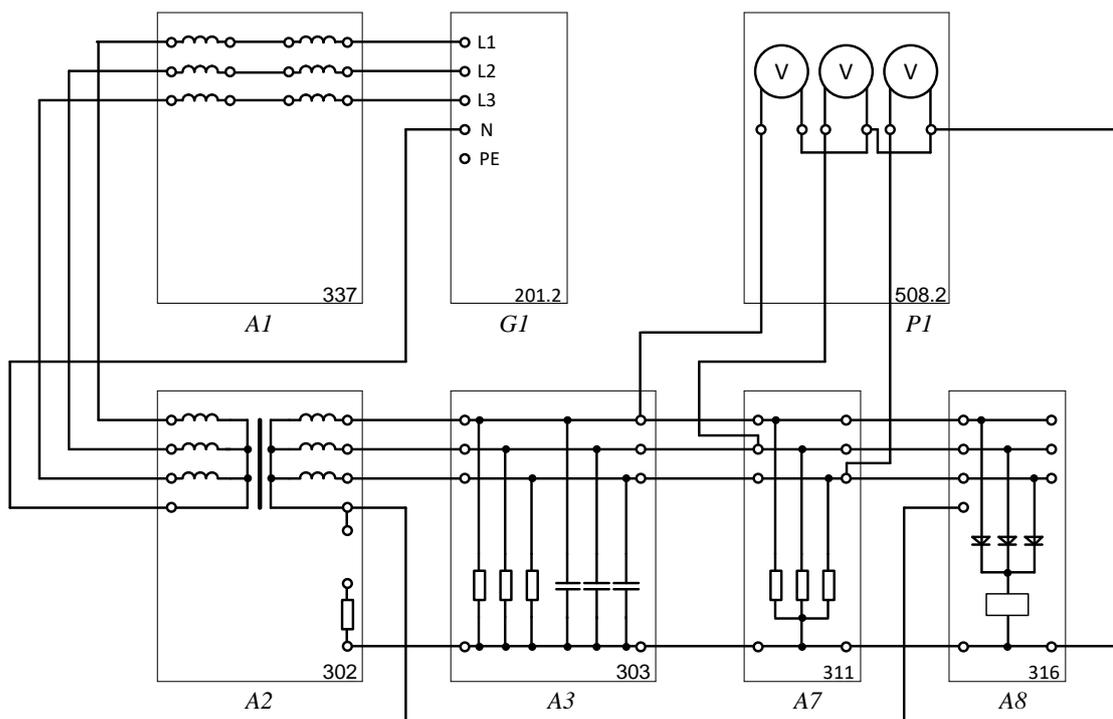


*Присоединение мультиметра как амперметра*



*Присоединение мультиметра как омметра*

**Электрическая схема соединений**



### Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Установите емкости фаз модели А3  $C_A = C_B = C_C = 0$ .
- Установите желаемые сопротивления  $R_A, R_B, R_C$  изоляции фаз модели А3 и сопротивления  $R$  изоляции модели А7.
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- С помощью вольтметров блока мультиметров P1 измерьте напряжения фаз электрической сети. По ним судите о соотношении сопротивлений изоляции этих фаз.
- Величину, равную параллельно соединенным сопротивлениям изоляции всех трех фаз, считывайте с индикатора устройства контроля изоляции.
- По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

Таблица 1

Фазы сети	Сопротивление изоляции	Сила тока, А	Напряжение, В
Ra			
Rb			
Rc			

### Форма представления результатов, полученных при проведении работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

#### Выводы

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

#### Вопросы и задания для самостоятельного контроля:

1. Что такое нейтраль;
2. Виды нейтралей;
3. Что такое изолированная нейтраль;
4. Назначение контроля изоляции;
5. Как осуществляется контроль изоляции.

## 2.6 Измерение сопротивления заземления

(лабораторная работа № 6)

**Цель работы:** Произвести измерение тока стекающего в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя. Сделать вывод о эффективности защитного заземления.

**Задание:** Измерить ток стекающий в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.

### **Краткое содержание теоретической части:**

Под термином **заземление** подразумевается электрическое подключение какой-либо цепи или оборудования к земле. Заземление используется для установки и поддержания потенциала подключенной цепи или оборудования максимально близким к потенциалу земли. Цепь заземления образована проводником, зажимом, с помощью которого проводник подключен к электроду, электродом и грунтом вокруг электрода.

Заземление широко используется с целью электрической защиты. Например, в осветительной аппаратуре заземление используется для замыкания на землю тока пробоя, чтобы защитить персонал и компоненты оборудования от воздействия высокого напряжения.

Низкое сопротивление цепи заземления обеспечивает стекание тока пробоя на землю и быстрое срабатывание защитных реле. В результате постороннее напряжение как можно быстрее устраняется, чтобы не подвергать его воздействию персонал и оборудование.

Чтобы наилучшим образом фиксировать опорный потенциал аппаратуры в целях ее защиты от статического электричества и ограничить напряжения на корпусе оборудования для защиты персонала, идеальное сопротивление цепи заземления должно быть равно нулю, но на практике этого добиться невозможно.

Или другими словами **сопротивление заземления** - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю. При определении должны быть учтены и искусственные, и естественные заземлители (разнообразные электропроводящие части производственных, строительных конструкций). Измеряя сопротивление, так же следует учитывать удельное сопротивление земли (брать сопротивление при наименее благоприятных условиях).

**Достаточно низкие, но не предельные, значения сопротивления заданы в последних стандартах, например согласно ПУЭ (Правилам устройства электроустановок):**

1.7. 90 Заземляющее устройство напряжением выше 1кВ в сетях с эффективно заземлённой или изолированной нейтралью, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей.

1.8.38 Сопротивление заземления электроустановки электрических сетей с изолированной нейтралью, с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор, с напряжением выше 1 кВ, вычисляется по формуле  $250/I_p$ , где  $I_p$  - расчётный ток замыкания на землю.

1.8.38 Сопротивление заземления для воздушных линий электропередач с напряжением выше 1 кВ при удельном сопротивлении грунта (в Ом): до 100 - 10 Ом; от 100 до 500 - 15 Ом; от 500 до 1000 - 20 Ом; от 1000 до 5000 - 30 Ом;

1.7.101 Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

1.7.101 Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При удельном сопротивлении земли  $> 100$  Ом м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01 раз, но не более десятикратного.

1.7.104 Сопротивление заземляющего устройства, используемого для защитного заземления открытых проводящих частей, в системе IT должно соответствовать условию:  $R \leq U_{пр}/I$ ,

где  $R$  - сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$U_{пр}$  - напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В;  $I$  - полный ток замыкания на землю, А.

Сопротивление заземления на воздушных линиях электропередач до 1 кВ, для заземляющие устройства опор ВЛ с повторными заземлителями PEN (PE) - проводника равно 30 Ом.

#### Удельное сопротивление грунта

**Расчетное удельное электрическое сопротивление грунта** (Ом\*м) - параметр, определяющий собой уровень "электропроводности" земли как проводника, т.е. как хорошо будет растекаться в такой среде электрический ток от заземлителя.

Это измеряемая величина, зависящая от состава грунта, размеров и плотности прилегания друг к другу его частиц, влажности и температуры, концентрации в нем растворимых химических веществ (солей, кислотных и щелочных остатков).

Удельное сопротивление принято обозначать греческой буквой  $\rho$ . Чем удельное сопротивление меньше, тем благоприятнее условия для расположения заземлителя.

Удельным сопротивлением земли называют сопротивление между противоположными плоскостями куба земли с ребрами размером 1 м; оно измеряется в омметрах (Ом\*м).

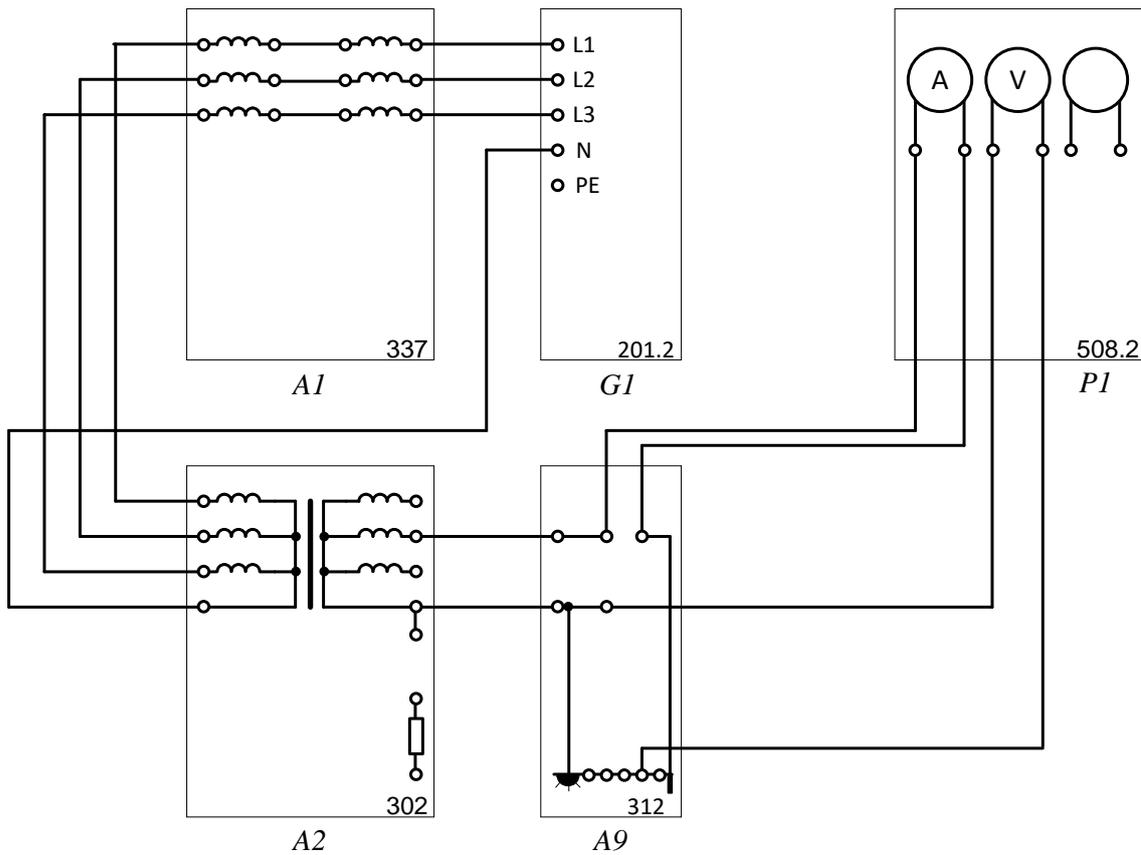
Ниже приведены приближенные значения удельных сопротивлений земли, Ом\*м, при средней влажности, а также речной и морской воды. Для сооружения заземлителей необходимо знать не приближенные, а точные величины удельных сопротивлений земли в месте их окружения. Они определяются на местах измерениями.

Песок . . . . .	400—1000 и более
Супесок . . . . .	150—400
Суглинок . . . . .	40—150
Глина . . . . .	8—70
Садовая земля . . . . .	40
Чернозем . . . . .	10—50
Торф . . . . .	20
Каменистая глина (приблизительно 50%) . . . . .	100
Мергель, известняк, крупнозернистый песок с валунами . . . . .	1000—2000
Скала, валуны . . . . .	2000—4000
Речная вода (на равнинах) . . . . .	10—80
Морская вода . . . . .	0,2
Водопроводная вода . . . . .	5—60

#### Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A9	Модель измерения заземления	312	220 В ~; 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В ~; 0...10 А ~; 0...20 МОм

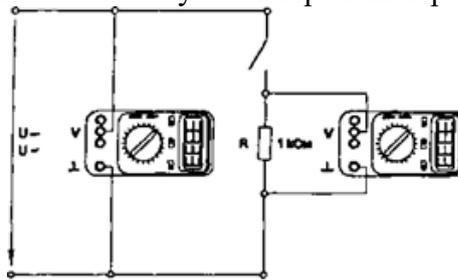
## Электрическая схема соединений



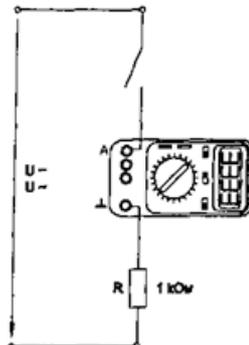
### *Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра*

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

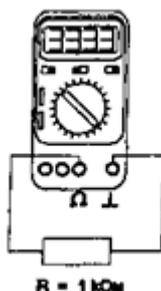
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



***Присоединение мультиметра как вольтметра***



***Присоединение мультиметра как амперметра***



### **Присоединение мультиметра как омметра Указания по проведению эксперимента**

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключателем установите у модели А9 желаемое удельное сопротивление грунта  $\rho$ .
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток стекающий в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.
- Используйте измеренные значения тока и напряжений для определения правильного расположения потенциального электрода относительно заземлителя и последующего расчета сопротивления заземления.
- По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

### **Форма представления результатов, полученных при проведении работы**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

#### **Выводы**

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

#### **Вопросы и задания для самостоятельного контроля:**

1. Что понимается под удельным сопротивлением грунта;
2. Что такое заземлитель;
3. Что такое заземление;
4. Что понимается под сопротивлением заземления;
5. Как измерить ток, стекающий в землю через заземлитель и напряжение между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.

## 2.7 Натурное моделирование защитного заземления/самозаземления электрооборудования (лабораторная работа № 7)

**Цель работы:** Смоделировать защитное заземление/самозаземление электрооборудования

**Задание:** Измерить ток короткого замыкания и напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора.

**Краткое содержание теоретической части:**

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения, оцениваемая значением тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжение сети, схемой самой сети, режима ее нейтрали (т. е. заземлена или изолирована нейтраль), степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от значений емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Следовательно, указанная опасность не является однозначной: в одних случаях замыкание цепи тока через тело человека будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Одной из основных причин несчастных случаев от электрического тока является появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, – на корпусах, кожухах, ограждениях и т. п.. Напряжение на этих частях может появиться как результат: повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (вследствие механических воздействий, электрического пробоя, естественного старения и т. п.); падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования; замыкания фазы сети на землю. Опасность поражения током в этих случаях устраняется с помощью защитного заземления, зануления, защитного отключения, выравнивания потенциала, двойной изоляцией, а также благодаря применению малых напряжений и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

**Защитным заземлением** называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние, вынос потенциала и т. п.).

**Принцип действия защитного заземления** – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Данное напряжение называется напряжением прикосновения  $U_{пр}$ . Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования, за счет появления потенциалов на поверхности земли при стекании тока в землю. Данные потенциалы возникают из-за сравнительно большого удельного сопротивления грунта ( $1 \times 10^3$ – $1 \times 10^4$  Ом м.) и уменьшаются по мере удаления от места стекания тока в землю. В непосредственной близости от места стекания тока в землю потенциал основания, на котором стоит человек, практически равен потенциалу заземленного оборудования. При этом разность потенциалов, определяющая напряжение прикосновения, минимальна. По мере удаления данного основания от места стекания тока в землю указанная разность потенциалов возрастает, то есть эффект выравнивания потенциалов ослабевает. При удалении человека от места стекания тока в землю на 20 метров и более напряжение прикосновения практически равно потенциалу корпуса электроустановки оказавшейся под напряжением.

Если корпус электрооборудования не заземлен, и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае величина тока в комплексной форме, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью, определяется соотношением:

$$\bar{I}_ч = \bar{U}_ф / (R_ч + R_{об} + R_п + \bar{Z}_и / 3) \quad (1)$$

где  $\bar{I}_ч$ ,  $\bar{U}_ф$ ,  $\bar{Z}_и$  – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивлений изоляции одной фазы, Ом;

$R_ч$  – сопротивление тела человека, Ом;

$R_{об}$  – сопротивление обуви человека, Ом;

$R_п$  – сопротивление пола (основания), Ом.

При малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли этот ток может достигать опасных значений.

Для трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью проводимость изоляции фазных проводов относительно земли пренебрежимо мала по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому величина тока через тело человека практически не зависит от сопротивления изоляции.

**Заземляющим устройством** называется совокупность заземлителя – металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части с заземлителем.

Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные, находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды, т.е. одиночные заземлители.

диаметром 3–5 см и угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм длиной 2,5–3 м, а также стальные прутки диаметром 10–12 мм и длиной до десяти метров.

Для соединения вертикальных электродов между собой и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм или сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для погружения в землю вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной 0,7–0,8 м, после чего их забивают и верхние концы соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают и горизонтальные электроды. Траншею засыпают землей, очищенной от строительного мусора, а затем тщательно утрамбовывают, что обеспечивает лучшую проводимость грунта, а следовательно, уменьшает расход металла на устройство заземления.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически не происходит выравнивание потенциала основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования. Эффективность применения такого ЗУ обусловлена только снижением потенциала заземленного оборудования. При этом оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов. При замыкании фазы на корпус и стекании тока  $I_3$  через заземлитель  $\varphi_3(x)$  достигает максимума в точке поверхности над заземлителем и практически затухает через 20 метров. При этом на руку человека, прикоснувшегося к корпусу электрооборудования, действует потенциал заземлителя  $\varphi_3$ , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю. Напряжение прикосновения  $U_{пр}$ , равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно  $\varphi_3$ . Контурные ЗУ характеризуются по возможности равномерным размещением заземляющих электродов по площадке, на которой установлено электрооборудование. Такое ЗУ называется распределенным. Снижение напряжения прикосновения в этом случае обусловлено не только перераспределением падения напряжения источника, но и выравниванием потенциалов заземленного корпуса электроустановки и основания, на котором стоит человек. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала  $\varphi_3 \Sigma(X)$ . Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения  $U_{пр}$  значительно уменьшается и составляет доли  $\varphi_3$ .

В качестве естественных заземлителей могут использоваться: проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов); обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющие соединение с землей; металлические шпунты гидротехнических сооружений; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле. Алюминиевые оболочки кабелей и алюминиевые проводники не допускается использовать в качестве естественных заземлителей.

В электрических распределительных устройствах высокого напряжения в качестве естественного заземлителя используется заземление опор отходящих воздушных линий с грозозащитными тросами при условии, что тросы не изолированы от опор.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, поэтому использование их для целей заземления экономически весьма целесообразно.

Заземляющие проводники, т. е. проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем выполняются обычно из полосовой стали. Прокладка их производится по стенам и другим конструкции ям зданий. В качестве заземляющих проводников допускается использовать различные металлические конструкции.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления, т. е. к основному заземляющему проводнику, идущему от заземлителя, осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается. Соединения заземляющих проводников между собой, а также заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов. Отличительной окраской заземляющей сети является черный цвет, которым должны быть окрашены, все открыто расположенные заземляющие проводники, конструкции и полосы сети заземления.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети до 1 кВ с изолированной нейтралью и выше 1 кВ с любым режимом работы нейтрали.

Требования к устройству защитного заземления и зануления определены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), в соответствии с которыми защитному заземлению или занулению подлежат все металлические и другие токопроводящие части электроустановок и оборудования, которые случайно в аварийном режиме могут оказаться под напряжением:

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках;
- при номинальном напряжении выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных электроустановках;
- во взрывоопасных помещениях необходимо заземлять все оборудование независимо от напряжения.

При номинальных напряжениях менее 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока заземления или зануления электроустановок не требуется.

Для заземления установок, которые питаются от одной сети, целесообразно проектировать общее заземляющее устройство. Если имеется несколько заземляющих устройств, они должны быть электрически соединены между собой.

Для осуществления эффективной защиты величина сопротивления защитного заземления не должна превышать значений, при которых напряжение прикосновения или шаговое напряжение достигают опасных величин.

<i>сопротивления защитного заземления в зависимости от характеристик электрических сетей Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом</i>	
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
125/I <sub>з</sub> , но не более 10 (I <sub>з</sub> расчетный ток замыкания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
250/I <sub>з</sub> , но не более 10	Если заземляющее устройство используется в сети с изолированной нейтралью
0,5	Если заземляющее устройство используется в сети с эффективно заземленной нейтралью

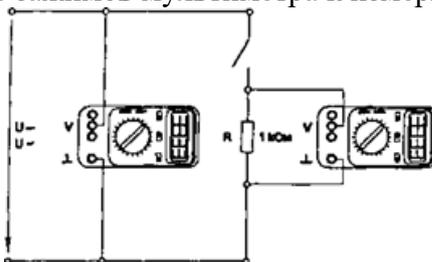
#### *Перечень аппаратуры*

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6х1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A3	Модель участка электрической сети	303	380 В ~; 3 × 0.5 А
A10	Модель защитного заземления/самозаземления	328	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В ~; 0...10 А ~; 0...20 МОм

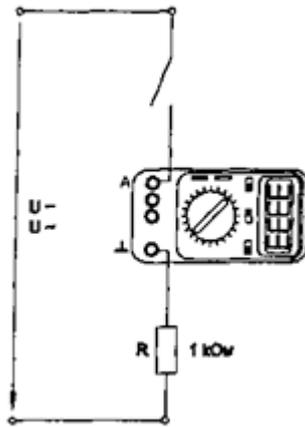
#### *Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра*

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мульти метр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

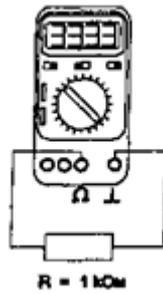
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



*Присоединение мультиметра как вольтметра*

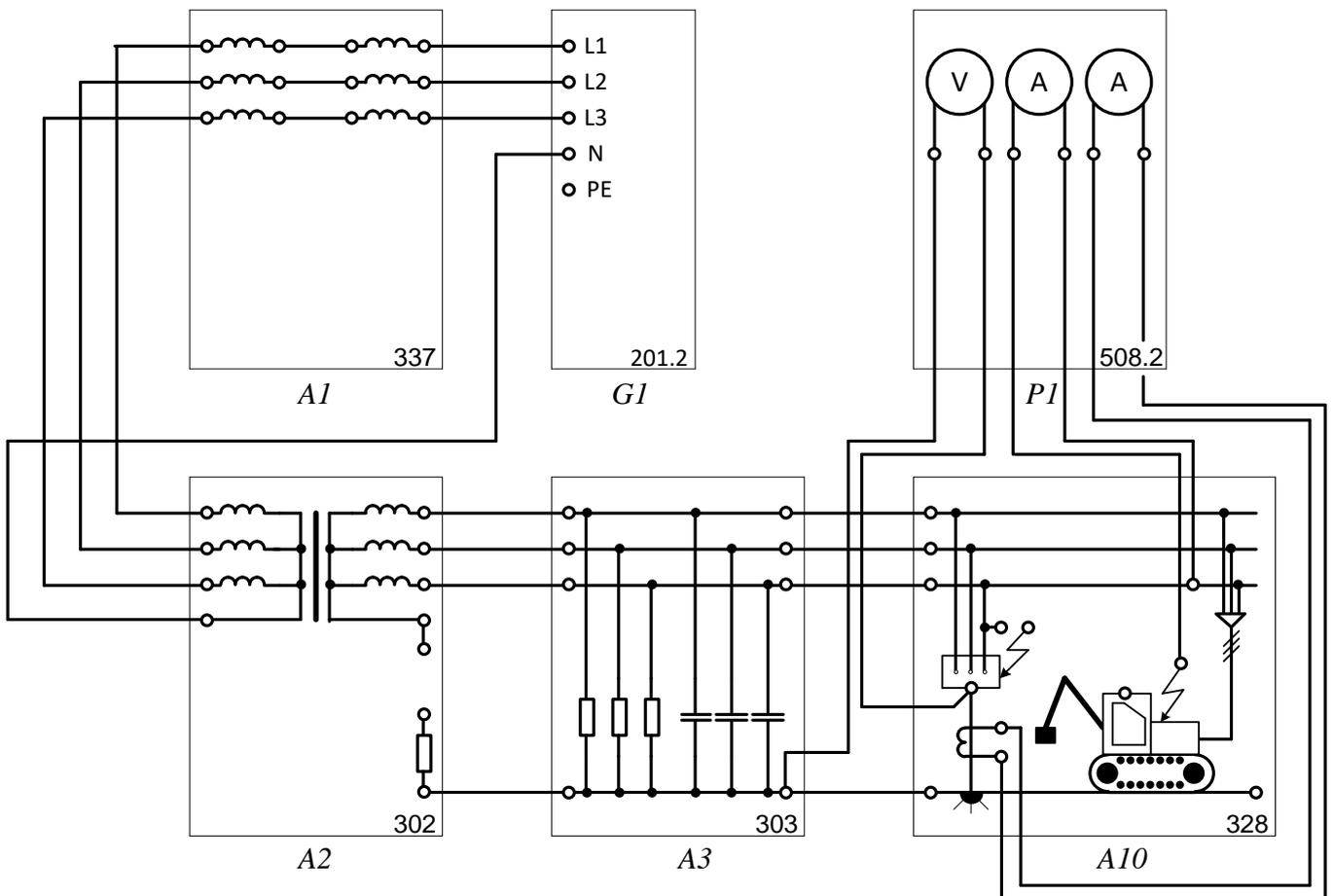


*Присоединение мультиметра как амперметра*



*Присоединение мультиметра как омметра*

**Электрическая схема соединений**



*Указания по проведению эксперимента*

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора A2.
- Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируйте установкой перемычки между гнездами 3 и 4 модели A10.
- Токи короткого замыкания измеряйте с помощью амперметров блока мультиметров P1, включенных между гнездами 5, 6 и 7, 8 модели A10.
- Напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора измеряйте с помощью вольтметра блока мультиметров P1, включая его между гнездами 1, E и 2, E модели A10.
- Грунт, в котором проложен заземлитель, характеризуется удельным электрическим сопротивлением  $\rho_1$ , а грунт, на котором стоит экскаватор, - удельным электрическим сопротивлением  $\rho_2$ .
- По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

***Форма представления результатов, полученных при проведении работы***

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

***Выводы***

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

***Вопросы и задания для самостоятельного контроля:***

1. Что понимается под защитным заземлением;
2. Принцип действия защитного заземления;
3. Что понимается под заземляющим устройством;
4. Виды заземляющих устройств;
5. Как смоделировать замыкание фазы на корпус электрооборудования.

## 2.8 Натурное моделирование защитного отключения электрической сети

(лабораторная работа № 8)

**Цель работы:** Получить общее представление о защитном отключении. Изучение защитного отключения электрической сети с различным режимом нейтрали.

**Задание:** Изучить защитное отключение электрической сети с различным режимом нейтрали.

### **Краткое содержание теоретической части:**

**Защитное отключение** – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током.

Такая опасность может возникнуть при замыкании фазы на корпус электрооборудования; при снижении сопротивления изоляции фаз относительно земли ниже определенного предела; появлении в сети более высокого напряжения; прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением. В этих случаях в сети происходит изменение некоторых электрических параметров: например, могут измениться напряжение корпуса относительно земли, напряжение фаз относительно земли, напряжение нулевой последовательности и др. Любой из этих параметров, а точнее говоря – изменение его до определенного предела, при котором возникает опасность поражения человека током, может служить импульсом, вызывающим срабатывание защитно-отключающего устройства, т. е. автоматическое отключение опасного участка сети.

**Прибор защитного отключения** – совокупность отдельных элементов, которые реагируют на изменение какого-либо параметра электрической сети и дают сигнал на отключение автоматического выключателя. Этими элементами являются:

Датчик – устройство, воспринимающее изменение параметра и преобразующее его в соответствующий сигнал (обычно датчиками служат реле соответствующего типа);

Усилитель, предназначенный для усиления сигнала датчика, если он оказывается недостаточно мощным;

Цепи контроля, служащие для периодической проверки исправности схемы защитно-отключающего устройства;

Вспомогательные элементы – сигнальные лампы, измерительные приборы, характеризующие состояние установки, и т. п.

**Автоматический выключатель** – устройство, служащее для включения и отключения цепей, находящихся под нагрузкой, при коротких замыканиях. Он должен отключать цепь автоматически при поступлении сигнала от прибора защитного отключения.

Устройство защитного отключения в зависимости от параметра, на который оно реагирует, можно отнести к тому или иному типу, в том числе к типам устройств, реагирующих на напряжение корпуса относительно земли, ток замыкания на землю, напряжение фазы относительно земли, напряжение нулевой последовательности, ток нулевой последовательности, оперативный ток и др.

Назначение защитного отключения заключается в том, чтобы одним прибором осуществлять совокупность защиты либо некоторые из следующих ее видов: от однофазных замыканий на землю или на элементы эл. оборудования, нормально изолированные от напряжения; от не полных замыканий, когда снижение изоляции одной из фаз создает опасность поражения человека; от поражения при прикосновении человека к одной из фаз эл. оборудования, если прикосновение произошло в зоне действия защиты прибора.

УЗО применяют в электроустановках до 1 кВ:

в передвижных эл. установках с изолированной нейтралью (особенно если затруднено создание заземляющего устройства). Может применяться как в виде самостоятельной защиты, так и в сочетании с заземлением);

в стационарных электроустановках с изолированной нейтралью для защиты ручных электрических машин в качестве единственной защиты, и в дополнение к другим;

в условиях повышенной опасности поражения электрическим током и взрывоопасности в стационарных и передвижных электроустановках с различными режимами нейтрали;

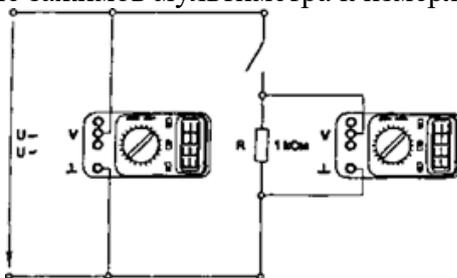
в стационарных электроустановках с глухозаземленной нейтралью на отдельных удаленных потребителях электрической энергии и потребителя большой номинальной мощности, на которых защита занулением не достаточно эффективна.

**Перечень аппаратуры**

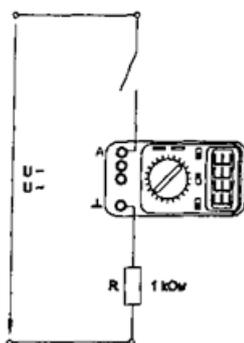
Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A3	Модель участка электрической сети	303	380 В ~; 3 × 0.5 А
A4	Модель человека	309	380 В ~; 3 × 0.5 А
A11	Устройство защитного отключения	321	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В ~; 0...10 А ~; 0...20 МОм

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

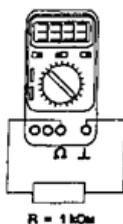
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



**Присоединение мультиметра как вольтметра**

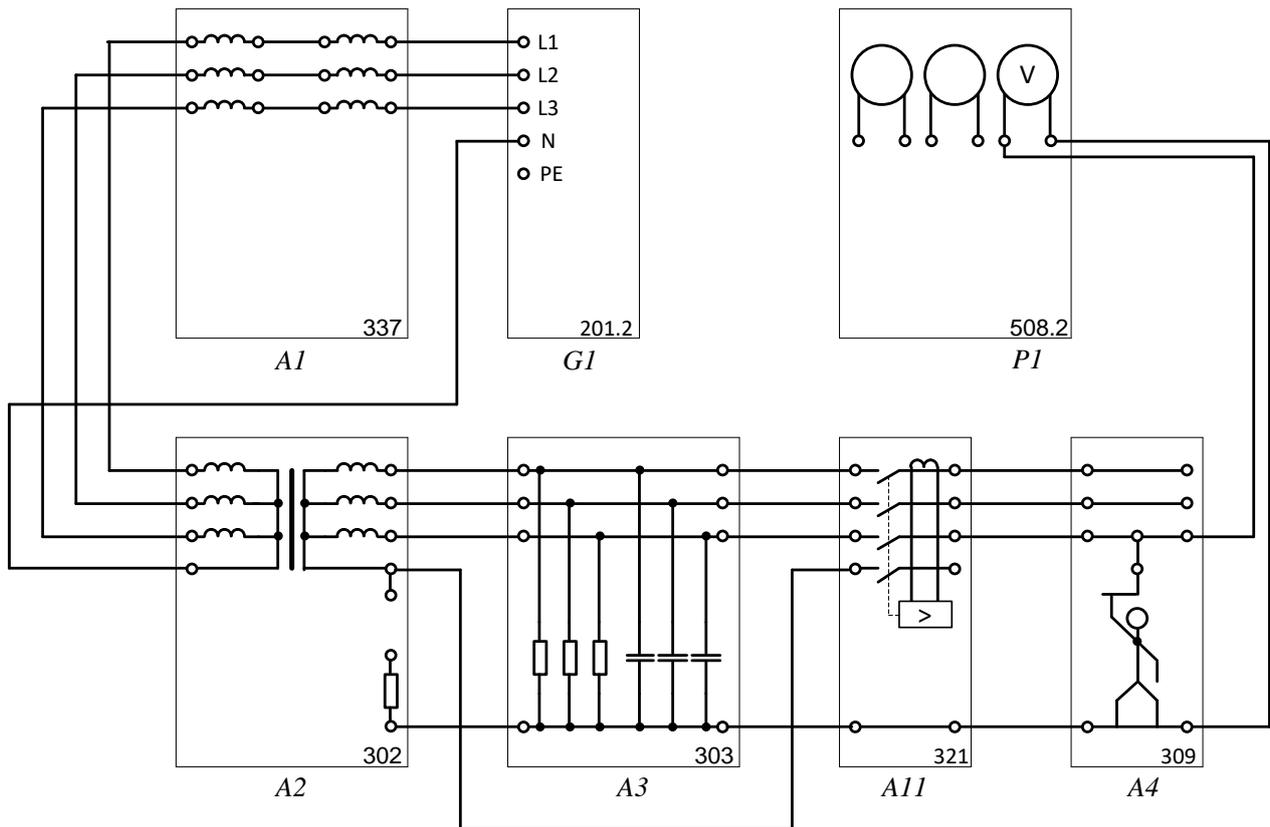


**Присоединение мультиметра как амперметра**



**Присоединение мультиметра как омметра**

## Электрическая схема соединений



### *Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра* *Указания по проведению эксперимента*

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора A2.
- При проведении эксперимента в сети с изолированной нейтралью сопротивления  $R_A, R_B, R_C$  изоляции фаз модели A3 обязательно должны иметь значимые величины.
- Желаемые значения сопротивлений обуви человека и пола, на котором он стоит, устанавливайте на модели человека A4.
- Временную и токовую уставку срабатывания устройства защитного отключения A11 устанавливайте с помощью кнопок «<>» и «>>» на его лицевой панели.
- Включение устройства защитного отключения A11 производите нажатием кнопки «ВКЛ.» на его лицевой панели.
- На верхнем индикаторе устройства защитного отключения A11 наблюдайте текущее значение тока утечки через человека.
- Если после включения устройство защитного отключения A11 отключилось, то на его верхнем индикаторе высветится значение тока утечки, при котором произошло это отключение. Произведение этого значения тока утечки и времени срабатывания (уставки по времени) устройства защитного

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

#### **Методические рекомендации по изучению теоретического курса**

В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

Подготовка к самостоятельной работе над лекционным материалом должна начинаться на самой лекции. Умение слушать, творчески воспринимать излагаемый материал - это необходимое условие для его понимания, но недостаточно только слушать лекцию. В процессе лекционного занятия необходимо выделять важные моменты, выводы, анализировать основные положения. Если при изложении материала преподавателем создана проблемная ситуация, пытаться предугадать дальнейший ход рассуждений. Это способствует лучшему усвоению материала лекции и облегчает запоминание отдельных выводов.

Однако, как бы внимательно студент не слушал лекцию, большая часть информации вскоре после восприятия будет забыта. Лекцию необходимо конспектировать. Таким образом, на лекции студент должен совместить два момента: внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись. При этом лекция не должна превращаться в урок-диктант. Не надо стремиться подробно слово в слово записывать всю лекцию, конспектируйте только самое важное. Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками.

Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Тетрадь для конспекта лекций также требует особого внимания. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачетам, экзаменам. Целесообразно отделить поля, где можно бы изложить свои мысли, вопросы, появившиеся в ходе лекции. Полезно одну из страниц оставлять свободной. Она потребуется потом, при самостоятельной подготовке. Сюда

можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников.

После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. От того насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать.

Перед каждой последующей лекцией рекомендуется просмотреть материал по предыдущей лекции. Опыт показывает, что предсессионный штурм непродуктивен, материал запоминается ненадолго. Необходим систематический труд в течение всего семестра.

#### **Подготовка к лабораторным занятиям**

Лабораторные занятия – это одна из разновидностей практического занятия, являющаяся эффективной формой учебных занятий в организации высшего образования.

Лабораторные занятия имеют выраженную специфику в зависимости от учебной дисциплины, углубляют и закрепляют теоретические знания. На этих занятиях студенты осваивают конкретные методы изучения дисциплины, обучаются экспериментальным способам анализа, умению работать с приборами и современным оборудованием.

Лабораторные занятия дают наглядное представление об изучаемых явлениях и процессах, студенты осваивают постановку и ведение эксперимента, учатся умению наблюдать, оценивать полученные результаты, делать выводы и обобщения.

Следовательно, ведущей целью лабораторных работ является овладение техникой эксперимента, умение решать практические задачи путем постановки опыта.

Для всех лабораторных работ, которые выполняют студенты, на ведущей кафедре университета составляются методические рекомендации или указания, содержащие описание лабораторной работы, порядок ее выполнения и форму отчета. Лабораторные занятия проводятся в составе академической группы с разделением на подгруппы.

Выполняя лабораторные работы, студенты лучше усваивают программный материал, так как многие определения и формулы, казавшиеся отвлеченными, становятся вполне конкретными, происходит соприкосновение теории с практикой, что в целом содействует пониманию сложных вопросов науки и становлению студентов как будущих специалистов.

### **Методические указания к самостоятельной работе**

Одним из основных видов деятельности студента является самостоятельная работа, которая включает в себя изучение лекционного материала, учебников и учебных пособий, публикаций, первоисточников, подготовку индивидуальных заданий, выступления на групповых занятиях, выполнение заданий преподавателя.

Самостоятельная работа по изучению дисциплины делится на аудиторную и внеаудиторную.

Аудиторная самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя. Кроме того, самостоятельная работа под руководством преподавателя подразумевает консультации и помощь при выполнении индивидуального задания, консультации по разъяснению материала, вынесенного на самостоятельную проработку, консультации по выполнению типовых заданий.

Методика самостоятельной работы предварительно разъясняется преподавателем и в последующем может уточняться с учетом индивидуальных особенностей студентов. Преподаватель в начале изучения дисциплины предоставляет обучающимся список учебно-методических материалов. Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций в изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых проектов и выполнении ВКР.

Изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса.

Студентам рекомендуется получить в научной библиотеке университета учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины, либо воспользоваться ЭБС, указанными в рабочей программе. Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную и приводится в п. 10 рабочей программы. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия).

Необходимость изучения дополнительной литературы, профессиональных баз данных диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала. Здесь целесообразно пользоваться периодическими изданиями и нормативной литературой по электроэнергетике.

### **Групповая и индивидуальная консультация**

Разъяснение является основным содержанием данной формы занятий, наиболее сложных вопросов изучаемого программного материала. Цель – максимальное приближение обучения к практическим интересам с учетом имеющейся информации и является результативным материалом закрепления знаний. Групповая консультация проводится в следующих случаях:

когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции;

с целью оказания помощи в самостоятельной работе.

Групповая консультация может быть проведена в режиме on-line через личные кабинеты обучающихся и преподавателя.

Индивидуальная консультация проводится по запросу обучающегося в виде контактной работы, либо в режиме on-line или off-line через электронную информационно-образовательную среду.

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в акад. часах
1	«Критерии безопасности электрического тока»	подготовка к опросу на лекции; подготовка к лабораторному занятию и выполнение отчетов; проработка материала, вынесенного на самостоятельное изучение	4 5 4
2	«Меры защиты в электроустановках»	подготовка к опросу на лекции; подготовка к лабораторному занятию и выполнение отчетов; проработка материала, вынесенного на самостоятельное изучение	4 5 4
3	«Безопасность при работах в электроустановках»	подготовка к опросу на лекции; подготовка к лабораторному занятию и выполнение отчетов; проработка материала, вынесенного на самостоятельное изучение	4 5 4
4	«ПТБ при эксплуатации электроустановок»	подготовка к опросу на лекции; подготовка к лабораторному занятию и выполнение отчетов; проработка материала, вынесенного на самостоятельное изучение	4 6 5
5		Подготовка к зачету с оценкой	

### Текущий контроль

*Пример теста контроля знаний для раздела 2. «Меры защиты в электроустановках».*

**Вопрос 1 .** Наличие какого признака позволяет отнести помещение электроустановки к категории особо опасных ?

- 1) Токопроводящий пол.
- 2) Повышенная температура воздуха.
- 3) Наличие химически активной среды.
- 4) Наличие сырости

**Вопрос 2 .** Преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением, называется:

- 1) Занулением.
- 2) Защитным заземлением.
- 3) Электрическим разделением сетей.
- 4) Защитным отключением.

**Вопрос 3 .** В сетях с изолированной нейтралью емкостную составляющую тока замыкания на землю можно уменьшить:

- 1) Включая индуктивность между нейтралью и землей.
- 2) Усиливая изоляцию фаз относительно земли.
- 3) Обеспечивая недоступность токоведущих частей.
- 4) Выполняя на территории электроустановки подсыпку гравием.

**Вопрос 4 .** Сопротивление заземляющего устройства в сетях с большими токами замыкания на землю должно быть не более:

- 1) 4 Ом
- 2) 0,5 Ом
- 3) 10 Ом
- 4) 2 Ом

**Вопрос 5.** Какое оборудование может быть установлено в нулевом проводе при занулении:

- 1) Предохранитель
- 2) Рубильник однополюсный
- 3) Выключатель однополюсный
- 4) Ни один из вышеперечисленных аппаратов

**Вопрос 6.** Кто имеет право оперировать коммутационными аппаратами в электроустановках напряжением до 1000 В?

- 1) Оперативный персонал единолично.
- 2) Ремонтный персонал с группой не ниже IV.
- 3) Оперативный персонал с группой не ниже III единолично.
- 4) Производитель работ в присутствии членов бригады.
- 5) Персонал участка на котором расположено электрооборудование

**Вопрос 7.** Можно ли наблюдающему совмещать какую-либо работу и надзор за работающими?

- 1) Нельзя, если наблюдение ведётся за более чем двумя лицами.
- 2) Нельзя.
- 3) Можно.
- 4) Можно, если работа не требует постоянного отвлечения от надзора за работающими.
- 5) Можно, если работа не ответственная.

**Вопрос 8.** Кто даёт разъяснения, если у оперативного персонала при подготовке рабочего места возникли сомнения?

- 1) Производитель работ.
- 2) Вышестоящее оперативное лицо.
- 3) Ответственный руководитель работ.
- 4) Лицо, выдавшее наряд.
- 5) Наблюдающий.

**Вопрос 9.** Время действия распоряжение на производство работ?

- 1) До окончания работ.
- 2) Не более трёх суток.
- 3) В течении рабочей смены.
- 4) Одна неделя.
- 5) По усмотрению лица отдавшего распоряжения.

**Вопрос 10.** На какое напряжение должен быть рассчитан вольтметр или указатель напряжения, применяемые для проверки отсутствия напряжения в установках до 1000 В?

- 1) На 1000 В.
- 2) На номинальное линейное напряжение установки.
- 3) На номинальное фазное напряжение установки.
- 4) На 1,5 номинальных напряжения установки.
- 5) На 2 номинальных фазных напряжения установки.

#### Критерии оценки тестового контроля знаний:

Оценка	Число правильных ответов
5 (отлично)	все
4 (хорошо)	9-7
3 (удовлетворительно)	6- 4
2 (неудовлетворительно)	3 и менее

**Оценочные средства входного контроля для формируемой компетенции:**

- ОК-9 – вопросы 1- 6 .  
ПК-10 – вопросы 7-10.

*Пример теста для раздела 4. «ПТБ при эксплуатации электроустановок».*

**Вопрос 1.** Кто имеет право единоличного обслуживания электроустановок напряжением выше 1000 В?

- Оперативный персонал с группой по электробезопасности не ниже III
- Оперативный персонал с группой по электробезопасности не ниже IV
- Оперативный персонал с группой по электробезопасности не ниже V
- Старший по смене с группой по электробезопасности не ниже III

**Вопрос 2.** Какую группу по электробезопасности должны иметь работники из числа оперативного персонала единолично обслуживающие электроустановки напряжением до 1000 В?

- Не ниже III
- Не ниже IV
- Не ниже V
- Не ниже II

**Вопрос 3.** Кто может выполнять единоличный осмотр электроустановок, электротехнической части технологического оборудования напряжением выше 1000В?

- Оперативный персонал обслуживающий данную электроустановку, имеющий группу не ниже IV
- Работник из числа административно-технического персонала, имеющий группу IV
- Работник, имеющий группу IV и право единоличного осмотра на основании письменного распоряжения руководителя организации
- Оперативный персонал обслуживающий данную электроустановку, имеющий группу не ниже III, а также работник из числа административно-технического персонала, имеющий группу V и право единоличного осмотра на основании письменного распоряжения руководителя организации

**Вопрос 4.** При каких условиях в электроустановку напряжением выше 1000 В допускаются работники, не обслуживающие ее?

- В сопровождении оперативного персонала с группой по электробезопасности не ниже IV или работника, имеющего право единоличного осмотра
- В сопровождении оперативного персонала с группой по электробезопасности не ниже III
- В сопровождении административно-технического персонала
- В сопровождении оперативного персонала с группой по электробезопасности не ниже V

**Вопрос 5.** При каких условиях в электроустановку напряжением до 1000 В допускаются работники, не обслуживающие ее?

- В сопровождении оперативного персонала с группой по электробезопасности не ниже IV
- В сопровождении оперативного персонала с группой по электробезопасности не ниже III или работника, имеющего право единоличного осмотра
- В сопровождении административно-технического персонала
- На основании письменного распоряжения руководителя организации

**Вопрос 6.** Кто дает разрешение на снятие напряжения при несчастных случаях для освобождения пострадавшего от действия электрического тока?

- Разрешение дает оперативный персонал энергообъекта
- Разрешение дает вышестоящий оперативный персонал
- Разрешение дает административно-технический персонал
- Напряжение должно быть снято немедленно без предварительного разрешения

**Вопрос 7.** Какое требование безопасности при работе под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В указано неверно?

- Оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение
- Работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке, либо на резиновом диэлектрическом ковре
- Применять изолированный инструмент или пользоваться диэлектрическими перчатками
- В исключительных случаях с разрешения ответственного руководителя допускается использовать слесарный инструмент типа ножовки, напильника и т.п.

**Вопрос 8.** Кто имеет право выдачи нарядов и распоряжений на работы в электроустановках до 1000 В?

Работники из числа административно-технического персонала организации, имеющие группу не ниже V

Работники из числа административно-технического персонала организации, имеющие группу не ниже IV

Работники из числа административно-технического персонала организации, имеющие группу не ниже III

Работникам из числа оперативного персонала в случае отсутствия работников, имеющих право выдачи нарядов

**Вопрос 9.** На какой срок и сколько раз может быть продлен наряд на работы в электроустановках?

Не более 15 календарных дней со дня продления и не более чем 2 раза.

Не более 3 календарных дней со дня продления и не более чем 2 раза

Не более 15 календарных дней со дня продления и не более чем 1 раз

Не более 30 календарных дней со дня продления и не более чем 1 раз

**Вопрос 10.** Какие из перечисленных требований при выполнении неотложных работ по распоряжению указаны неверно?

Число работающих не должно превышать 3-х человек, включая работника осуществляющего наблюдение

Продолжительность неотложных работ не более 1 часа без учета времени на подготовку рабочего места

Производитель работ (наблюдающий) из числа оперативного персонала должны иметь группу не ниже IV при работах в электроустановках выше 1000 В и не ниже III при работах в установках до 1000 В

Число работающих не должно превышать 4-х человек, включая работника осуществляющего наблюдение

#### **Критерии оценки тестового контроля знаний:**

Оценка	Число правильных ответов
5 (отлично)	все
4 (хорошо)	9-7
3 (удовлетворительно)	6- 4
2 (неудовлетворительно)	3 и менее

#### **Оценочные средства входного контроля для формируемой компетенции:**

ОК-9 – вопросы 1-6 .

ПК-10 – вопросы 7-10.

*Вопросы «Блиц-опроса» по темам дисциплины*

#### Блиц-опрос №1.

#### **Тема №1. Действие электрического тока на организм человека.**

1. Какие существуют виды электротравм?
2. Что такое металлизация кожи?
3. Что такое электрические знаки?
4. Что такое электрический ожог?
5. Что такое электроофтальмия?
6. Какова опасность электротравм?
7. Как измеряется электрическое сопротивление тела человека?
8. Как влияет величина и частота тока на исход поражения?

Блиц-опрос №2.

**Тема №2. Первая помощь пострадавшим от электрического тока.**

1. Назовите меры первой доврачебной помощи.
2. Для чего делается массаж сердца.
3. Для чего делается искусственное дыхание.
4. Как определить есть ли у пострадавшего дыхание, пульс?
5. Порядок выполнения искусственного дыхания и непрямого массажа сердца.
6. Каким образом можно освободить человека от воздействия электрического тока?
7. Что такое дефибриляция сердца.

Блиц-опрос №3.

**Тема №3. Явления при стекании тока в землю.**

1. В чем преимущество группового заземлителя перед одиночным?
2. Как распределяется потенциал по поверхности земли, при разных типах заземлителя?
3. Что такое напряжение прикосновения?
4. Что такое шаговое напряжение?
5. Когда возникает шаговое напряжение?
6. Чем опасно шаговое напряжение?
7. Как влияет многослойность грунта на растекание тока в земле.

Блиц-опрос №4.

**Тема №4. Анализ опасности поражения током.**

1. Какие режимы нейтрали существуют, в каких сетях применяются?
2. Влияние нейтрали на протекание тока в аварийных режимах.
3. Пути протекания тока через человеческое тело.

Блиц-опрос №5.

**Тема №5. Защитное заземление.**

1. Для чего необходимо заземление электроустановок?
2. Что такое выносное заземление?
3. Принцип действия защитного заземления.
4. Принцип действия зануления.
5. Какие существуют типы заземления, где они применяются?

Блиц-опрос №6.

**Тема №6. Защитное отключение.**

1. Назначение УЗО.
2. Типы УЗО.
3. Область применения УЗО.
4. Основные элементы УЗО.
5. Устройства, реагирующие на потенциал корпуса.
6. Устройства, реагирующие на ток замыкания на землю.
7. Устройства, реагирующие на напряжение нулевой последовательности.
8. Устройства, реагирующие на ток нулевой последовательности.
9. Устройства, реагирующие на оперативный ток.

Блиц-опрос №7.

**Тема №7. Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления.**

1. Классификация защитных средств.
2. Что такое основные электрические средства защиты и что такое дополнительные?
3. Основные и дополнительные средства защиты в электроустановках до 1000 В.

4. Основные и дополнительные средства защиты в электроустановках выше 1000 В.
5. Что относится к предохранительным приспособлениям?

Блиц-опрос №8.

**Тема №8. Защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты в электроустановках сверхвысокого напряжения.**

1. Как воздействует электромагнитное поле на человека? В чем заключается опасность этого воздействия?
2. Что такое напряженность электрического поля?
3. Какие защитные устройства вы знаете? Как они работают?

Блиц-опрос №9.

**Тема №9. Безопасность при пофазном ремонте ВЛЭП.**

1. Каковы особенности пофазного ремонта ВЛЭП?
2. Какие меры безопасности необходимо соблюдать при ремонте ВЛЭП?
3. Какие защитные средства применяются при пофазном ремонте ВЛЭП?

Блиц-опрос №10.

**Тема №10. Безопасность при работах под напряжением на ВЛ.**

1. Какова опасность работы под напряжением?
2. Какие приспособления применяются для работы под напряжением?
3. Какие достоинства этого метода?
4. Что такое наведенное напряжение

Блиц-опрос №11.

**Тема №11. Организация безопасной эксплуатации электроустановок.**

1. Как производится обучение персонала, работающего в электроустановках?
2. Какие квалификационные группы по электробезопасности вы знаете?
3. Как производятся оперативные переключения?
4. Кто отвечает за безопасность производства работ?
5. Как выдается наряд или распоряжение на производство работ?
6. Как проверить отсутствие напряжения на отключенных токоведущих частях?
7. Для чего накладывается временное заземление?
8. Кто осуществляет надзор во время работы?
9. Как происходит допуск бригады к работе?
10. Перерыв и окончание работ.
11. В каких случаях делаются ограждения?
12. Когда и для чего вывешиваются плакаты?

**Критерии оценки вопросов «Блиц-опроса»:**

оценка «отлично» выставляется студенту, если даны правильные ответы на все вопросы;

оценка «хорошо» выставляется студенту, если даны ответы на вопросы с незначительными ошибками;

оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если ответы на вопросы даны со значительными ошибками;

оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если ответы даны с большим числом ошибок, либо совсем не даны ответы.

## *Вопросы к зачету с оценкой*

### **Тема № 1.**

1. Особенности действия тока на живую ткань.
2. Виды электрических травм.
3. Механизм смерти от электрического тока.
4. Электрическое сопротивление тела человека.
5. Характер воздействия на человека токов разного значения.
6. Влияние тока на исход поражения.
7. Влияние индивидуальных свойств человека на исход поражения.

### **Тема № 2.**

1. Освобождение человека от действия тока.
2. Правила проведения искусственного дыхания.
3. Правила проведения массажа сердца.

### **Тема № 3.**

1. Распределение потенциала на поверхности земли.
2. Сопротивление заземлителя растеканию тока.
3. Стеkanie тока в землю через групповой заземлитель.
4. Напряжение прикосновения.
5. Напряжение шага.

### **Тема № 4.**

1. Анализ поражения током в однофазной сети изолированной от земли.
2. То же с заземленным проводом.
3. То же в трехфазной четырехпроводной сети с нейтралью, заземленной через активные и реактивные сопротивления.

### **Тема № 5.**

1. Что такое защитное и рабочее заземления.
2. Типы заземляющих устройств.
3. Виды заземлителей.
4. Заземляющие проводники.
5. Порядок расчета защитного заземления.
6. Принцип действия зануления.
7. Повторное заземление нулевого провода.
8. Расчет зануления.

### **Тема № 6.**

1. Основные требования, предъявляемые к УЗО.
2. Принцип действия УЗО, реагирующих на потенциал корпуса.
3. То же, реагирующих на ток замыкания на землю.
4. То же, реагирующих на напряжение нулевой последовательности.
5. То же, реагирующих на ток нулевой последовательности.
6. То же, реагирующих на оперативный ток.

### **Тема № 7.**

1. Основные и дополнительные электротехнические защитные средства в электроустановках до и выше 1000 В.
2. Изолирующие штанги, их назначение, конструкция и правила применения.
3. Указатели напряжения, их назначение, принцип действия и правила применения.

### **Тема № 8.**

1. Напряженность электрического поля в электроустановках сверхвысокого напряжения.
2. Ток, проходящий через человека в землю в электроустановках сверхвысокого напряжения.
3. Экранирующий костюм. Конструкция костюма. Защитный принцип костюма.
4. Экранирующие устройства, конструкции и размещение.

### **Тема № 9.**

1. Особенности пофазного ремонта.
2. Потенциальная характеристика вдоль отключенного провода.
3. Электромагнитное влияние неотключенных проводов ВЛ на отключенный провод (незаземленный и заземленный).
4. ПТБ при пофазном ремонте ВЛ.

### **Тема № 10.**

1. Особенности работ под напряжением на ВЛ.
2. Принцип, положенный в основу метода работы под напряжением.
3. Ток емкости «человек-земля» и его ограничения.
4. Порядок выполнения работ под напряжением.
5. причины поражения током и способы их устранения при работах под напряжением.

### **Темы № 11 - № 14.**

1. Область и порядок применения правил техники безопасности (ПТБ).
2. Допускается ли отступление от ПТБ.
3. Может ли кто-нибудь дополнять и изменять ПТБ.
4. Кто допускается к оперативному обслуживанию электроустановок.
5. Кто имеет право проводить единоличный осмотр электрооборудования.
6. ПТБ при осмотре электрооборудования.
7. Правила хранения и выдачи ключей от электроустановок.
8. Виды работ в электроустановках в отношении мер безопасности.
9. Допустимые расстояния (от работающих, инструментов, ограждений) до токоведущих частей, находящихся под напряжением.
10. ПТБ при работе в электроустановках напряжением до 1000 В без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них.
11. При каких условиях разрешается работать в электроустановках в согнутом положении.
12. ПТБ при приближении грозы.
13. Можно ли приближаться к месту замыкания провода на землю.
14. ПТБ при установке и снятии предохранителей.
15. Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках.
16. Лица, ответственные за безопасность работ, их права и обязанности.
17. Порядок выдачи и оформления наряда.
18. Допуск бригады к работе по наряду.
19. Надзор во время работы, изменение состава бригады.
20. Оформление перерывов в работе по наряду.
21. Перевод бригады на новое рабочее место.
22. Окончание работы. Закрытие наряда и включение оборудования в работу.
23. Выполнение работ по распоряжению в порядке текущей эксплуатации.
24. Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, выполняемых со снятием напряжения.
25. Проверка отсутствия напряжения.
26. Заземление токоведущих частей. Общие требования.

27. Заземление ВЛЭП.
28. Хранение и учет заземлений.
29. ПТБ при обслуживании электродвигателей.
30. ПТБ при обслуживании КРУ.
31. ПТБ при рытье кабельных траншей.
32. ПТБ при разрезании кабеля.
33. ПТБ при работе с паяльной лампой.
34. ПТБ при работе во вторичных цепях.
35. Может ли лицо со II группой по ТБ выполнять чистку изоляции.
36. ПТБ при проведении испытаний с подачей повышенного напряжения от постороннего источника тока.
37. ПТБ при работе с электроизмерительными клещами и измерительными штангами.
38. ПТБ при работе с электроинструментом.
39. ПТБ при работах, связанных с подъемом на высоту.
40. ПТБ при приготовлении электролита.
41. ПТБ при подъеме на опору ВЛ.
42. ПТБ при расчистке трассы от деревьев.
43. ПТБ для лиц командированного персонала.
44. Тушение пожаров в электроустановках.
45. Обучение на рабочем месте, стажировка, дублирование
46. Правила расследования несчастных случаев в электроустановках.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок [Текст]. - 7-е изд. - М. : Омега-Л, 2013. - 269 с. : табл. - (Безопасность и охрана труда). - ISBN 978-5-370-02878-6 : 107.85 р.
2. Электробезопасность: теория и практика: учеб. пособие / П. А. Долин [и др.]; под ред. В. Т. Медведева. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2012. - 280 с.
3. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок) [Текст] : ПОТ РМ - 016-2001, РД 153-34.0-03.150-00. - М.: Омега-Л, 2012. - 152 с.
4. Сибикин, Юрий Дмитриевич. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: учеб. / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - 5-е изд., испр. - М. : Академия, 2010. - 235 с. : ил. - (Электротехника). - Библиогр. : с. 230.
5. Межотраслевые типовые инструкции по охране труда при эксплуатации электроустановок [Текст], 2006. - 160 с.
6. Долин, Петр Алексеевич. Электробезопасность [Текст] : задачник: учеб. пособие: доп. УМО по образ. в обл. энергетики / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков; под ред. В.Т. Медведева. - М. : Гардарики, 2003. - 215 с.
7. Долин, Петр Алексеевич. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему [Текст] / Долин А.А. - М. : Энергоатомиздат, 2000. - 141с.
8. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках, технические требования к ним [Текст]. - СПб. : Деан, 2000. - 128 с.
9. Электробезопасность [Видеозапись] : учеб. видеofilmы. - [Б. м. : б. и.], [2004]. - 1 вк. (33 мин.) : цв., звук на том же нос., VHS. - (Охрана труда и техника безопасности).
10. Собурь, С. В. Пожарная безопасность электроустановок [Текст] : справочник / С. В. Собурь ; ред. В. И. Кузнецов. - 2-е изд., доп. (с изм.). - М. : Спецтехника, 2000. - 259 с.
11. Электробезопасность [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 91 с. : ил. [https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7091.pdf](https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7091.pdf)
12. Электробезопасность. Расстояния безопасности в охранной зоне линий электропередачи напряжением свыше 1000 В [Электронный ресурс]/ — Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2013.— 8 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22779>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
13. Монахов А.Ф., Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Монахов А.Ф., Долин П.А., Медведев В.Т.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2012. — 280 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72333>
14. Привалов Е.Е. Электробезопасность. Часть II. Заземление электроустановок [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.Е. Привалов. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2013. — 140 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47395.html>
15. Электробезопасность [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. работам для направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» / АмГУ, Эн.ф. ; сост.: Ю. В. Мясоедов, И. Г. Подгурская. – Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. – 87 с. [https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7474.pdf](https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7474.pdf)
16. Электробезопасность: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 13.03.01 и 13.03.02. / Сост.: Ю.В. Мясоедов, Л.А. Мясоедова, И.Г. Подгурская - Благовещенск: Изд-во АмГУ, – 2017. [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/9656.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9656.pdf)