

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ивановский государственный химико-технологический университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

РАЗДЕЛ «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»

Составители: Кузьмина И.А.
Куприяновская А.П.

Иваново 2016

УДК: 658.382

Составители: И.А. Кузьмина, А.П. Куприяновская

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности», раздел «Электробезопасность» / сост.: И.А. Кузьмина, А.П. Куприяновская; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.- Иваново, 2016, -31 с.

В методических указаниях представлены общие сведения о факторах, определяющих опасность поражения электрическим током, дана классификация помещений по степени возможного поражения людей электрическим током, проведен анализ различных схем включения человека в электрическую цепь, проанализированы меры обеспечения электробезопасности, описаны основные приемы оказания первой помощи при электропоражениях.

Приводятся задания к лабораторным работам, выполнение которых позволит студентам изучить методики оценки степени опасности включения человека в электрическую сеть, исправности электрооборудования и эффективности способов обеспечения электробезопасности. Для каждого задания разработан порядок выполнения лабораторной работы. Составлены контрольные вопросы для самостоятельной подготовки. Приведен список справочной и нормативной литературы.

Предназначены для изучения раздела «Электробезопасность» дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» студентами очной и заочной формы обучения технических университетов. Они могут быть рекомендованы студентам при подготовке раздела «Охрана труда» в дипломных квалификационных работах.

Рецензент

кандидат технических наук, доцент В.Л. Котов (Ивановский государственный химико-технологический университет)

Целями обучения студентов по разделу «Электробезопасность» дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» являются: анализ степени опасности при включении человека в электрическую сеть, определение исправности электрооборудования и оценка эффективности способов обеспечения электробезопасности. Это позволит студентам научиться моделировать реальные профессионально-ориентированные ситуации, оценивать риски возможного поражения людей электрическим током и предлагать план действий по защите работающих в чрезвычайных ситуациях.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

1.1. Воздействие электрического тока на человека

Электрический ток является одним из наиболее распространенных факторов, приводящих к тяжелым травмам со смертельным исходом. В то же время большое число легких, не требующих врачебной помощи травм, от действия электрического тока усыпляет бдительность и создает иллюзию его безопасности.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие заключается в нагреве тканей при протекании по ним электрического тока; электролитическое действие – в разложении жидкостей организма (воды, крови, лимфы) на ионы, в результате чего происходит нарушение их физико-химического состава и свойств; биологическое – в раздражении и возбуждении тканей организма, судорожного сокращения мышц, а также нарушения внутренних биологических процессов.

В результате воздействия электрического тока могут возникнуть местные электротравмы (ожоги, металлизация кожи, электрические знаки, механические повреждения и др.) или произойти электрический удар, который характеризуется общим поражением организма. В зависимости от исхода воздействия тока на организм электрические удары условно делят на четыре степени:

- 1 - судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- 2 - судорожное сокращение мышц с потерей сознания;
- 3 - потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);
- 4 - клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Параметры, определяющие тяжесть поражения электрическим током. Все случаи поражения человека электрическим током являются результатом замыкания электрической цепи через тело или, иначе говоря, результатом прикосновения человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми возникает напряжение (разность потенциалов). Опасность такого прикосновения оценивается значением тока, проходящего через человека (I_h), или же напряжением, под которым оказывается человек, т.е. напряжением прикосновения ($U_{пр}$). Величины I_h и $U_{пр}$ зависят от ряда факторов:

- рода и частоты тока;

- продолжительности воздействия;
- пути протекания тока по организму (путь протекания тока по организму человека называется петлей тока);
- электрического сопротивления тела человека;
- индивидуальных особенностей организма;
- схемы включения человека в цепь;
- напряжения сети;
- режима работы нейтрали;
- климатических условий в помещении.

Сила тока, протекающего через тело человека, является главным фактором, от которого зависит исход поражения: чем больше сила тока, тем опаснее последствия (табл. 1).

Таблица 1

Характер воздействия электрического тока на организм человека [1]

Значение тока, мА	Характер воздействия	
	Переменный ток 50 Гц	Постоянный ток
0,6 - 1,6	Начало ощущения – слабый зуд, пощипывание кожи под электродами (пороговый осязаемый ток)	Не ощущается
2 - 4	Ощущение тока распространяется и на запястье руки, слегка сводит руку	Не ощущается
5 - 7	Болевые ощущения усиливаются во всей кисти руки, сопровождаясь судорогами; слабые боли ощущаются во всей руке, вплоть до предплечья. Руки, как правило, можно оторвать от электродов	Начало ощущения. Впечатление нагрева кожи под электродом
8- 10	Сильные боли и судороги во всей руке, включая предплечье. Руки трудно, но в большинстве случаев еще можно оторвать от электродов	Усиление ощущения нагрева
10 - 15	Едва переносимые боли во всей руке. Во многих случаях руки невозможно оторвать от электродов. С увеличением продолжительности протекания тока боли усиливаются (пороговый не отпускающий ток)	Еще большее усиление ощущения нагрева как под электродами, так и в прилегающих областях кожи
20 - 25	Руки парализуются мгновенно, оторваться от электродов невозможно. Сильные боли, дыхание затруднено	Еще большее усиление ощущения нагрева кожи, возникновение ощущения внутреннего нагрева. Незначительные сокращения мышц рук
25 -50	Очень сильная боль в руках и груди. Дыхание крайне затруднено. При длительном токе может наступить паралич дыхания или ослабление деятельности сердца с потерей сознания	Ощущение сильного нагрева, боли и судороги в руках. При отрыве рук от электродов возникают едва переносимые боли в результате судорожного сокращения мышц

50 - 80	Дыхание парализуется через несколько секунд, нарушается работа сердца. При длительном протекании тока может наступить фибрилляция сердца	Ощущение очень сильного поверхностного и внутреннего нагрева, сильные боли во всей руке и в области груди. Затруднение дыхания. Руки невозможно оторвать от электродов из-за сильных болей при нарушении контакта
100	Фибрилляция сердца через 2 -3 с; еще через несколько секунд – паралич сердца <i>(смертельно опасный ток)</i>	Паралич дыхания при длительном протекании тока
300	То же действие за меньшее время	Фибрилляция сердца через 2 3 с; еще через несколько секунд – паралич дыхания
Более 5000	Мгновенная смерть	Мгновенная смерть

1.2. Классификация помещений по степени возможного поражения людей электрическим током

Состояние окружающей среды (температура, влажность, наличие токопроводящей пыли, химически активной среды и др.) влияет на сопротивление тела человека и сопротивление изоляции, что в конечном итоге определяет характер и последствия поражения электрическим током. Согласно "Правилам устройства электроустановок" (ПУЭ) [2], все производственные помещения по опасности поражения электрическим током разделяются на три категории.

1. *Помещения без повышенной опасности* - сухие, с относительной влажностью воздуха $\leq 60\%$, беспыльные и помещения с изолирующими полами. К ним относятся конторские помещения, помещения ОТК, небольшие лаборатории, складские помещения для хранения твердых полимерных материалов и готовой продукции и др.

2. *Помещения с повышенной опасностью* – помещения, в которых присутствует один из следующих факторов повышенной опасности:

- относительная влажность воздуха длительное время превышает 75%;
- температура воздуха длительное время превышает $+35^{\circ}\text{C}$;
- наличие в воздухе токопроводящей пыли;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и др.);
- возможность одновременного прикосновения человека к заземленным металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Примером помещений с повышенной опасностью могут служить цеха механической обработки, помещения производства суперфосфата, склады для хранения и участки для развески ингредиентов, обладающих

электропроводностью; помещения мельниц, горячие цеха, мастерские с электрифицированными станками и т.д.

3. Особоопасные помещения – помещения, в которых присутствует хотя бы один из факторов особой опасности:

- относительная влажность воздуха близка к 100%;
- наличие химически активной или органической среды, способной разрушать изоляцию и токоведущие части электрооборудования,

а также помещения с двумя или более факторами повышенной опасности.

К ним относятся: участки пропитки полимерных материалов; гальванические цеха; помещения аккумуляторных батарей; печные, насосно-холодильные, промывочные, сушильно-абсорбционные, контактно-компрессорные отделения; котельные; склады кислот; помещения ряда производств химических волокон; помещения приготовления отделочных растворов; водонасосные станции и др.

Территории размещения наружных электроустановок по опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

1.3. Анализ схем включения человека в электрическую цепь

Схемы включения человека в цепь тока могут быть различны. Однако наиболее характерными являются две схемы включения: между двумя фазами и между одной фазой и землей (рис. 1). Во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей. Применительно к наиболее распространённым трёхфазным сетям первую схему принято называть двухфазным прикосновением, а вторую - однофазным.

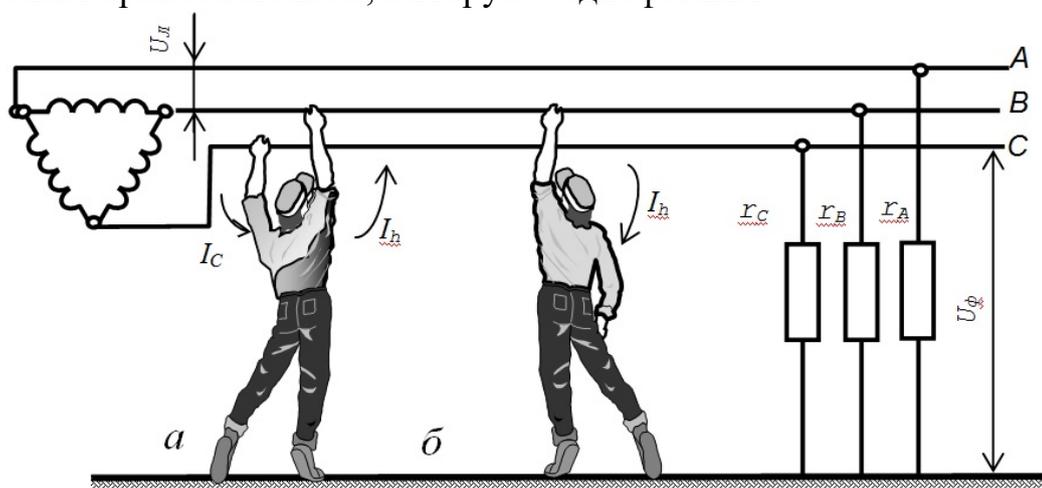


Рис. 1. Варианты включения человека в цепь тока: а – двухфазное прикосновение; б – однофазное прикосновение

Двухфазное прикосновение наиболее опасно, т.к. человек попадает под линейное напряжение, ток идёт по пути «рука – рука» и сопротивление цепи будет включать только сопротивление тела (R_h). При таком включении ток, проходящий через человека (I_h , А) (рис. 1,а), находят по формуле:

$$I_h = U_l / R_h, \quad (1)$$

где $U_{\text{л}}$ - линейное напряжение (напряжение между фазными проводами сети), В (в сетях промышленных токов $U_{\text{л}} = 380$ В);

$R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом (в расчетах принимается равным сопротивлению внутренних органов человека, т.е. 1000 Ом [3]).

Однако такой способ включения человека в электрическую сеть на практике встречается редко, чаще человек подключается к одной фазе сети.

Однофазное прикосновение является, как правило, менее опасным, чем двухфазное, т.к. на величину тока, проходящего через человека (рис. 1, б), влияет много факторов: меньшая величина напряжения, сопротивление обуви и пола, режим нейтрали источника питания и режим работы сети (нормальный или аварийный).

Нейтраль (N) - это точка соединения обмоток трансформатора или генератора. Различают два режима работы нейтрали:

а) глухозаземлённая нейтраль - непосредственно присоединённая к заземляющему устройству;

б) изолированная нейтраль - не присоединённая к заземляющему устройству или присоединённая к нему через аппараты с большим сопротивлением.

В трёхфазной четырёхпроводной сети с глухозаземлённой нейтралью цепь тока, проходящего через человека, включает в себя кроме сопротивления тела человека ($R_{\text{ч}}$) ещё:

- сопротивление обуви ($R_{\text{об}}$). Сопротивление сухой обуви составляет 25...5000 кОм; влажной - 0,2...2 кОм; сырой обуви, или обуви, подбитой металлическими гвоздями $R_{\text{об}} \rightarrow 0$;

- сопротивление пола, на котором стоит человек ($R_{\text{п}}$). Сопротивление сухих полов достигает значения более 2 кОм; для влажных или пропитанных щелочами или кислотами - 4...50 Ом; для сырых или токопроводящих полов $R_{\text{п}} \rightarrow 0$;

- сопротивление заземления нейтрали источника тока (R_0). Согласно [2], $R_0 \leq 10$ Ом.

При этом все эти сопротивления включены последовательно. Ток, проходящий через человека при нормальном режиме работы сети (рис. 2), определяется по формуле:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_0), \quad (2)$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение (напряжение между началом и концом одной обмотки питающей сеть трансформатора (генератора) или между фазным и нулевым проводами сети), В. $U_{\text{ф}} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 220$ В.

Напряжение прикосновения ($U_{\text{пр}}$, В) будет равно:

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{ч}} \cdot R_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} \cdot R_{\text{ч}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_0). \quad (3)$$

При аварийном режиме (рис. 3), когда одна фаза сети замкнута на землю, ток, проходящий через человека, будет равен:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} \cdot (r_{\text{зм}} + R_0 \cdot \sqrt{3}) / [(r_{\text{зм}} \cdot R_0) + (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}}) \cdot (r_{\text{зм}} + R_0)], \quad (4)$$

где $r_{\text{зм}}$ - сопротивление замыкания, Ом.

Напряжение прикосновения:

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \cdot R_h \cdot (r_{\text{зм}} + R_o \cdot \sqrt{3}) / [(r_{\text{зм}} \cdot R_o) + (R_h + R_{o6} + R_{\Pi}) \cdot (r_{\text{зм}} + R_o)]. \quad (5)$$

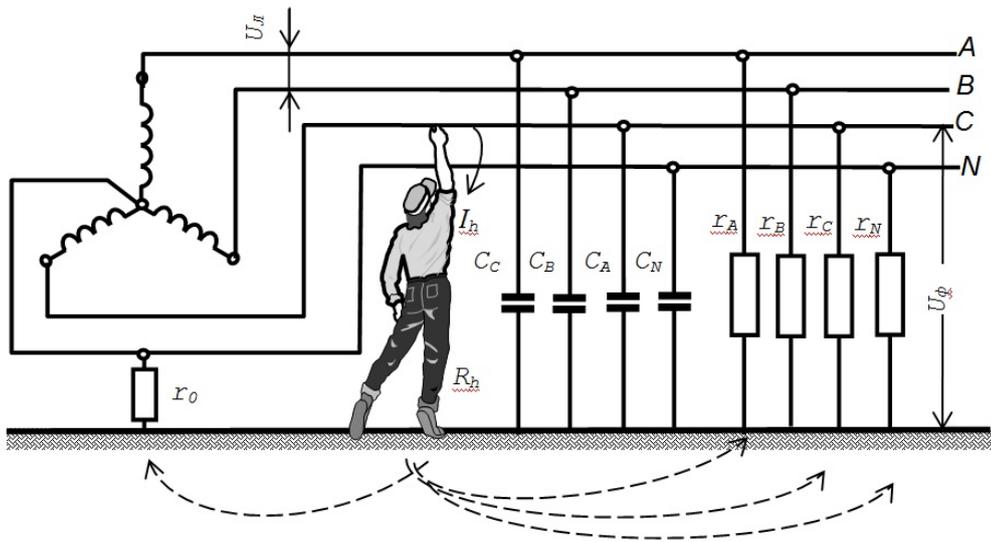


Рис. 2. Схема однофазного включения человека в трехфазную четырехпроводную сеть с глухозаземленной нейтралью в нормальном режиме работы сети

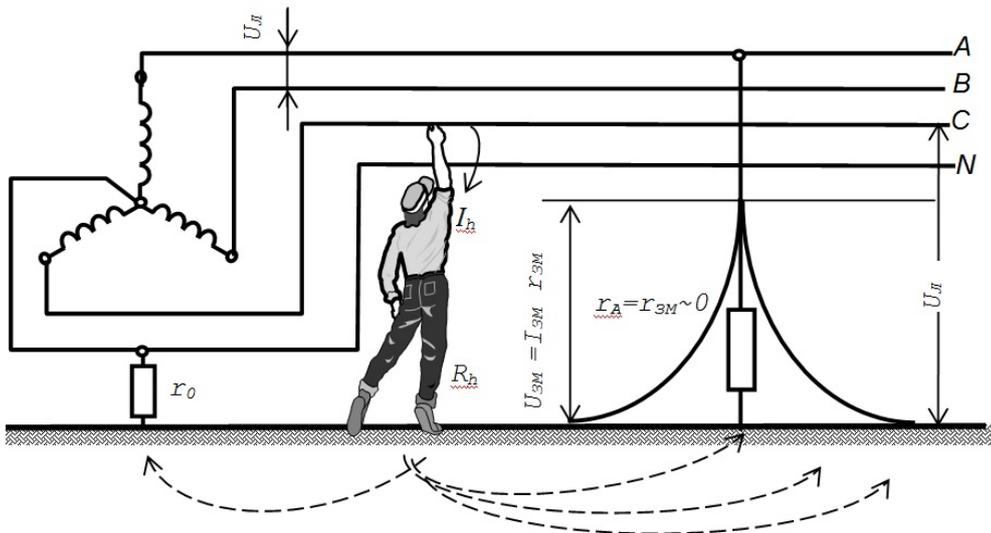


Рис. 3. Схема однофазного включения человека в трехфазную четырехпроводную сеть с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме работы сети

В трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью ток, проходящий через человека в землю, возвращается к источнику тока через сопротивление изоляции проводов сети ($R_{\text{из}}$), которое в исправном состоянии обладает большой величиной. Согласно [2], $R_{\text{из}} \geq 0,5 \text{ МОм}$ для $U_{\text{раб}} < 1000 \text{ В}$ или $R_{\text{из}} \geq 10 \text{ МОм}$ для $U_{\text{раб}} > 1000 \text{ В}$. Для этого случая ток, проходящий через человека при нормальном режиме работы сети (рис. 4), определяется как:

$$I_h = U_{\phi} / (R_h + R_{o6} + R_{\Pi} + R_{\text{из}}/3), \quad (6)$$

где $R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции фаз относительно земли, Ом.

В случае же аварии (рис. 5), когда сопротивление одной из фаз относительно земли близко к нулю, ток, проходящий через человека, будет равен:

$$I_h = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} / (R_h + R_{об} + R_{п} + r_{зм}), \quad (7)$$

а напряжение прикосновения:

$$U_{пр} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot R_h / (R_h + R_{об} + R_{п} + r_{зм}). \quad (8)$$

Формулы 2 – 8 приведены без учета емкостей фаз относительно земли.

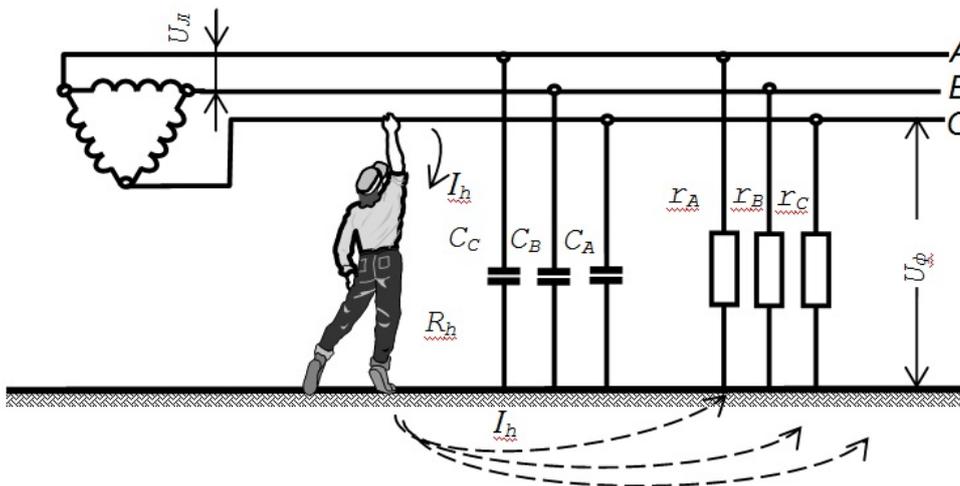


Рис. 4. Схема однофазного включения человека в трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью в нормальном режиме работы сети

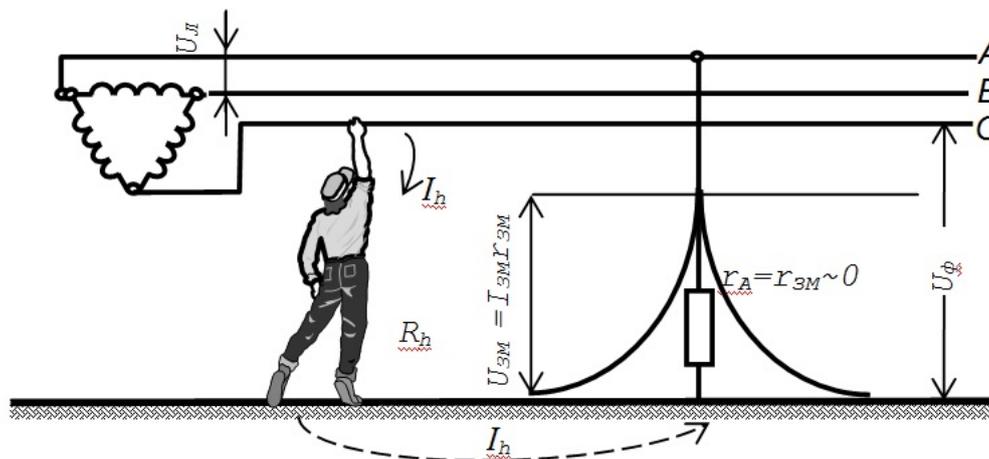


Рис. 5. Схема однофазного включения человека в трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью в аварийном режиме работы сети

Выбор схемы сети, а также режима ее нейтрали производится по технологическим требованиям, а также по условиям безопасности.

По технологическим требованиям предпочтение отдается четырехпроводной сети с заземленной нейтралью, т.к. она позволяет использовать два рабочих напряжения – линейное и фазное. Так, например, от четырехпроводной сети (380/220) можно питать как силовую нагрузку, включая

ее между фазными проводами на линейное напряжение 380 В, так и осветительную, включая ее между фазным и нулевым проводами, т.е. на фазное напряжение 220 В. При этом достигается удешевление электроустановки.

По условиям безопасности выбор одной из двух схем сетей производится с учетом следующих положений:

- в период нормального режима работы сети, по условиям прикосновения к фазному проводу, - более безопасной является, как правило, сеть с изолированной нейтралью;
- в аварийный период, когда одна из фаз замкнута на землю, более безопасной является сеть с заземленной нейтралью. Сеть с изолированной нейтралью оказывается более опасной вследствие того, что в данном случае напряжение неповрежденной фазы относительно земли может возрасти с фазного до линейного. А в сети с заземленной нейтралью повышение напряжения может быть незначительным.

Поэтому сети с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень изоляции проводов и когда емкость сети относительно земли незначительна. Такими являются непротяженные, малоразветвленные сети, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным контролем квалифицированного персонала. Примером могут служить сети небольших предприятий, электротехнических лабораторий и т.п.

Сети с заземленной нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов из-за высокой влажности воздуха и (или) наличия агрессивной среды, когда нельзя быстро отыскать или устранить повреждение изоляции, либо, когда емкостные токи сети вследствие ее значительной разветвленности достигают больших значений, опасных для человека. Примером таких сетей могут служить сети крупных промышленных предприятий, городские и сельские сети.

1.4. Замыкание электрической цепи на землю (рабочую площадку)

Замыкание провода на землю сопровождается растеканием тока в грунте (на поверхности рабочей площадки) (рис. 6,а), в результате чего на поверхности появляется градиент потенциала, что, в свою очередь, приводит к возникновению нового вида опасностей - возможности поражения человека электрическим током из-за попадания под напряжение шага ($U_{ш}$) или под напряжение прикосновения ($U_{пр}$). Зона, в пределах которой существует градиент потенциала на поверхности земли, носит название зоны растекания тока. Обычно радиус зоны растекания не превышает 20 м. Далее располагается зона нулевого потенциала.

Напряжение шага ($U_{ш}$) - это разность потенциалов между двумя точками на поверхности земли (рабочей площадки) на расстоянии шага (рис. 6,б).

Ток, проходящий через тело человека, обусловленный напряжением шага, равен:

$$I_h = U_{ш} / (R_h + R_{об}). \quad (9)$$

$$U_{ш} = I_3 \cdot \rho_{гр.} \cdot a / [2 \cdot \pi \cdot x \cdot (x+a)], \quad (10)$$

где I_3 – ток замыкания в точке касания провода с землей, А.

$$I_3 = U_{ф} / (r_{зм} + R_{р.т}), \quad (11)$$

где $R_{р.т}$ – сопротивление грунта растеканию тока, Ом;

$\rho_{гр}$ - удельное сопротивление грунта, Ом · м (табл. 2);

a – расстояние шага ($a = 0,8$ м);

x – расстояние от точки замыкания до ноги человека, м;

$R_{об}$ – сопротивление обуви, Ом.

Наибольший электрический потенциал будет в месте соприкосновения проводника с землёй. По мере удаления от этого места потенциал поверхности грунта (рабочей площадки) уменьшается и на расстоянии, примерно равном 20 м, может быть принят равным нулю.

Таблица 2

Удельное сопротивление грунта при влажности 10 – 20 % [4]

Вид грунта	Песок	Супесок	Чернозём	Суглинок	Глина	Торф
$\rho_{гр.},$ Ом·м	700	300	200	100	40	20

Напряжение прикосновения ($U_{пр}$) - разность потенциалов между двумя точками, которых одновременно касается человек. В случае замыкания на землю (рабочую площадку) $U_{пр}$ – это разность между потенциалом на корпусе электроустановки, которой касается человек (φ_3), и потенциалом поверхности в точке, где находится человек (φ_a) (рис. 6, б):

$$U_{пр} = \varphi_3 - \varphi_a; \quad (12)$$

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3, \quad (13)$$

где I_3 - ток замыкания, А;

R_3 – сопротивление заземлителя (заземляющего устройства), Ом (табл. 3).

$$\varphi_a = I_3 \cdot \rho_{гр} / (2 \cdot \pi \cdot x), \quad (14)$$

где x – расстояние между точкой замыкания и местом нахождения человека, м;

$\rho_{гр}$ - удельное сопротивление грунта, Ом·м (табл. 2)

Ток, протекающий через человека при прикосновении, равен:

$$I_h = U_{пр} / (R_h + R_{об} + R_{п}), \quad (15)$$

где $R_{об}$. – сопротивление обуви, Ом;

$R_{п}$. – сопротивление поверхности, Ом.

Если человек стоит рядом с точкой стекания тока в землю, потенциал земли практически равен потенциалу на корпусе электрооборудования. В данном случае напряжение прикосновения равно нулю. По мере удаления от точки стекания тока степень поражения человека током будет возрастать, т.к. будет возрастать напряжение прикосновения из-за того, что потенциал

поверхности земли будет убывать, а потенциал на корпусе электроустановки остается постоянным. На расстоянии 20 м и более напряжение прикосновения будет максимальным и численно равно потенциалу заземлителя.

Таблица 3

Формулы для расчёта сопротивления одиночных заземлителей, Ом [4].

Тип заземлителя	Формула
Трубчатый или стержневой в грунте	$R_3 = (\rho_{гр}/2\pi L) \cdot \{ \ln(2L/d) + 1/2 \ln[(4T+L)/(4T-L)] \},$ $d = 0,03 \div 0,05\text{ м}$ – диаметр трубы или стержня, $L = 2\text{ м}$ – длина заземлителя, $T = 1,8\text{ м}$ – заглубление электрода (расстояние от поверхности земли до середины заземлителя)
Протяженный (труба в грунте)	$R_3 = (\rho_{гр}/2\pi L) \ln(L^2/d \cdot T)$ $d = 0,03 \div 0,05\text{ м}, L = 2\text{ м}, T = 0,8\text{ м}$

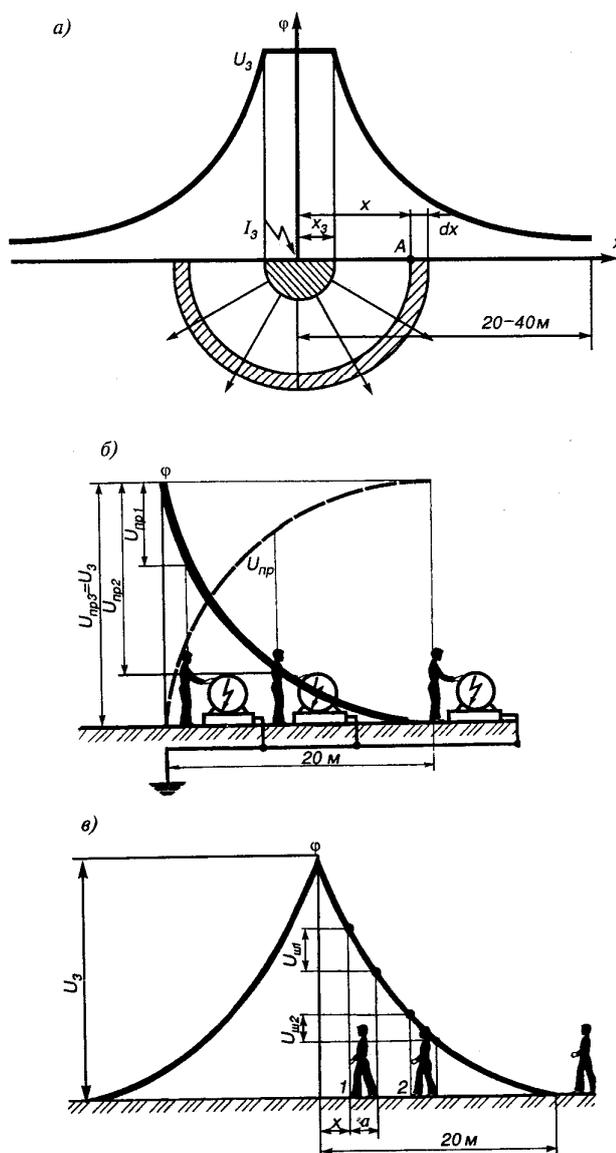


Рис. 6. Растекание тока в грунте (а), напряжение прикосновения (б) и напряжение шага (в)

1.5. Обеспечение электробезопасности

Для предупреждения электротравматизма предусматривают защитные мероприятия двух видов [5]:

- 1) от токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением при нормальном (не аварийном) режиме работы электрооборудования;
- 2) нетоковедущих частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением при аварийном режиме работы электрооборудования.

К мероприятиям первого вида относятся:

- изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, двойная, усиленная) является основным методом защиты. При $U_{\text{раб}} < 10^3 \text{В}$ сопротивление изоляции $R_{\text{из}} \geq 0,5 \text{ МОм}$; если $U_{\text{раб}} \geq 10^3 \text{В}$, $R_{\text{из}} \geq 10 \text{ МОм}$;
- применение малых напряжений. Согласно [6] безопасным является переменное напряжение менее 42В и постоянное напряжение величиной менее 110В. В особоопасных помещениях $U_{\text{без}} \leq 12 \text{В}$ для $f=50 \text{ Гц}$;
- укрытие токоведущих частей в сочетании с блокировкой;
- расположение токоведущих частей (проводов) на недоступной для соприкосновения высоте;
- использование специального инструмента;
- организационные мероприятия (вывешивание плакатов, инструктаж, допуск к выполнению работ и т.п.).

К мероприятиям второго вида относятся: защитное заземление оборудования, зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов.

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей установок, которые могут оказаться под напряжением при нарушении нормальной работы электроустановки [7]. Его назначение - превращение «замыкания на корпус» в «замыкание на землю» с тем, чтобы уменьшить $U_{\text{пр}}$ и $U_{\text{ш}}$ до безопасных величин.

Заземление состоит из зарытых в землю металлических электродов, называемых заземлителями, и проводников, соединяющих их с заземляемыми частями установок. Совокупность заземлителей и заземляющих проводников называется заземляющим устройством. Схема заземляющего устройства представлена на рис. 7.

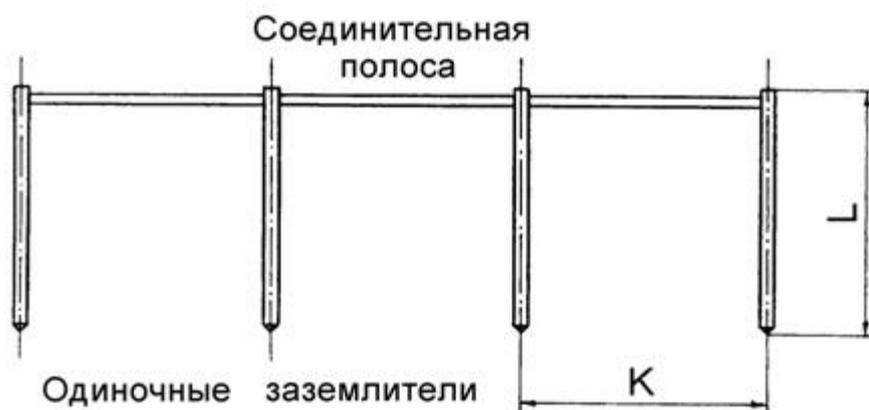


Рис. 7. Схема заземляющего устройства:

L - длина одиночного заземлителя;

K - расстояние между соседними (смежными) заземлителями.

Заземление бывает выносное или сосредоточенное (заземляющее устройство находится за пределами площадки, на которой расположено оборудование) и контурное (одиночные заземлители размещены по контуру (периметру) площадки, на которой находится электрооборудование, или распределены на всей площадке равномерно). При контурном заземлении достигается максимальная безопасность работающих.

Защитное заземление применяется в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью (рис. 8) и в сетях напряжением выше 1000 В как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

При использовании в электроустановках в качестве защитной меры защитного заземления величина тока, протекающего через человека, в случае его касания корпуса электрооборудования, одна из фаз которого пробита на корпус, будет определяться выражением:

для сети с глухозаземлённой нейтралью:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / \{ [(R_{\text{ч}} + R_{\text{п}} + R_{\text{об}}) / r_3] \cdot (R_0 + r_3) \}, \quad (16)$$

где r_3 – сопротивление заземляющего устройства (в соответствии с [7] r_3 не должно превышать 2-4 Ом при $U_{\text{раб}} \leq 1000$ В);

R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника тока, Ом.

Для сети с изолированной нейтралью:

$$I_{\text{ч}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}} / \{ [(R_{\text{ч}} + R_{\text{п}} + R_{\text{об}}) \cdot R_{\text{из}}] / r_3 \}, \quad (17)$$

где $R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции фаз относительно земли, Ом.

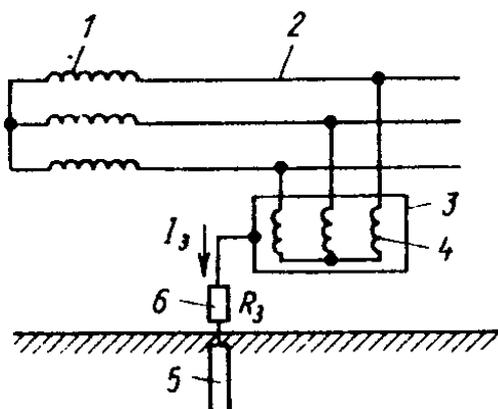


Рис. 8. Схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью: 1- трансформатор; 2- сеть; 3- корпус токоприёмника; 4- обмотка электродвигателя; 5- заземлитель; 6- сопротивление заземления нейтрали (условно)

Защитное зануление – осуществляется присоединением корпуса или других конструктивных нетоковедущих частей электроустановок к многократно заземленному нулевому проводу [7]. Защитное зануление превращает пробой на корпус в короткое замыкание между фазным и нулевым проводами и способствует протеканию тока большой величины через устройства защиты сети и в конечном итоге быстрому отключению поврежденного оборудования от сети. ПУЭ [2] регламентируют время автоматического отключения повреждённой линии. Для номинального фазного напряжения сети 380/220 В оно не должно превышать 0,4 с. Защитное зануление применяют в трехфазных четырехпроводных сетях с глухозаземленной нейтралью с напряжением до 1000 В. Схема защитного зануления представлена на рис. 9.

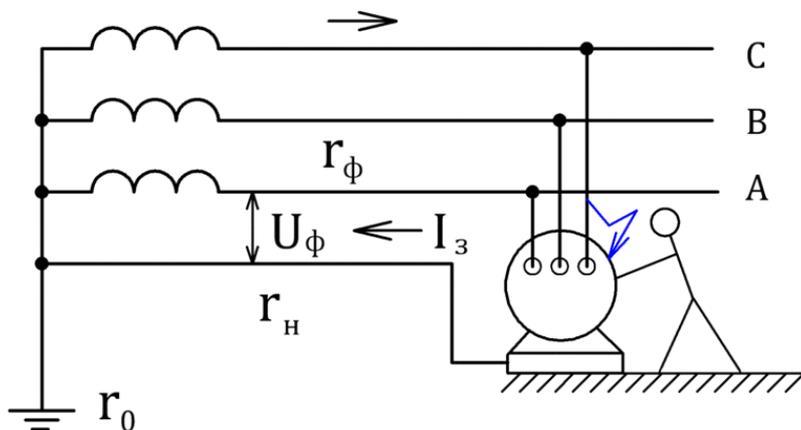


Рис. 9. Схема защитного зануления

Защитное отключение – это быстродействующее ($\leq 0,2с$) автоматическое отключение электроустановки при пробое фазы на корпус, снижающее сопротивление изоляции фаз относительно земли, при появлении в сети более высокого напряжения и возникновении опасности поражения электрическим током [8].

Защитное отключение может служить дополнением к системам заземления и зануления, а также в качестве единственной и основной меры защиты. Его, в частности, применяют в передвижных электроустановках с изолированной нейтралью, в условиях повышенной опасности поражения электрическим током и взрывоопасности и др.

Выравнивание потенциалов – это метод снижения напряжения прикосновения и напряжения шага между точками электрической цепи, к которым человек может одновременно прикоснуться или на которых он может одновременно стоять. Для выравнивания потенциалов в землю укладывают стальные полосы в виде сетки по всей площадке, занятой оборудованием. Для выравнивания потенциала во всех помещениях и наружных установках строительные металлические конструкции, трубопроводы и корпуса технологического оборудования должны быть присоединены к сети заземления или зануления. Фактор выравнивания потенциала имеет большое значение для обеспечения безопасности и является эффективной защитной мерой. При выравнивании потенциала человек, находящийся в цепи замыкания, оказывается под сравнительно малым напряжением, однако как самостоятельную меру защиты его не применяют.

Средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током делятся на основные и дополнительные. Основные электрозащитные средства (ЭЗС) – это средства защиты, изоляция которых длительное время выдерживает рабочее напряжение электроустановок, что позволяет с помощью их прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Для работы на электроустановках с рабочим напряжением до 1000 В к ним относятся: диэлектрические перчатки, изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, указатели напряжения. При напряжении электроустановки свыше 1000 В основные средства включают изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения.

Дополнительные ЭЗС – это средства защиты, изоляция которых не может длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок. Они применяются для защиты от напряжения прикосновения и шага, а при работе под напряжением должны использоваться исключительно с основными ЭЗС. К ним относятся: при напряжении до 1000 В – диэлектрические галоши, коврики, изолирующие подставки; свыше 1000 В – диэлектрические перчатки, боты, коврики, изолирующие подставки.

Оградительные устройства - класс средств защиты, препятствующих попаданию человека в опасную зону. Они призваны исключить случайное прикосновение человека к токоведущим частям электроустановок, которые не имеют конструктивного укрытия и доступны прикосновению. К ним относятся временные переносные ограждения: щиты, клетки, изолирующие накладки, изолирующие колпаки.

Предупредительная сигнализация, знаки безопасности, плакаты. Для профилактики электротравматизма применяют знаки безопасности и предупредительные плакаты. Это одно из действенных средств не только предотвращения случайных прикосновений к токоведущим частям, находящимся под напряжением, но и ошибочных действий персонала. Их основное назначение заключается в предупреждении об опасности в случае приближения работающего к частям, находящимся под напряжением, запрещении манипулирования аппаратами, которые могут подать напряжение на рабочее место. Знаки и плакаты разделены на четыре группы: предупреждающие, запрещающие, предписывающие и указательные.

Предупредительную сигнализацию используют в сочетании с другими мерами защиты. Она может быть световой или звуковой. Предупредительная сигнализация привлекает внимание работающего и предупреждает о грозящей или возникающей опасности.

1.6. Первая помощь при электропоражениях

В случае попадания человека под действие электрического тока необходимо незамедлительно вызвать бригаду скорой помощи, освободить пострадавшего от действия тока и оказать ему первую доврачебную медицинскую помощь.

Освобождение пострадавшего от действия тока осуществляется:

1. Путем быстрого отключения части электроустановки, которой касается человек с помощью ближайшего рубильника, выключателя или иного отключающего аппарата или путем перерубания провода. Перерубить провод можно лишь в установках до 1000 В, воспользовавшись топором с сухой деревянной рукояткой или кусачками с изолированными рукоятками. Перерубать следует каждый провод в отдельности, чтобы не вызвать короткого замыкания между проводами.

2. Отделением пострадавшего от токоведущих частей:

- в установках до 1000 В пострадавшего можно оттянуть от токоведущих частей, взявшись за его одежду, если она сухая и отстает от его тела, при этом нельзя касаться тела человека и его обуви (при необходимости прикоснуться к телу пострадавшего надо надеть на руки диэлектрические перчатки или обмотать их сухой тканью; чтобы изолировать себя от земли или токопроводящего пола, необходимо надеть диэлектрические галоши либо встать на сухую доску или какую-нибудь другую, не проводящую электрический ток подстилку); пользуясь сухой деревянной палкой, доской или

другим, не проводящим электрический ток предметом, можно отбросить провод, которого касается пострадавший;

- в установках выше 1000 В для отделения пострадавшего от токоведущих частей необходимо надеть диэлектрические перчатки и боты и действовать штангой или изолирующими клещами, рассчитанными на напряжение данной электроустановки.

Меры первой доврачебной медицинской помощи пострадавшему от действия электрического тока зависят от его состояния и включают в себя: непрерывное наблюдение за его дыханием и пульсом (пострадавшего необходимо удобно уложить на подстилку, расстегнуть одежду и пояс, чтобы они не затрудняли его дыхания, обеспечить приток свежего воздуха); при необходимости – подносить к носу вату, смоченную в нашатырном спирте, обрызгивать лицо холодной водой, растирать и согревать тело, выполнять искусственное дыхание и массаж сердца.

2. ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

Работа №1. Анализ электробезопасности трехфазных электрических сетей напряжением до 1000 В при нормальном режиме работы сети

Цель работы

Оценить опасность однофазного прикосновения человека к фазному проводу двух типов электрических сетей напряжением до 1000 В. Определить влияние различных факторов на степень поражения человека электрическим током при нормальном режиме работы сетей.

Задание

1. Сравнить опасность прямого однофазного прикосновения человека к фазному проводу трехпроводной сети с изолированной нейтралью и четырехпроводной сети с заземленной нейтралью.

2. Определить зависимость тока, проходящего через тело человека (I_h) при прямом прикосновении к фазному проводу :

- от сопротивления тела человека (R_h);

- сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли ($R_{из.}$).

3. Рассчитать значение сопротивления изоляции проводов ($Z1, Z2$) по измеренным значениям тока, проходящего через тело человека (I_h), для трехпроводной сети с изолированной нейтралью (формула 6). В расчетах принять, что человек стоит в сырой обуви на металлическом полу ($R_h = 1\text{кОм}$). Сравнить полученное значение с нормативной величиной $R_{из}$ [2].

4. Рассчитать токи через человека с нормативным значением сопротивления изоляции фаз относительно земли (формула 6) и сравнить их с измеренными значениями I_h .

5. Сделать развернутые выводы относительно влияния: режима работы нейтрали, сопротивления тела человека, сопротивления изоляции фаз на

степень опасности поражения человека электрическим током при однофазном включении в электрическую сеть.

Порядок выполнения работы

1. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

А. Контроль фазного напряжения в сети.

1. Перевести переключатели S1 и S6 в верхнее положение.
2. Включить стенд переключателем «СЕТЬ» (положение – I).
3. Измерить фазное напряжение в сети (U_{ϕ}) вольтметром путем соединения с помощью гибкого проводника точек X1 и X2. Полученное значение занести в табл. 4.

Б. Контроль величины тока через человека при однофазном прикосновении к электрической сети.

4. Изолировать нейтраль – перевести переключатель S1 в нижнее положение.
5. Отключить рабочую нейтраль N и защитный PEN-провод - перевести переключатель S6 в нижнее положение.
6. Установить минимальное значение сопротивления тела человека ($R_h = 1 \text{ кОм}$); при этом ручка регулятора резистора R_h должна находиться в крайнем левом положении.
7. Установить переключатель S2, задающий сопротивление изоляции фазных проводов относительно земли, в верхнее положение «Z1».
8. Для имитации прикосновения человека к фазному проводу «В» установить переключатель S3 в верхнее положение «В».
9. Измерить миллиамперметром величину тока в цепи с телом человека (I_h), выбрав необходимый предел измерения.
10. Повторить измерение тока в цепи с телом человека (I_h) для другого значения сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли (переключатель S2 перевести в положение «Z2»).
11. Увеличить общее сопротивление тела человека за счет его сухой обуви. Для этого перевести ручку регулятора резистора R_h в крайнее правое положение, соответствующее суммарному сопротивлению $R_{(h+обуви)} = R'_h = 100 \text{ кОм}$.
12. Провести измерения величины тока через тело человека в соответствии с п. 3, 6, 7.
13. Все измеренные значения токов через тело человека (I_h) занести в табл. 4.

11. Трехфазная четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью

14. Заземлить нейтраль – перевести переключатель S1 в верхнее положение.
15. Измерить значение тока в цепи с телом человека (I_h) для разных значений сопротивлений:

а) $R_h = 1 \text{ кОм}$ (человек стоит в сырой обуви на токопроводящем полу);
 б) $R'_h = 100 \text{ кОм}$ (человек стоит в сухой обуви на токонепроводящем полу)
 и сопротивления изоляции фаз относительно земли ($R_{из} = \langle Z1 \rangle$; $R_{из} = \langle Z2 \rangle$),
 повторив при этом выполнение пунктов 5 – 12.

16. Все измеренные значения токов через тело человека (I_h) занести в табл. 4

17. Выключить стенд, переведя положение переключателя «СЕТЬ» - 0.

18. Выполнить расчеты в соответствии с заданием (размерности всех величин подставлять в соответствии с системой измерений – СИ) и провести анализ степени опасности однофазного включения человека в электрическую цепь в зависимости :

- от режима работы нейтрали;
- сопротивления человека (R_h, R'_h);
- сопротивления изоляции фазных проводов сети относительно земли ($R_{из} = \langle Z1 \rangle$; $R_{из} = \langle Z2 \rangle$).

Таблица 4

Режим нейтрали	$U_{ф.}, \text{ В}$	Положение переключ. S2	Положение ручки регулятора резистора $R_h (R'_h)$	$I_h, \text{ mA}$	Реакция человека	Расчетное значение $R_{из}, \text{ Ом}$ при $R_h = 1 \text{ кОм}$
Изолированная нейтраль		Z1	1 кОм			*
			(100 кОм)			
		Z2	1 кОм			*
			(100 кОм)			
Глухозаземленная нейтраль		Z1	1 кОм			
			(100 кОм)			
		Z2	1 кОм			
			(100 кОм)			

*примечание: при расчете величины $R_{из}$ принять, что человек стоит в сырой обуви на металлическом полу ($R_h = 1 \text{ кОм}$).

Работа № 2. Оценка эффективности действия защитного заземления

Цель работы

Оценить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

Задание

1. Оценить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью с рабочим напряжением сети до 1000 В в зависимости от величины сопротивления заземляющего устройства.

2. Определить зависимость изменения напряжения шага при изменении расстояния от человека до заземлителя и при изменении величины сопротивления защитного заземления.

Порядок выполнения работы

1. Заземлить нейтраль источника питания (переключатель S1 в верхнем положении).

2. Подключить N и PEN – проводники к источнику питания (S6 и S7 в верхнем положении).

3. Заземлить корпус 2 (переключатель S12 в верхнем положении).

4. Установить значение сопротивления заземляющего устройства (R_3) по заданию преподавателя ($R_3 = 4; 10; 100 \text{ Ом}$).

5. Убедиться, что переключатели S11 и S13 находятся в нижнем положении.

6. Включить стенд (положение переключателя «СЕТЬ» - I).

7. Включить автомат S8 (положение - I).

8. Установить переключатель амперметра в положение АЗ.

9. Кнопкой S10 замкнуть фазный провод В на корпус 2.

10. Вольтметром с помощью гибкого проводника измерить шаговое напряжение ($U_{\text{ш}}$) при различных расстояниях от человека до заземлителя (гнезда X1 - X5; X1 - X6; X1 - X7)*.

** Гнездо X5 соответствует расстоянию 0,3 м от заземлителя; X6 – расстоянию 7 м; X7 – расстоянию 20 м.*

При измерениях с помощью цифровых приборов могут наблюдаться изменения значения последних цифр – в протокол следует заносить среднее значение из 5 измерений.

11. Измерить ток замыкания на землю (I_3).**

*** При переходе с одного предела измерения амперметра на другой необходимо дождаться установившегося показания прибора. Это время может составлять 1 мин.*

12. Результаты измерений занести в табл. 5.

13. Выключить стенд.

14. Рассчитать величины токов через человека, находящегося в зоне растекания электрического тока непосредственно около заземлителя ($L = 0,3 \text{ м}$), а также на различных расстояниях ($L = 7 \text{ м}$ и $L = 20 \text{ м}$) от точки заземления по закону Ома ($I = U / R$). В расчетах принять:

а) человек стоит в зоне растекания тока в токопроводящей обуви: $R_h = 10^3 \text{ Ом}$;

б) человек стоит в зоне растекания тока в сухой обуви: $R_{(h+обуви)} = R'_h = 10^5 \text{ Ом}$.

15. По формуле 10 рассчитать величину удельного сопротивления грунта для напряжения шага при $L = 0,3 \text{ м}$ и определить его тип (табл. 2)

16. Расчетные данные занести в табл. 5.

Таблица 5

L, м	R ₃ , Ом	I _з , А	U _ш , В	I _h , мА <i>R_h = 10³ Ом</i>	I _h , мА <i>R'_h = 10⁵ Ом</i>	ρ, Ом·м	Тип грунта
0,3	По заданию преподавателя						
7							
20							

17. После проведения экспериментальных измерений и выполненных, в соответствии с заданием, расчетов:

- а) построить графики, характеризующие изменения величин напряжения шага и токов через человека, в зависимости от расстояния между точкой замыкания на землю и точкой, где стоит человек; оценить последствия для человека;
- б) оценить последствия попадания человека под напряжение шага при различных значениях сопротивления заземляющего устройства.

Работа №3. Определение величины напряжения прикосновения при замыкании тока на землю в трехфазных пятипроводных сетях с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В

Цель работы

Оценить степень поражения человека электрическим током при его попадании под напряжение прикосновения.

Задание

Определить зависимость изменения напряжения прикосновения и, соответственно, тока через человека при изменении расстояния между точкой касания человека с неисправным оборудованием и местом его нахождения в зоне растекания электрического тока при разных величинах сопротивления заземляющего устройства.

Порядок выполнения работы

1. Заземлить нейтраль источника питания (переключатель S1 в верхнем положении).
2. Подключить N и PEN – проводники к источнику питания (S6 и S7 в верхнем положении).
3. Заземлить корпус 2 (переключатель S12 в верхнем положении).
4. Установить значение сопротивления заземляющего устройства (R₃) по заданию преподавателя (R₃ = 4; 10; 100 Ом).
5. Убедиться, что переключатели S11 и S13 находятся в нижнем положении.
6. Включить стенд (положение переключателя «СЕТЬ» - I).
7. Включить автомат S8 (положение - I).
8. Установить переключатель амперметра в положение А3.
9. Кнопкой S10 замкнуть фазный провод В на корпус 2.

10. Вольтметром с помощью гибкого проводника измерить электрические потенциалы на электроустановке (φ_1) и в точках, находящихся на поверхности рабочей площадки в зоне растекания электрического тока на различных расстояниях от заземлителя φ_L (φ_5, φ_6 и φ_7).

** потенциалу на электроустановке (φ_1) соответствуют гнезда X1-X4 на стенде; потенциалу на расстоянии 0,3 м от заземлителя (φ_5) – гнезда X1- X5; расстоянию 7 м (φ_6)- гнезда X1- X6 ; расстоянию 20 м (φ_7)- гнезда X1- X7.*

При измерениях с помощью цифровых приборов могут наблюдаться изменения значения последних цифр – в протокол следует заносить среднее значение из 5 измерений.

11. Результаты измерений занести в табл. 6.

12. Выключить стенд.

13. Рассчитать значения напряжений прикосновения ($U_{пр.}$) по формуле 12.

14. Рассчитать величины токов через человека в соответствии с законом Ома ($I = U/ R$), находящегося в зоне растекания электрического тока:

- непосредственно около заземлителя ($L = 0,3$ м);

- на различных расстояниях ($L = 7$ м и $L = 20$ м) от точки заземления. В расчетах принять:

а) человек стоит в зоне растекания тока в сырой обуви на токопроводящем полу: $R_h = 10^3$ Ом;

б) человек стоит в зоне растекания тока в сухой обуви на токонепроводящем полу: $R_{(h+обуви)} = R'_h = 10^5$ Ом.

15. Расчетные данные занести в табл. 6.

Таблица 6

L, м	R _з , Ом	φ_1 , В	φ_L , В	U _{пр.} , В	Сухая обувь		Сырая обувь	
					I _h , mA	реакция	I _h , mA	реакция
0,3	По заданию преподавателя							
7								
L, м								

16. После проведения экспериментальных измерений и выполненных, в соответствии с заданием, расчетов:

а) построить графики зависимости: $U_{пр.} = f(L)$ и $I_h = f(L)$;

б) оценить последствия попадания человека под напряжение прикосновения для каждого случая и сделать соответствующие выводы.

Работа №4. Оценка состояния работоспособности электродвигателей

Цель работы

Оценить исправность двухфазного (трехфазного) электродвигателя.

Задание

1. Установить расположение фаз электродвигателя.

2. Измерить величину сопротивления изоляции каждой обмотки относительно корпуса электродвигателя и других обмоток. Сравнить измеренные значения с нормативными величинами сопротивления изоляции, в

соответствии с ПУЭ, для двигателей, питающихся в сети с рабочим напряжением до 1000 В.

Порядок выполнения работы

1. Нарисовать схему верхней панели двухфазного (трехфазного) электродвигателя и обозначить на ней:

- вывод соединения с корпусом буквой «К»;
- выходы обмоток – цифрами (в 2-х фазном двигателе четыре выхода, в 3-х фазном – шесть).

2. Включить измерительный прибор, контролирующий напряжение в сети и сопротивление, и нажать кнопку для измерения сопротивления ($k\Omega$).

3. Измерить величины сопротивлений между всеми возможными вариантами выводов обмоток на панель электродвигателя. Результаты измерений занести в табл. 7.

Таблица 7

Вид соединения «обмотка-обмотка»	R, кОм	Соответствие ПУЭ, при $U_{\text{раб.}} \leq 1000\text{В}$ (наличие фазы)	Вид соединения «обмотка-корпус»	R, кОм	Соответствие ПУЭ, при $U_{\text{раб.}} \leq 1000\text{В}$ (наличие фазы)
Двухфазный электродвигатель					
1-2			1-«К»		
1-3			2-«К»		
1-4					
2-3					
2-4					
3-4					
Трехфазный электродвигатель					
1-2			1-«К»		
2-3			2-«К»		
3-6			3-«К»		
6-5					
5-4					
4-1					
1-5					
2-4					
2-6					
3-5					
2-5					
1-6					
3-4					

4. Проанализировать все полученные результаты измерений и найти по их значениям начало и концы обмоток, а также их состояние. Предположительно обмотки в двигателях располагаются «крест-накрест». Если сопротивление между началом и концом обмотки маленькое, это говорит о том, что обмотка двигателя исправна, а при большом сопротивлении - она разорвана.

5. Определить наличие или отсутствие замыкания обмоток на корпус электродвигателя. Для этого одну клемму измерительного прибора присоединить к корпусу электродвигателя, а другую к обмотке. Если прибор покажет величину сопротивления $\geq 0,5$ МОм, то замыкания или пробоя обмотки на корпус электродвигателя нет. В противном случае – обмотка закорочена на корпус.

6. По результатам измерений сопротивления сделать заключение об исправности электродвигателя.

Работа №5. Определение степени опасности однофазного включения человека в электрическую сеть с изолированной нейтралью при аварийном режиме работы сети

Цель работы

Изучить влияние режима работы сети с изолированной нейтралью, а также сопротивления тела человека на степень поражения работающего электрическим током при однофазном включении в электрическую сеть.

Задание

1. Определить режим работы трехпроводной сети с изолированной нейтралью.

2. Оценить влияние величины сопротивления обуви и пола на степень поражения человека электрическим током при его однофазном включении в сеть с изолированной нейтралью при установленном режиме работы сети.

3. Определить и обосновать класс помещения лаборатории БЖД (к. В-704) по степени возможного поражения людей электрическим током.

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать величину силы тока через тело человека при однофазном включении работающего в электрическую сеть с изолированной нейтралью при нормальном и аварийном режиме работы сети (формулы 6, 7). Оценить степень опасности однофазного включения человека в данную электрическую сеть.

В расчетах принять:

- а) человек стоит в сырой обуви на металлическом полу;
- б) человек стоит в сухой обуви на токонепроводящем полу;
- в) человек стоит в сырой обуви на изолирующем полу;
- г) человек стоит в сухой обуви на сыром полу.

Сопротивление тела человека ($R_{ч}$), изоляции фаз ($R_{из}$), пола ($R_{п}$) и обуви ($R_{об.}$) смотри в теоретическом введении к разделу «Электробезопасность».

2. Подключить стенд к сети и включить тумблеры на передней панели установки. Записать показания миллиамперметра (мА), т.е. величины тока, проходящего через человека при однофазном включении его в электрическую сеть с изолированной нейтралью. Указать реакцию человека на измеренную величину силы тока.

3. Сравнить измеренную величину силы тока с рассчитанными значениями (п.1) и сделать вывод об исправности изоляции фаз.

4. По измеренному значению силы тока рассчитать величину суммарного сопротивления: сопротивление тела человека + сопротивление обуви + сопротивление пола. Указать, какой из предложенных выше вариантов (п.1) был реализован на стенде.

Работа №6. Измерение сопротивления заземляющего устройства и его расчет

Цель работы

Измерить и рассчитать сопротивление заземляющего устройства и определить его соответствие нормам по ПУЭ [2].

Задание

1. Определить на стенде сопротивление системы заземления.
2. Измерить удельное сопротивление грунта и определить его тип.
3. Рассчитать количество одиночных заземлителей, обеспечивающих измеренное на стенде сопротивление заземляющей системы.

Порядок выполнения работы

1. Измерить омметром сопротивление заземляющего устройства (r_3) (см. схему на стенде). Сравнить измеренное значение r_3 с нормативным значением. В соответствии с [7] сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 2 – 4 Ом в сетях с рабочим напряжением $U_{раб} < 1000$ В.

2. Измерить сопротивление грунта, в котором находится эта система ($R_{гр.}$, Ом).

3. Рассчитать удельное сопротивление грунта ($\rho_{гр.}$, Ом·м) по формуле:

$$\rho_{гр.} = 2 \cdot \pi \cdot R_{гр.} \cdot K, \quad (18)$$

где $R_{гр.}$ – показания прибора, Ом;

K – расстояние между одиночными заземлителями (в расчёте принять 2 м).

4. По табл. 2 определить природу грунта.

5. Рассчитать сопротивление одиночного заземлителя (R_3) по формулам, приведенным в табл. 3 (тип одиночного заземлителя задает преподаватель).

6. Задаваясь количеством одиночных заземлителей, например $n_{начальное} = 10$, рассчитать сопротивление соединительной полосы ($R_{пол.}$) по формуле (19) и коэффициенты экранирования соединительной полосы ($\eta_{пол.}$) и одиночных заземлителей ($\eta_{заз.}$) по формулам (20 и 21):

$$R_{пол.} = (\rho_{гр.} / 2\pi L_{пол.}) \ln(2L_{пол.}^2 / b \cdot h), \quad (19)$$

где $L_{пол.}$ - длина полосы, соединяющей одиночные заземлители, м:

$$L_{пол.} = 1,05 \cdot K \cdot (n-1);$$

K - расстояние между одиночными заземлителями ($K = 2$ м);

b - ширина полосы ($b = 0,05$ м);

h - глубина залегания полосы ($h = 0,8$ м);

n - число одиночных заземлителей.

$$\eta_{\text{пол}} = 0,25 + 0,75 e^{-0,25 n}; \quad (20)$$

$$\eta_{\text{заз}} = 0,35 + 0,65 e^{-0,1n}. \quad (21)$$

7. Рассчитать сопротивление заземляющего устройства (r_3) по формуле:

$$r_3 = 1/(\eta_{\text{заз}} \cdot n/R_3 + \eta_{\text{пол}}/R_{\text{пол}}). \quad (22)$$

8. Сравнить расчетное значение r_3 с нормативным и измеренным (п.1) значениями сопротивления заземляющего устройства. Если расчетное значение r_3 превышает нормативное, то необходимо увеличить число одиночных заземлителей и расчет повторить. Расчет следует проводить до тех пор, пока расчетное значение r_3 не будет удовлетворять нормативной величине. Исползованная при расчете конечная величина n и будет являться необходимым количеством одиночных заземлителей в общей системе заземления, которая обеспечит исправность системы, размещенной в соответствующий грунт.

Работа №7. Оценка исправности изоляции проводников

Цель работы

Изучить влияние состояния изоляции проводников на степень поражения человека электрическим током.

Задание

1. Оценить состояние изоляции проводников.
2. Установить последствия касания человека проводников с исправной и неисправной изоляцией.

Порядок выполнения работы

1. Включить измерительный прибор, контролирующий напряжение в сети и сопротивление, и нажать кнопку для измерения сопротивления ($k\Omega$).

2. Попеременно вставляя клеммы измерительного прибора в каждую пару из восьми гнезд, которые имитируют состояние изоляции проводников, записать значения сопротивления изоляции четырех проводников в табл. 8.

Таблица 8

Номер проводника	Измеренная величина ($R_{\text{из}}$, $k\Omega$)	Нормативные величины ($R_{\text{из}}$, $\text{M}\Omega$)	
		при $U_{\text{раб.}} < 1000 \text{ В}$ ($R_{\text{из}} \geq 0,5 \text{ M}\Omega$)	при $U_{\text{раб.}} > 1000 \text{ В}$ ($R_{\text{из}} \geq 10 \text{ M}\Omega$)
1			
2			
3			
4			

3. Оценить исправность состояния изоляции 4-х проводников, сравнивая измеренные сопротивления изоляции с нормативными величинами, рекомендуемыми ПУЭ [2]: $R_{\text{из}} \geq 0,5 \text{ M}\Omega$ при $U_{\text{раб.}} \leq 1000 \text{ В}$ и $R_{\text{из}} \geq 10 \text{ M}\Omega$ при

$U_{\text{раб.}} > 1000 \text{ В}$, указывая знаком «+» или «-» соответствие или несоответствие нормам.

4. Нарисовать схему контроля состояния изоляции фаз электрической сети, представленную на лабораторном стенде.

5. Измерить сопротивление изоляции фазных проводов относительно земли. Для этого одну клемму измерительного прибора установить в гнездо «земля», а вторую - сначала в гнездо верхнего провода, а затем нижнего. Записать снятые показания и определить их соответствие нормативным величинам $R_{\text{из}}$.

6. Рассчитать величины токов через человека, касающегося одного из фазных проводов, в сети с изолированной нейтралью:

- а) для нормального режима работы сети (формула 6);
- б) для аварийного режима работы сети (формула 7).

Определить степень поражения человека электрическим током для обоих случаев. В расчетах принять, что человек стоит в сырой обуви на металлическом полу.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Виды воздействия электрического тока на организм человека: перечислить, дать их характеристику.

2. Перечислить факторы, оказывающие влияние на степень поражения человека электрическим током. Какой из факторов является приоритетным?

3. Для переменного тока промышленной частоты 50 Гц указать величины порогового ощутимого тока, порогового не отпускающего тока, смертельно опасного тока.

4. Дать определение понятию "петля тока".

5. Классификация помещений по степени возможного поражения людей электрическим током: перечислить с указанием их характеристики.

6. Схемы включения человека в цепь тока: перечислить, дать характеристику.

7. Дать определение понятию "нейтраль". Перечислить режимы работы нейтрали с указанием их характеристики.

8. Дать определение понятиям: "линейное напряжение", "фазное напряжение"; указать их численные значения. Записать формулу, которая связывает линейное и фазное напряжения. Указать численное значение сопротивления тела человека, используемое в расчетах.

9. Записать формулы (с пояснениями) для расчета силы тока через тело человека в случае:

- двухфазного включения человека в цепь тока;
- однофазного включения человека в трехфазную четырехпроводную сеть с глухозаземленной нейтралью в нормальном режиме работы сети;
- однофазного включения человека в трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью в нормальном режиме работы сети.

Указать численные значения сопротивления заземления нейтрали источника тока (R_0) и сопротивления изоляции фаз относительно земли ($R_{из}$).

10. Дать определение понятиям: "напряжение шага", "напряжение прикосновения", "зона растекания тока". Указать, в каких точках зоны растекания тока радиусом 20 м будут иметь максимальное значение напряжение шага и напряжение прикосновения.

11. Защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение: дать характеристику, указать область применения.

12. Основные и дополнительные средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током: дать характеристику, привести примеры.

4. СПИСОК СПРАВОЧНОЙ И НОРМАТИВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).- М.: Энергоатомиздат, 1999.

3. Манойлов, В.Е. Основы электробезопасности /В.Е. Манойлов. - М.: Энергоатомиздат, 1991.

4. Долин П.А. Справочник по технике безопасности / П.А. Долин. - М.: Энергоатомиздат, 1984.

5. ГОСТ 12.1.019-79. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

6. ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

7. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

8. ГОСТ 12.4.155-85. Устройство защитного отключения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВЕДЕНИЕ.....	3
1.1. Воздействие электрического тока на человека.....	3
1.2. Классификация помещений по степени возможного поражения людей электрическим током.....	5
1.3. Анализ схем включения человека в электрическую цепь.....	6
1.4. Замыкание электрической цепи на землю (рабочую площадку)...	10
1.5. Обеспечение электробезопасности	13
1.6. Первая помощь при электропоражениях.....	17
2. ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ.....	18
Работа №1.....	18
Работа № 2.....	20
Работа №3.....	22
Работа №4.....	23
Работа №5.....	25
Работа №6.....	26
Работа №7.....	27
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	28
СПИСОК СПРАВОЧНОЙ И НОРМАТИВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	29

Учебное издание

Кузьмина Ирина Алексеевна
Куприяновская Анна Павловна

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»
раздел «Электробезопасность»

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 28.12.2016 . Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 1,86 . Уч. – изд. л. 2,06 .

Ивановский государственный
химико-технологический университет

153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7