Энгельсский технологический институт

Кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых производств»

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКА В ЗЕМЛЮ

Методические указания
к лабораторной работе
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»
для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

очной и заочной формы обучения

Электронное издание локального распространения

**Энгельс 2024**

***Цель работы:*** выявить закономерности и особенности растекания тока в землю и оценить опасность замыканий на земле

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Широкое применение электроустановок в производственных помещениях создает опасность поражения человека электрическим током. Всякое упорядоченное движение носителей зарядов называют ***электрическим током***. В металлах такими носителями являются электроны — отрицательно заряженные частицы с зарядом, равным элементарному заряду. За направление тока условно считают направление, противоположное направлению движения отрицательных зарядов. Опасность электрических поражений создает разнообразное оборудование: электрический привод машин и механизмов, электрооборудование подъемно-транспортных устройств, электронагревательная и сварочная аппаратура, осветительные установки, переносный электрифицированный инструмент и т. д. Причинами электротравм нередко бывают недостатки в конструкции и монтаже оборудования, недочеты эксплуатации, неудовлетворительная организация рабочих мест, недостаточный инструктаж и т. д.

***Действие электрического тока*** на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает *термическое, электролитическое и биологическое действие*, вызывая *местные* и *общие электротравмы (электрические удары)*.

*Термическое действие* выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов и других тканей.

*Электролитическое действие* выражается в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает значительные нарушения их физиохимических составов.

*Биологическое действие* выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц, а также нарушением внутренних биоэлектрических процессов организма.

*Электрические травмы* представляют собой четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. В большинстве случаев электротравмы излечиваются, но иногда, при тяжелых ожогах, травмы могут привести к гибели человека.

Различают следующие электрические травмы: электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения.

*Электрический ожог* — самая распространенная электротравма. Ожоги бывают двух видов: токовый (или контактный) и дуговой.

Токовый ожог обусловлен прохождением тока через тело человека в результате контакта с токоведущей частью и является следствием преобразования электрической энергии в тепловую.

Различают четыре степени ожогов: I —покраснение кожи; II — образование пузырей; III — омертвение всей толщи кожи; IV — обугливание тканей. Тяжесть поражения организма обусловливается не степенью ожога, а площадью обожженной поверхности тела.

Токовые ожоги возникают при напряжениях не выше 1—2 кВ и являются в большинстве случаев ожогами I и II степени; иногда бывают и тяжелые ожоги.

Дуговой ожог. При более высоких напряжениях между токоведущей частью и телом человека образуется электрическая дуга (температура дуги выше 3500 °С и у нее весьма большая энергия), которая и причиняет дуговой ожог. Дуговые ожоги, как правило, тяжелые — III или IV степени.

*Электрические знаки* — четко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи человека, подвергнувшейся действию тока. Знаки бывают также в виде цара-

пин, ран, порезов или ушибов, бородавок, кровоизлияний в кожу и мозолей. В большинстве случаев электрические знаки безболезненны и лечение их заканчивается благополучно.

*Металлизация кожи* — это проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги. Это может произойти при коротких замыканиях, отключениях рубильников под нагрузкой и т.п. Металлизация сопровождается ожогом кожи, вызываемым нагревшимся металлом.

*Электроофтальмия*—поражение глаз, вызванное интенсивным излучением электрической дуги, спектр которой содержит вредные для глаз ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Кроме того, возможно попадание в глаза брызг расплавленного металла. Защита от электроофтальмии достигается ношением защитных очков, которые не пропускают ультрафиолетовых лучей, и обеспечивают защиту глаз от брызг расплавленного металла.

*Механические повреждения* возникают в результате резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, а также вывихи суставов и даже переломы костей. К этому же виду травм следует отнести ушибы, переломы, вызванные падением человека с высоты, ударами о предметы в результате непроизвольных движений или потери сознания при воздействии тока. Механические повреждения являются, как правило, серьезными травмами, требующими длительного лечения.

*Электрический удар* — это возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В зависимости от исхода воздействия тока на организм электрические удары условно делятся на следующие четыре степени:

I — судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II— судорожное сокращение мышц, потеря сознания, но сохранение дыхания и работы сердца;

III— потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

IV— клиническая смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Причинами смерти в результате поражения электрическим током могут быть прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок.

***Основными причинами воздействия тока*** на человека являются: случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала; шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю; появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки.

Случаи поражения человека током 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.

Исход поражения человека электротоком зависит от многих ***факторов:*** силы тока и времени его прохождения через организм, сопротивления тела человека, характеристики тока (переменный или постоянный), пути тока в теле человека, при переменном токе — от частоты колебаний, схемы включения человека в цепь и т.д.

Ток, проходящий через организм, зависит от напряжения прикосновения, под которым оказался пострадавший, и суммарного электрического сопротивления, в которое входит сопротивление тела человека. Величина последнего определяется в основном сопротивлением рогового слоя кожи, составляющее при сухой коже и отсутствии повреждений сотни тысяч Ом. Если эти условия состояния кожи не выполняются, то ее сопротивление падает до 1 кОм. При высоком напряжении и значительном времени протекания тока через тело сопротивление кожи падает еще больше, что приводит к более тяжелым последствиям поражения током. Внутреннее сопротивление тела чело-

века не превышает нескольких сот Ом и существенной роли не играет. На сопротивление организма воздействию электрического тока оказывает влияние физическое и психическое состояние человека. Нездоровье, утомление, голод, опьянение, эмоциональное возбуждение приводят к снижению сопротивления. Характер воздействия тока на человека в зависимости от силы и вида тока приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Характер воздействия тока на человека (путь тока рука —нога, напряжение 220 В)

| Ток, мА | Переменный ток, 50 Гц | Постоянный ток |
|---|---|---|
| 0,6 - 1,5 | Начало ощущения, легкое дрожание пальцев | Ощущений нет |
| 2,0 - 2,5 | Начало болевых ощущений | То же |
| 5,0 - 7,0 | Начало судорог в руках | Зуд, ощущение нагрева |
| 8,0 - 10,0 | Судороги в руках, трудно, но можно оторваться от электродов | Усиление ощущения нагрева |
| 20,0.-25,0 | Сильные судороги и боли, неотпускающий ток, дыхание затруднено | Судороги рук, затруднение дыхания |
| 50,0 - 80,0 | Паралич дыхания | То же |
| 90,0 - 100,0 | Фибрилляция сердца при действии тока в течение 2—3 с, паралич дыхания | Паралич дыхания при длительном протекании тока |
| 300,0 | То же, за меньшее время | Фибрилляция сердца через 2—3 с, паралич дыхания |

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. Его величина зависит от скорости прохождения тока через тело человека; при длительности действия более 10 с — 2 мА, при 10 с и менее — 6 мА. Ток, при котором пострадавший не может самостоятельно оторваться от токоведущих частей, называется *неотпускающим.*

Переменный ток опаснее постоянного, однако, при высоком напряжении (более 500 В) опаснее постоянный ток. Из возможных путей протекания тока через тело человека (голова —рука, голова —ноги, рука —рука, нога —рука, нога —нога и т. д.) наиболее опасен тот, при котором поражается головной мозг (голова—руки, голова — ноги), сердце и легкие (руки —ноги). Неблагоприятный микроклимат (повышенная температура, влажность) увеличивает опасность поражения током, так как влага (пот) понижает сопротивление кожных покровов.

При *гигиеническом нормировании* ГОСТ 12.1.038—82 устанавливает предельно допустимые напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека (рука — рука, рука — нога) при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц (табл. 2).

Наиболее характерными являются две схемы включения человека в электрическую цепь: между двумя проводами и между одним проводом и землей (рис. 1). Во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей.

Таблица 2 – Предельно допустимые уровни напряжения и тока

| Род тока | Нормируемая величина | Предельно допустимые уровни, не более, при продолжительности воздействия тока, Ia, с | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.01 - 0.08 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | Св. 1.0 |
| Переменный, 50 Гц | Ua, В<br>Ia, mA | 650 | 500 | 250 | 165 | 125 | 100 | 85 | 70 | 65 | 55 | 50 | 36<br>6 |
| Переменный, 400 Гц | Ua, В<br>Ia, mA | 650 | 500 | 500 | 330 | 250 | 200 | 170 | 140 | 100 | 110 | 100 | 36<br>8 |
| Постоянный | Ua, В<br>Ia, mA | 650 | 500 | 400 | 350 | 300 | 250 | 240 | 230 | 220 | 210 | 200 | 40<br>15 |
| Выпрямленный двухполупериодич-ный | Ua, В | 650 | 500 | 400 | 300 | 270 | 230 | 220 | 210 | 200 | 190 | 180 | - |
| Выпрямленный од-нополупериодичный | Ua, В | 650 | 500 | 400 | 300 | 250 | 200 | 190 | 180 | 170 | 160 | 150 | - |

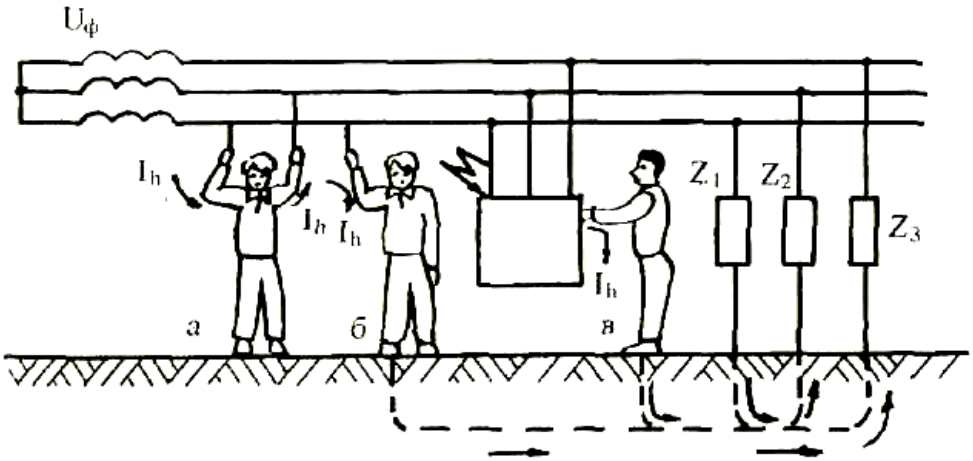


Рисунок 1 – Схемы включения человека в электрическую цепь:
*а* – двухфазное включение; *б, в* – однофазное включение

Применительно к сетям переменного тока первую схему *(а)* обычно называют двухфазным включением, а вторую *(б, в)* - однофазным.

Двухфазное включение, т.е. прикосновение человека одновременно к двум фазам, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение — линейное, и поэтому через тело человека идет большой ток $I_h$, А:

$$I_h = \frac{1{,}73 \bullet U_{\hat{o}}}{R_h} = \frac{U_{\ddot{e}}}{R_h}, \qquad (1)$$

где $U_л$ - линейное напряжение, то есть напряжение между фазными проводами сети ($U_л = \sqrt{3} \cdot U_ф$), $U_ф$ - фазное напряжение, то есть напряжение между началом и концом одной обмотки источника тока (трансформатора, генератора) или между фазным и нулевым проводами, $R_h$- сопротивление тела человека.

Нетрудно представить, что двухфазное включение одинаково опасно в сети как с изолированной, так и заземленной нейтралью. При таком включении опасность поражения не уменьшается и в том случае, если человек надежно изолирован от земли (резиновые галоши, боты, диэлектрический коврик, деревянный пол).

Однофазное включение (рис.1 б, в) происходит значительно чаще, но является менее опасным, чем двухфазное, поскольку напряжение, под которым оказывается человек, не превышает фазного. Соответственно, меньше оказывается ток, проходящий через тело человека. На значение этого тока влияют режим нейтрали источника тока, сопротивление изоляции и емкость проводов относительно земли, сопротивление пола, на котором стоит человек, сопротивление его обуви и другие факторы.

## ЯВЛЕНИЯ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКА В ЗЕМЛЮ

При контакте проводника электрической сети с землей или корпусом электроустановки, имеющей связь с землей, возможно стекание тока в землю. Так как протекание тока возможно только в замкнутой электрической цепи, то стекание и, следовательно, протекание тока в земле будет иметь место только в том случае, если земля будет представлять собой участок замкнутой электрической цепи. Другими словами, если в какой-либо точке земли ток стекает в землю, то обязательно есть другая точка, в которой ток «вытекает» из земли.

Замыкание сопровождается протеканием через нее тока. Земля становится участком электрической цепи в зоне растекания тока, на которой из-за сопротивления земли падает напряжение и появляется разность потенциалов между отдельными точками ее поверхности.

Например, в сетях с изолированной нейтралью при контакте фазы А с землей (рис. 2) протекание тока через землю возможно только в том случае, если имеется контакт с землей и фазы В (или С). В этом случае образуется замкнутая электрическая цепь: фаза А, земля, фаза В.

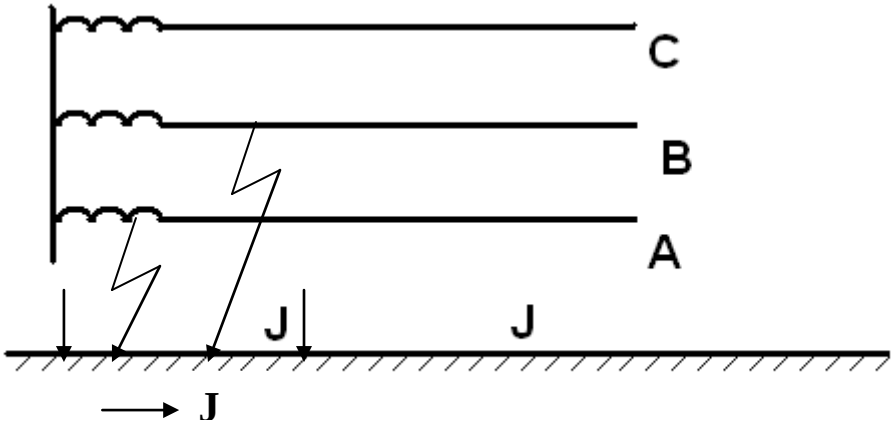


Рисунок 2 – Схема замыкания цепи на землю

Замкнутая электрическая цепь может иметь место и в том случае, когда явного контакта фазы В (или С) с землей нет, но сопротивление между землей и фазой В (или С) не равно бесконечности. В сетях с глухозаземленной нейтралью (рис. 3) при замыкании фазы на землю всегда образуется замкнутая электрическая цепь.

Контакт с землей проводника электрической сети или корпуса электроустановки может быть случайным или преднамеренным. В последнем случае проводник или группа проводников, находящиеся в контакте с землей, называются за*землителем*, а преднамеренное соединений корпуса электроустановки с заземлителем - *заземлением*. В обоих случаях можно наблюдать два явления — положительное и отрицательное.

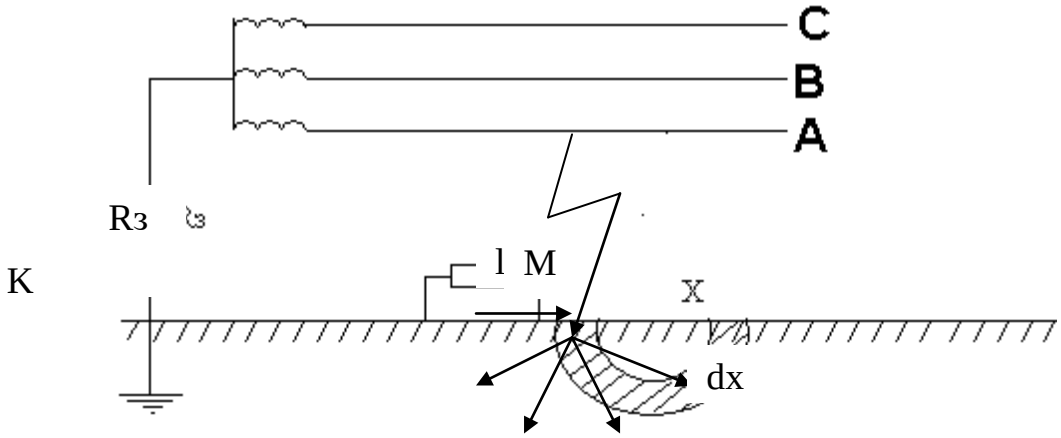


Рисунок 3 – Распределение потенциала на поверхности земли
в зоне растекания тока полусферического заземлителя

*Положительное* явление наблюдается в том случае, когда потенциал заземлившейся токоведущей части оборудования, случайно оказавшейся под напряжением, резко снижается до значения, которое во много раз меньше напряжения в сети.

Это явление, благоприятное по условиям безопасности, широко используется как мера защиты от поражения током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям электрооборудования, которые в случае неисправности изоляции могут оказаться под напряжением.

*Отрицательное* явление наблюдается в том случае, когда при стекании тока в землю на самом заземлителе и находящихся с ним в контакте металлических частях, а также на поверхности земли вокруг места стекания тока в грунт появляются потенциалы, образующие поле растекания тока.

Практический интерес представляет вопрос о зависимости величины этих потенциалов от тока замыкания на землю, а также характер их распределения на поверхности земли в зависимости от расстояния до заземлителя.

Ток, проходящий через заземлитель в землю, преодолевает сопротивление, которое называется сопротивлением растеканию тока заземлителя или сопротивлением растеканию. На рис.3 представлена схема замыкания на землю в точке М фазы А в сети с глухозаземленной нейтралью. В точке К нейтраль источника тока соединена с заземлителем.

В однофазном грунте от одиночного полусферического заземлителя (рис. 3) падение напряжения на поверхности земли в зоне растекания тока подчиняется гиперболическому закону. При этом падение напряжения на расстоянии 1 м от заземлителя составляет 68 %, 10 м — 92 %, а на расстоянии 20 м потенциалы точек практически могут быть приняты равными нулю. Зона, в которой земля не оказывает существенного сопротивления, растеканию тока, называется *зоной нулевого потенциала.*

Если известна величина сопротивления в точке М $R_M$ и конструкция заземлителя, то можно определить и удельное сопротивление грунта ρ.

Так, если заземлитель полусферический, то

$$\rho = 2\pi \cdot r \cdot R_M, \qquad (2)$$

где r – радиус полусферического заземлителя, обеспечивающего сопротивление растеканию тока, равное 4 Ом.

Если конструкция заземлителя неизвестна или она очень сложная, то для определения можно воспользоваться формулой:

$$\rho = 2\pi \cdot l \cdot U/J, \qquad (3)$$

где J - ток, проходящий через заземлитель; U – напряжение в какой-либо точке земли; l - радиус неизвестного заземлителя.

Задаваясь различными значениями l, можно построить график распределения потенциала в зоне растекания тока (рис. 4). Чем ближе к точке стекания тока, то есть чем меньше l, тем больше напряжение.

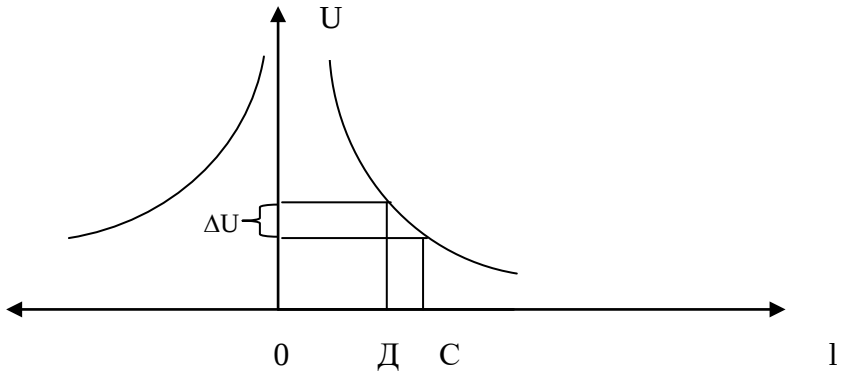


Рисунок 4 – Распределение потенциала в зоне растекания тока

Из графика, приведенного на рис. 4, и из (3) видно, что в зоне растекания тока различные точки, например, С и Д (рис. 3 и 4), имеет различные потенциалы. Это обстоятельство является неблагоприятным, так как представляет потенциальную опасность поражения током человека. Критерием опасности служит так называемое шаговое напряжение. *Шаговое напряжение* - разность потенциалов между двумя точками в зоне растекания тока, находящимися на расстоянии шага 0,8 м. Чем ближе к точке стекания, тем больше шаговое напряжение.

Попав в зону растекания, человек может оказаться под разностью потенциалов с напряжением шага $U_ш$ , В,

$$U_ш = U_з \beta_1 \beta_2, \qquad (4)$$

где $U_3$ — напряжение фазы в точке растекания тока; β1—коэффициент напряжения, учитывающий закон изменения в зоне растекания; $\beta_2$ — коэффициент, учитывающий падение напряжения в дополнительных сопротивлениях обуви, ног человека.

Ток, протекающий через человека, $I_ч$, А, попавшего под шаговое напряжение

$$I_ч=I_з(R_з/R_ч)\ \beta_1\beta_2, \qquad (5)$$

где $R_з$ — сопротивление заземлителя растеканию тока.

Значения коэффициентов $\beta_1$ и $\beta_2$ берутся из справочников для различных типов заземляющих устройств.

Величина шагового напряжения зависит от ширины шага и расстояния до места замыкания на землю. По мере удаления от места замыкания опасность шаговых напряжений уменьшается. Для обеспечения безопасности, при случайном попадании в зону растекания тока, необходимо соединить ноги и, не спеша выходить из нее так, чтобы при передвижении ступня одной ноги не выходила за ступню другой.

## СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

***Основными мерами защиты*** от поражения электрическим током являются:

1) обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением, для случайного прикосновения;

2) электрическое разделение сети;

3) устранение опасности поражения или появления напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрооборудования, что достигается применением малых напряжений, использованием двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и др. мерами;

4) применение специальных электрозащитных средств - переносных приборов и приспособлений (средств индивидуальной защиты);

5) организация безопасной эксплуатации электроустановок.

***Недоступность токоведущих частей электроустановок*** для случайного прикосновения может быть обеспечена изоляцией токоведущих частей, размещением их на недоступной высоте, ограждением и другими средствами.

***Электрическое разделение сети*** - это разделение электрической сети на отдельные, электрически не связанные между собой участки с помощью специальных разделяющих трансформаторов. В результате изолированные участки сети обладают большим сопротивлением изоляции и малой емкостью проводов относительно земли, за счет чего значительно улучшаются условия безопасности.

Для ***устранения опасности поражения током*** в случае повреждения изоляции переносного ручного электроинструмента и переносных ламп их питают малым напряжением не выше 42 В. Кроме того, в особо опасных помещениях при особо неблагоприятных условиях (например, работа в металлическом резервуаре, работа сидя и лежа на токоведущем полу и т.п.) для питания ручных переносных ламп применяют еще более низкое напряжение: 12 В.

*Двойная изоляция* - это электроизоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции.

*Рабочая изоляция* предназначена для изоляции токоведуших частей электроустановки от поражения током, обеспечивая ее нормальную работу и защиту персонала.

Применяется при создании ручных электрических машин, при этом заземление или зануление их корпусов не требуется.

*Защитное заземление* - это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. *Назначение защитного заземления* - устранение опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования, т.е. при замыкании их на корпус.

Принцип действия защитного заземления - снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус, за счет уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также выравнивания потенциалов основания и оборудования. Область применения защитного заземления - трехфазные трехпроводные сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Заземляющее устройство представляет собой совокупность заземлителя (металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей) и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем. Принципиальная схема защитного заземления (сеть с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В) представлена на рис. 5.

Различают два типа заземляющих устройств: выносное (или сосредоточенное) и контурное (или распределенное).

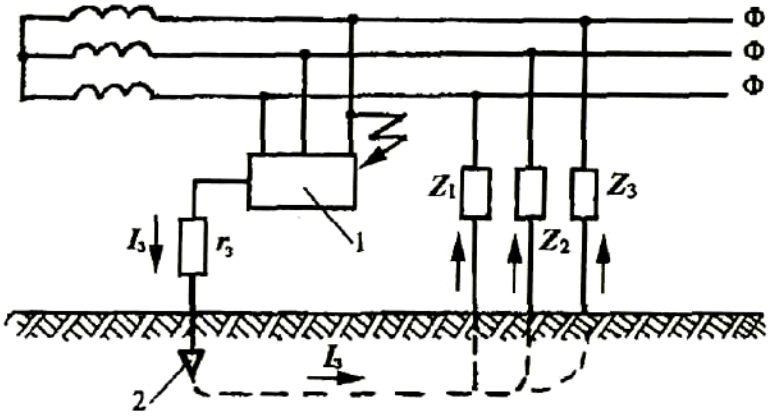


Рисунок 5 – Принципиальная схема защитного заземления:
1- оборудование; *2* - заземлитель; $r_З$ - сопротивление защитного заземления, Ом

Выносное заземляющее устройство характеризуется тем, что заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки. Применяется лишь при малых значениях тока замыкания на землю ($Z_З$), в частности, в установках напряжением до 1000 В.

Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что его одиночные заземлители размещаются по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, или распределены по всей площадке по возможности равномерно.

В заземляющих устройствах применяют искусственные (вертикальные и горизонтальные электроды из стальных труб, уголков, прутков, полос) и естественные (трубопроводы, арматура, свинцовые оболочки кабелей, проложенные или связанные с землей) заземлители. В качестве заземляющих проводников применяют полосовую и круглую сталь. Прокладку их производят открыто по конструкциям зданий. Последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Согласно ПУЭ (правилам устройства электроустановок) сопротивление защитного заземления в любое время года не должно превышать:

4 Ом - в установках напряжением до 1000 В; если мощность источника тока (генератора или трансформатора) 100 кВ·А и менее, то сопротивление заземляющего устройства допускается до 10 Ом;

0,5 Ом - в установках напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью;

$250/I_З$ , но не более 10 Ом - в установках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью.

При проектировании заземляющего устройства следует соблюдать приведенные требования.

Заземление в помещениях второго и третьего класса является обязательным при номинальном напряжении электроустановки выше 42 В переменного и выше 110 В постоянного тока, а в поме-

щениях без повышенной опасности - при напряжении 380 В и выше переменного и 440 В и выше постоянного тока. Во взрывоопасных помещениях заземление выполняется независимо от значения напряжения установки.

*Занулением* является преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Схема зануления представлена на рис. 6.

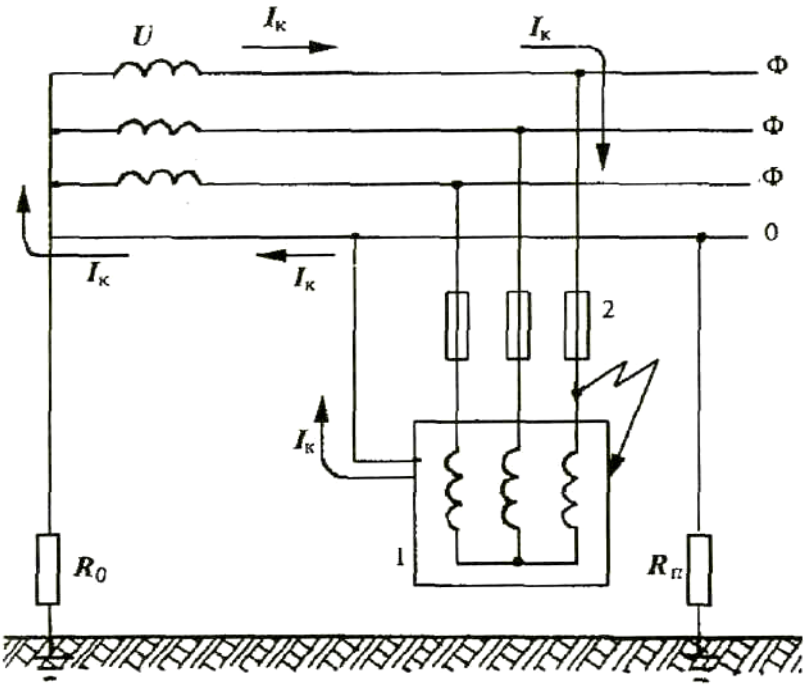


Рисунок 6 – Принципиальная схема защитного зануления:
*1* - корпус; *2* - аппараты для защиты от токов короткого замыкания (плавкие предохранители, автоматы и т.п.); $R_o$ - сопротивление заземления нулевого защитного проводника;
$I_к$ - ток короткого замыкания; *0* -нулевой защитный проводник

Нулевым защитным проводником называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом. Задача зануления та же, что и защитного заземления: устранение опасности поражения людей током при замыкании на корпус.

Принцип действия зануления - превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание, то есть в замыкание между фазным и нулевым проводами с целью создания большого тока, способного обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети.

Скорость отключения: 5 - 7 с при защите установки плавкими предохранителями и 1-2 с при защите автоматами. Область применения зануления - трехфазные четырехпроводные сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью. Обычно это сети напряжением 380/220 В, широко применяющиеся в машиностроительной промышленности и других отраслях, а также сети 220/127 и 660/380 В.

*Защитное отключение* - быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током. Такая опасность может возникнуть в частности: при замыкании фазы на корпус электрооборудования; при снижении сопротивления изоляции фаз относительно земли ниже определенного предела; появлении в сети повышенного напряжения; прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением. В этих случаях в сети происходит изменение некоторых электрических параметров (напряжение корпуса относительно земли, напряжение фаз относительно земли и др.), что может

служить импульсом, вызывающим срабатывание защитно-отключающего устройства, т.е. автоматическое отключение опасного участка сети за время не более 0,2 с.

Основными частями устройства защитного отключения (УЗО) являются прибор защитного отключения и автоматический выключатель.

УЗО в зависимости от параметра, на который оно реагирует, делятся на несколько типов, основными среди которых являются:

- УЗО, реагирующие на напряжение корпуса, относительно земли (от повышенного напряжения);
- УЗО, реагирующие на оперативный постоянный ток, служат для непрерывного контроля изоляции, защиты человека, прикоснувшегося к токоведущей части.

*Выравнивание потенциала* — это метод снижения напряжения прикосновения и шага между точками электрической цепи, к которым возможно одновременное прикосновение или на которых может одновременно стоять человек.

Выравнивание потенциала как самостоятельную меру защиты не применяют.

Для выравнивания потенциала в землю укладывают стальные полосы в виде сетки по всей площади, занятой оборудованием.

В производственном помещении корпуса электрооборудования и производственного оборудования в той или иной степени связаны между собой. При замыкании на корпус в каком-либо из электроприемников все металлические части получают близкое по величине напряжение относительно земли. В результате напряжение между корпусом электроприемника и полом существенно уменьшается, происходит выравнивание потенциала по всей площади помещения. При выравнивании потенциала человек, находящийся в цепи замыкания, оказывается под сравнительно малым напряжением.

В соответствии со СНиП для выравнивания потенциала во всех помещениях и наружных установках, где применяется заземление или зануление, строительные металлические конструкции, трубопроводы всех назначений, 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.

В процессе эксплуатации электроустановок, например, при работах вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением, при работах на отключенных токоведущих частях (шинах, проводах и т.п.) существует повышенная опасность поражения человека электрическим током, поэтому принимаются дополнительные меры, исключающие эту опасность, возникающую, например, при ошибочной подаче напряжения.

Такими средствами защиты, дополняющими описанные выше стационарные конструктивные защитные устройства электроустановок, служат ***переносные приборы и приспособления***, применяемые для защиты персонала от поражения током, воздействия электрической дуги, продуктов горения, падения с высоты и других опасных факторов.

Рассматриваемые *средства индивидуальной защиты* условно делятся на три группы: изолирующие, ограждающие и предохранительные. Особое место среди них занимают *изолирующие электрозащитные средства*. Изолирующие электрозащитные средства делятся на *основные* и *дополнительные.*

*Основные электрозащитные изолирующие средства* способны длительное время выдерживать рабочее напряжение электроустановок, и поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением и работать на этих частях. В электроустановках напряжением до 1000 В к ним относятся: диэлектрические резиновые перчатки, инструмент с изолирующими рукоятками и указатели напряжения до 1000 В.

*Дополнительные изолирующие электрозащитные средства* обладают недостаточной электрической прочностью и поэтому не могут самостоятельно защищать человека от поражения током. Их назначение - усилить защитное действие основных изолирующих средств, вместе с которыми они должны применяться. В электроустановках напряжением до 1000 В к ним относятся: диэлектрические галоши, коврики и изолирующие подставки. *Ограждающие средства защиты* предна-

значены для временного ограждения токоведущих частей - переносные ограждения (щиты, ограждения - клетки, изолирующие накладки, изолирующие колпаки); для предупреждения ошибочных операций - предупредительные плакаты; для временного заземления отключенных токоведущих частей с целью устранения опасности поражения работающего током при случайном появлении напряжения - устройства временного заземления.

*Предохранительные средства защиты* предназначены для индивидуальной защиты работающего от световых, тепловых и механических воздействий. К ним относятся защитные очки, противогазы, специальные рукавицы и другие.

Исправность средств защиты должна проверяться осмотром перед каждым их применением, а также периодически через 6-12 месяцев. Изолирующие электрозащитные средства, а также накладки и колпаки периодически подвергаются электрическим испытаниям.

Рассмотренные технические и другие электрозащитные средства дополняются на производстве звуковой или световой сигнализацией о наличии напряжения или его отсутствии в электроустановках, предупреждающими, предписывающими и указательными плакатами, надписями и знаками безопасности.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Экспериментальная часть работы проводится на специальном стенде, позволяющем моделировать условия растекания тока в землю.

Электрическая схема моделирует схему, приведенную на рис.3. В точке К нейтраль соединена со стационарным заземлителем. Таким образом, мы имеем дело с глухозаземленной нейтралью.

В точке М происходит замыкание фазы на землю. Стекание тока с проводника в землю происходит условно с полусферической поверхности радиусом r. Сопротивление растеканию тока в точке М может быть различным и задается переключателем. В нулевом положении переключателя замыкание на землю отсутствует. К стенду прилагается амперметр и вольтметр.

### ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Включайте стенд только после разрешения преподавателем.

При выполнении измерений избегайте одновременного касания руками двух и более зажимов.

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретическую часть и подготовить ответы на контрольные вопросы. После собеседования с преподавателем и получения разрешения на выполнение работы приступить к экспериментальной части.

2. Методом амперметра-вольтметра определить сопротивления растеканию тока заземлителей К при различных напряжениях U и расстояниях l от точки М. Напряжение задается переключателем $R_M$. Данные внести в табл.3.

Таблица 3 – Распределение потенциала в зоне растекания тока

| Расстояние l от точки стекания М | Напряжение U, В | Сила тока, мА | Сопротивление растеканию тока $R_M$, Ом |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |

3. По данным табл. 3 построить графики распределения потенциала в зоне растекания тока.

Определить расстояние, при котором шаговое напряжение не превышает допустимое значение.

4. По полученным данным по (2) и (3) рассчитать удельное сопротивление грунта, полагая, что в точке М ток стекает с полушарового заземлителя с радиусом r = 1 м.

## СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены:
1) название лабораторной работы;
2) формулировка цели работы;
3) основные понятия и формулы;
4) результаты измерений;
5) выводы

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое электрический ток?
2. Какое действие оказывает электрический ток на организм человека?
3. Какие факторы определяют опасность поражения электрическим током?
4. При каких условиях возможно стекание тока в землю?
5. Перечислите основные причины поражения электрическим током
6. Что такое зона нулевого потенциала?
7. Чему равно сопротивление земли между двумя точками, удаленными друг от друга на расстояние 100 км?
8. Как определить потенциал какой-либо точки относительно земли?
9. Что такое заземление?
10. Что необходимо сделать, чтобы уменьшить сопротивление растеканию тока искусственного заземлителя?
11. Как экспериментально определить сопротивление растеканию тока заземлителя и удельное сопротивление грунта?
12. Какие методы используются для защиты человека от поражения электрическим током?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Обязательные издания

1. Борисова, Н. В. Безопасность жизнедеятельности. Лабораторный практикум / Н. В. Борисова, Е. В. Бычкова. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 168 с. — ISBN 978-5-507-46610-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/351905. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Рысин, Ю. С. Безопасность жизнедеятельности : учебное пособие / Ю. С. Рысин, С. Л. Яблочников. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. — 132 с. — ISBN 978-5-4497-0440-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/124636.html. — Режим доступа: для авторизир. Пользователей.

3. Безопасность жизнедеятельности : учебник / под редакцией Э. А. Арустамова. — 21-е изд. — Москва : Дашков и К, 2018. — 446 с. — ISBN 978-5-394-02972-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/105582. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / Л.А. Муравей [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 431 с. – Режим доступа: http:// www.iprbookshop.ru/7017. – ЭБС «IPRbooks»

2. Дополнительные издания

1. Еременко В.Д. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Еременко В.Д., Остапенко В.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Российский государственный университет правосудия, 2016.— 368 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/49600.html.— ЭБС «IPRbooks».

2. Безопасность жизнедеятельности в химической промышленности : учебник / Н.И. Акинин, Л.К. Маринина, А.Я. Васин [и др.] ; под общей редакцией Н.И. Акинина. — Санкт-Петербург

: Лань, 2019. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-3891-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/116363

3. Екимова И.А. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: учебное пособие / Екимова И.А. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Эль Контент, 2012. – 192 с. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/13876.— ЭБС «IPRbooks»

3. Бурашников, Ю.М. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда на предприятиях пищевых производств : учебник / Ю.М. Бурашников, А.С. Максимов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 496 с. — ISBN 978-5-8114-2497-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/93587

4. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / Л.А. Муравей [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 431 с. – Режим доступа: http:// www.iprbookshop.ru/7017. – ЭБС «IPRbooks».

5. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». - М.: Стандартинформ, 2022. – 412 с.

3. Периодические издания

6. Журнал «Безопасность труда в промышленности» https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=8430

7. Журнал «Охрана и экономика труда» https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=32420

8. Журнал «Экология промышленного производства» https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=9263

4.Интернет-ресурсы

9.http://www.tehdoc.ru; http://www.safety.ru – нормативная документация по охране труда;

10.http://www.mintrans.ru –официальный сайт министерства транспорта РФ;

11.http://www.minzdravsoc.ru – официальный сайт Минздравсоцразвития;

12.http://www.mchs.ru/ -официальный сайт МЧС;

13.http://www.gks.ru/ -официальный сайт федеральной службы государственной статистики;

14.http://www.novtex.ru –научно-практический и учебно-методический журнал БЖД;

15.http://www.sci.aha.ru –web атлас по БЖД.

5. Источники ИОС

16. Безопасность жизнедеятельности
http://techn.sstu.ru/new/SubjectFGOS/Default.aspx?kod=1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ
ПРИ СТЕКАНИИ ТОКА В ЗЕМЛЮ
Методические указания
к учебно-исследовательской лабораторной работе
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»

Составили: БЫЧКОВА Е.В.
БОРИСОВА Н.В.