МИНИCТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ДГТУ)**

**В.Н. Черкасов, В.И. Зыков, А.Н. Петренко, В.Е. Мереняшев**

**ЛЕКЦИЯ № 11**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Пожарная безопасность электроустановок»**

Специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность»

Ростов-на-Дону

2022

**Учебные вопросы**

1. **Опасность поражения электрическим током.**
2. **Заземление электроустановок как устройств электро- и пожарной безопасности.**

**Учебный вопрос №1: Опасность поражения электрическим током**

**Причинами поражения электрическим током могут быть:**

прикосновение (или недопустимое приближение) к частям электроустановок, находящимся под напряжением;

прикосновение к конструктивным металлическим частям, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции;

напряжение шага, возникающее вблизи мест повреждения электрической изоляции или мест замыкания токоведущих частей на землю.

Различают два основных вида поражения человека электрическим током – *электрические травмы* и *электрические удары*. Они часто сопутствуют друг другу.

*Электрической травмой*называется ярко выраженное местное нарушение тканей организма (кожи, мышц, костей, связок). Характерными ее проявлениями являются ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения и др. **Электрический ожог** – самая распространенная и опасная электротравма. В зависимости от условий возникновения различают два вида ожогов: токовый и контактный.

*Электрическим ударом*называется возбуждение тканей, вызванное электрическим током в организме и сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц (например, рук, ног и т.д.). В более тяжелых случаях наблюдается потеря сознания, нарушение работы сердечно–сосудистой системы или легких, что может привести даже к смертельному исходу. Во многих случаях возникает фибрилляция сердца, т.е. беспорядочное сокращение волокон сердечной мышцы, нарушающие ритмичное нагнетание крови в сосуды и приводящие к остановке кровообращения. При электрическом ударе могут быть и другие виды нарушения деятельности организма – спазмы мозговых и коронарных сосудов, паралич дыхания и т.д.

**На степень и исход поражения электрическим током влияет ряд факторов**: величина и вид тока, длительность его действия на организм, величина напряжения, воздействию которого подвергается человек, путь тока в теле человека, окружающая среда и др. Тело человека, находящееся в электрической цепи, следует рассматривать как проводник со сложнейшими, только ему присущими свойствами. С учетом вида допущений тело человека можно приближенно представить как сочетание активного и емкостного сопротивлений, величины которых зависят от множества условий, в частности от состояния кожи в месте прикосновения (сухая, влажная, поврежденная). Сопротивление верхнего слоя кожи (эпидермы) является одной из основных составляющих полного сопротивления тела человека.

При проектировании, расчете и эксплуатационном контроле защитных мероприятий в электроустановках необходимо иметь в виду данные о физиологическом действии переменного тока промышленной частоты (50 Гц), приведенные в табл. 7.1.

## Таблица 7.1

|  |  |
| --- | --- |
| **Ток, мА** | **Характер действия тока** |
| Менее 5  8 - 10 | Покалывание и дрожание пальцев рук, первые болевые ощущения  Сильные боли в пальцах и кистях рук. Управление мышцами рук затруднено, но не утрачено |
| 20 - 25 | Руки парализуются. Оторваться от электропроводов невозможно, затруднено дыхание |
| 40 - 60 | При времени воздействия 2 с остановка дыхания. Начало фибрилляции сердца. Возможна гибель пострадавшего |
| 90 - 100 | Остановка дыхания. При воздействии 2 с и более остановка сердца. Наиболее вероятен смертельный исход |
| 3000  и более | Остановка дыхания и сердца при действии свыше 0,1 с. Разрушение тканей тела |

**Учебный вопрос №2. Заземление электроустановок как устройств электро- и пожарной безопасности.**

**Термины, определения и обозначения**

Настоящий раздел распространяется на все электроустановки переменного и постоянного тока напряжением до 1000 В и выше и содержит общие требования к их заземлению и занулению и защите людей и животных от поражения электрическим током как в нормальном режиме работы, так и при повреждении изоляции.

**Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на:**

электроустановки напряжением **до 1 кВ** в сетях с **глухозаземленной** нейтралью;

электроустановки с напряжением **до 1 кВ** в сетях с **изолированной** нейтралью.

**Для электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:**

**система TN** – система, в которой нейтраль источника питания **глухо** заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников (**РЕ**) (рис. 7.8);

**система TN-C** – система **TN,** в которой нулевой защитный (**РЕ**) и нулевой рабочий (**N**) проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении;

**система TN-S** – система **TN**, в которой нулевой защитный (**РЕ**) и нулевой рабочий (**N**) проводники разделены на всем ее протяжении;

**система TN-C-S –** система **TN,** в которой функции нулевого защитного (**РЕ**) и нулевого рабочего (**N**) проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания;

**система IT** – система, в которой нейтраль источника питания изолированна от земли или заземлена через приборы или устройство, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рис. 7.3);

**система ТТ** – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически не зависимого от глухозаземленной нейтрали источника.

**Под буквенными обозначениями систем следует понимать**:

первая буква – состояние нейтрали источника питания относительно земли: **Т** – заземленная нейтраль; **I** – изолированная нейтраль.

вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли: **Т** – открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой либо точки питающей сети; **N** – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Последующие (после **N**) буквы – совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников: **S** – нулевой рабочий (**N**) и нулевой защитный (**РЕ**) проводники разделены; **С** – функции нулевого защитеного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (**PEN** проводник).

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции должна быть применена, по крайней мере, одна из следующих защитных мер: заземление, зануление, защитное отключение, разделяющий трансформатор, малое напряжение, двойная изоляция, выравнивание потенциалов. Основными из них являются *заземление*, *зануление*, *выравнивание и уравнивание потенциалов*.

*Заземлением* всей установки или ее части называется преднамеренное электрическое соединение с заземляющим устройством. Совокупность заземлителя и заземляющих проводников называется *заземляющим устройством*.

*Занулением* в электроустановках напряжением до 1000 В называется преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока.

*Выравнивание и уравнивание потенциала*– метод снижения напряжения прикосновения и шага между точками электрической цепи, к которым возможно одновременное прикосновение или на которых может одновременно стоять человек. Выравнивание потенциала осуществляется электрическим соединением металлических конструкций, находящихся вблизи электроустановки с ее корпусом, а также формированием зоны растекания путем использования специальных заземляющих устройств.

Все случаи поражения током являются результатом замыкания электрической цепи через тело, т.е. результатом прикосновения человека к точкам цепи, имеющим разные потенциалы. Опасность этого зависит от напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, состояния изоляции токоведущих частей от земли и т.п.

Различают *сети с изолированной нейтралью (система IT)*, когда нейтраль трансформатора к заземляющему устройству непосредственно не присоединена или присоединена через аппараты с большим сопротивлением (например, через трансформаторы напряжения), и *сети с глухим заземлением нейтрали (система TN)*, когда нейтраль трансформатора или генератора присоединена к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформатор тока). Повреждение изоляции токоведущих частей и соединение их с заземленными конструктивными частями или непосредственно с землей связано чаще всего либо с *токами однофазного замыкания на землю*(в системе с изолированной нейтралью), либос *токами однофазного КЗ* (в системе с глухозаземленной нейтралью).

Токи замыканий на землю при неблагоприятных условиях (горючая среда, обрыв заземляющих проводников или их отсутствие, плохие контакты, искровые промежутки и т.п.) могут вызвать пожар или взрыв. Поэтому заземление и зануление следует рассматривать как средство электробезопасности и пожарной безопасности.

**Заземление в сетях с изолированной нейтралью (система IT)**

**Изолированная нейтраль** – нейтраль трансформатора или генератора неприсоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

Опасность прикосновения принято оценивать по двум крайним случаям: прикосновение к двум фазам и между фазой и землей.

Двухфазное прикосновение является предельно неблагоприятным и может возникать при *r*В(2) = 0 или *r*C(3) = 0 (рис. 7.1), что соответствует предварительному глухому замыканию одной из фаз на землю. Человек оказывается под линейным напряжением. Ток, проходя через тело человека, может стать опасным. Его величина определяется выражением

*I*чел = *U*ф/*r*чел = 380/1000 = 380 мА, (7.1)

*а*

L1

L3

L2

*r*A

*x*A

*r*В

*x*В

*r*C

*x*C

*b*

*I*чел

*r*чел

где *r*чел – активное сопротивление тела человека, Ом. В задачах по электробезопасности принимается равным 1000 Ом.

Рис. 7.1. Замыкание на корпус электроприемника в сети с изолированной нейтралью (система IT) при отсутствии заземния

Такое значение *I*чел значительно больше допустимых 40-100 мА (см. табл. 7.1), при которых возможна гибель пораженного человека. Однако случаи двухфазного прикосновения очень редки и не могут служить основанием для оценки опасности сети. Они обычно бывают при использовании неисправных защитных средств, эксплуатации оборудования с неогражденными голыми токоведущими частями (открытые рубильники, незащищенные зажимы сварочных трансформаторов и т.п.).

Однофазное прикосновение в большинстве случаев также опасно, оно возникает значительно чаще и является основным видом для анализа поражения людей током. Человек, прикасающийся к корпусу электроприемника при замыкании фазы А (см. рис. 7.1), если корпус не соединен надежно с заземлением, приобретает потенциал фазы сети или близкий к нему. Прикосновение к корпусу равносильно прикосновению к фазе. Тело человека, его обувь, пол, земля, активные *r*В(2), *r*C(3) и емкостные *x*В(2) и *x*С(3) сопротивления других фаз, провода и обмотки составляют замкнутую цепь. Ток в этой цепи зависит от ее сопротивления и напряжения и может нанести человеку тяжелое поражение. В целях упрощения считают, что тело человека обладает лишь активным сопротивлением *r*чел, сопротивление растеканию его ног равно нулю. Фазные напряжения равны и симметричны, а сопротивления изоляции фаз одинаковы, т.е. *r*А(1) *= r*В(2) *= r*С(3) *= r.* Емкостью воздушных проводов при промышленной частоте относительно земли пренебрегают.

Если не принимать во внимание напряжение смещения нейтрали и учитывать, что *r*чел обычно гораздо меньше *r*, ток

*I*чел *= U*л/(*r*чел*+ r*).(7.4)

В исправном состоянии сопротивление изоляции установок напряжением до 1000 В должно быть не менее 0,5 МОм. В таком случае человек оказывается «под защитой» изоляции других фаз, а ток, проходящий через него, будет безопасным.

По формуле (7.4) ток, проходящий через тело человека, будет равен

*I*чел *= U*л/(*r*чел*+r*) *=* 380/(103+0,5⋅106) = 0,76 мА,

что составляет доли миллиампер и условие электробезопасности выполняется.

Все рассмотренное справедливо, если емкостью сетей относительно земли пренебрегают. Но при большой протяженности сетей с изолированной нейтралью значением, определяющим их электро- и пожарную безопасность, является не сопротивление изоляции *r*, а емкостное сопротивление сети *x*С. Величина емкостного сопротивления сетей с изолированной нейтралью, достигающих по длине больше 1 км, может составлять приблизительно 1 кОм.

При таком значении *x*С условие электробезопасности выполняться не будет, так как

*I*чел *= U*л/(*r*чел*+x*C) *=* 380/(103+103) = 190 мА,

что значительно больше порогового значения, т.е. для каждого конкретного случая следует индивидуально оценивать необходимость учитывать *x*С сети или возможность пренебрегать этим показателем

Обеспечить необходимую электробезопасность человека и пожарную безопасность сетей с изолированной нейтралью позволяет применение низкоомного заземлителя, шунтирующего сопротивление тела человека

Сопротивление искусственного заземлителя для сетей с *U*л= 380 В принимают 4 Ом [3]. При указанных условиях (в дополнение к рис. 7.3), для иллюстрации рассмотрим эквивалентную схему (рис. 7.4). Напряжение прикосновения *U*пр при этом будет более чем в 100 раз ниже, чем при отсутствии заземлителя, т.е.

*U*пр *= U*л*⋅r*З/(*r*З*+x*C) = (380⋅4)/(4+103) = 1,5B.

Ток, проходящий через человека, определяется напряжением прикосновения *U*пр и его сопротивлением *r*чел и будет равен

*I*чел *= U*пр/*r*чел *=* 1,5/103 = 1,5 мА,

что намного меньше порогового поражающего тока (см. табл. 7.1).

Заземляющая

магистраль

*x*В

ПП

А

С

В

*r*В

*I*В

*r*C

*I*C

*I*З

*x*C

*U* >1000 B

*U* <1000 B

*x*C

*I*чел

*I*3/

*r*з

Рис. 7.3. Замыкание на корпус электроприёмника в сети  
с изолированной нейтралью (система IT) при наличии заземления.  
Переход высшего напряжения в цепь низшего

*U*л

*x*С

*U*пр

*r*З

*r*чел

Рис. 7.4. Эквивалентная схема замыкания на корпус электроприемника в сети с изолированной нейтралью (система IT) при наличии заземления

Заземление корпусов электроустановок, а также металлоконструкций технологического оборудования и зданий существенно улучшает и условия пожаровзрывобезопасности, а правильное устройство и эксплуатация заземления позволяют избежать искрообразований от токов замыканий на землю, что особенно важно для взрывоопасных зон.

Введение сопротивления *r*3 параллельно телу человека уменьшает эквивалентное сопротивление и снижает возможное напряжение прикосновения *U*пр, т.е. напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека. Максимальное значение *U*пр может быть равно напряжению на заземлителе *U*3, т.е. *U*пр *= U*3 *= I*3 *r*3*,* где *I*3 – ток замыкания при пробое на корпус (рис. 7.5). Согласно кривой *АВХ*, потенциалы точек, отстоящих в любом направлении от заземлителя на расстоянии от заземлителя примерно 20 м и более, близки к нулю. Следовательно, *U*пр, равное разности ординат точек О и *Х*, будет максимальным. Если человек, прикасаясь к заземленному корпусу, находится на расстоянии менее 20 м от заземлителя (например, в точке *Х*1, он подвергается воздействию только части напряжения *U′*3.

*b*

*A*

О

*I*3

*X*1

*X*

*r*3

≥ 20 м

*В*

*а*

*U*пр=*U*3=*I*3*r*3

*U*3/=*кI*3*r*3

*U*ш

0,8 м

*a*

*b*

Рис. 7.5. Напряжение прикосновения и шага в пределах растекания (однофазного замыкания)

Таким образом, напряжение, воздействию которого подвергается человек, зависит от расстояния между заземленным корпусом и заземлителем, а также от характера кривой спада потенциала, т.е. от степени выравнивания потенциалов. Кроме того, *U*пр зависит от суммы и величины сопротивления в цепи замыкания. В общем случае оно равно

*U*пр*=K*пр*U*З*=K*пр*I*з*r*з, (7.5)

где *K*пр – коэффициент прикосновения меньше единицы (0,3-0,2 и ниже для промышленных зданий).

Опасность поражения людей при однофазных замыканиях на заземленные корпуса определяется не только наличием напряжения на корпусах, но и полем довольно большой напряженности в зоне растекания тока в земле с заземлителя. Как следует из рис. 7.5, между любыми двумя точками земли на участке растекания тока существует разность потенциалов. Поэтому человек, находящийся в пределах этого участка, подвергается воздействию напряжения шага *U*ш, вследствие чего возникает ток поражения, замыкающийся в основном через ноги. Напряжение шага уменьшается при удалении человека от заземлителя и практически равно нулю на расстоянии 20 м от заземлителя. Оно определяется по формуле

*U*ш*=K*ш*U*З*=K*ш*I*З*r*З, (7.6)

где *K*ш- коэффициент, зависящий от степени выравнивания потенциалов (при рациональном устройстве заземления *K*ш принимают 0,3–0,1 и ниже).

При этом *U*ш возрастает, если человек, подвергшийся его воздействию, падает в направлении к заземлителю, и ток проходит уже не через все тело. Случаи поражения людей напряжением шага относительно редки: они могут произойти, например, вблизи упавшего на землю провода. Наиболее опасны напряжения шага при разрядах молнии.

**Зануление в сети с глухим заземлением нейтрали**

**(система ТN)**

**Глухозаземленная нейтраль** – нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Глухозаземленным может быть также вывод источника однофазного переменного тока или полюс источника постоянного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока. Перегорание плавкой вставки одного предохранителя при замыкании на корпус не обеспечивает полного