

Основы электробезопасности (1)

Опасность поражения электрическим током состоит в том, что при повсеместном распространении, источники электрического тока не могут быть идентифицированы органами чувств человека.

Всего 5% от несчастных случаев на производстве связано с поражением человека электрическим током, однако 60% из них приводят к смертельному исходу т.е., поражение электрическим током характеризуется значительной смертностью, среди пострадавших.

Действие тока на человека

Тепловое

При прохождении через вещество обладающее электрическим сопротивлением (тело человека) выделяется тепло, согласно, закону Джоуля-Ленца:

$Q = I^2 R_h t$, Дж, где I - ток, проходящий через человека, А; R_h - электрическое сопротивление человека, Ом; t - время протекания тока, с.

Электролитическое

Электрический ток вызывает разложение сложных молекул на ионы, нарушая тем самым ход биологохимических реакций в организме.

Биологическое воздействие

Непосредственное

Приводит к резкому неконтролируемому сокращению мышц под воздействием переменного эл. тока. В результате чего возможны разрывы тканей, переломы костей и другие вторичные травмы в следствие резких движений человека.

Опосредованное

Проявляется в изменении активности головного мозга, работе нервной системы, которые могут приводить к серьёзным отсроченным последствиям.

Виды электротравм

Все многообразие действий электрического тока на организм человека приводит к электротравмам, которые можно разделить на

- **местные (20%)** - ярко выраженные локальные нарушения целостности тканей, вызванные

воздействием электрического тока или электрической дуги;

- **общие или электрические удары (25%)** – травмы, связанные с поражением всего организма из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем человека;
- **смешанные (55%)** характеризуются смешанными признаками.

Исход электротравм (факторы)

Сила тока

Чем выше сила тока, тем сильнее эффект от действия тока.

Характерные значения

- $I > 1,5 \text{ мА}$ - порог ощущения.
- $I \approx 6,0 \text{ мА}$ - предельно допустимое значение тока, которое характеризуется тем, что эффект неотпускания возникает с вероятностью $P < 0,001$.
- $I > 15 \text{ мА}$ - неотпускающий ток, приводит к возникновению непреодолимых судорожных сокращений мышц конечностей, которые не позволяют пострадавшему разорвать электрическую цепь. Вероятность описанного эффекта оценивается в $P \approx 0,95$, что близко к единице.
- $I \in [20; 30] \text{ мА}$ - ток, вызывающий судорогу мышц диафрагмы, которая приводит к невозможности дыхания и смерти от удушья в течение 2 - 3 минут.
- $I > 50 \text{ мА}$ - фибрилляционный ток, вызывающий хаотические сокращения сердца (фибрилляцию), нарушающие кровообращение, остановку сердца.
- $I \approx 100 \text{ мА}$ - ток, вызывающий остановку сердца и смерть при воздействии на человека в течение 2-3 секунд.

Время протекания тока

Тяжесть последствий поражения электрическим током значительно сокращается с уменьшением времени воздействия электрического тока.

Так, например, согласно [ГОСТ 12.1.038-82](#) ток $I_{\text{доп}} = 190 \text{ мА}$ считается допустимым при времени протекания через человека $t \leq 0,2 \text{ с}$, но при уменьшении времени протекания до $t \leq 0,1 \text{ с}$ значение допустимого тока увеличивается до $I_{\text{доп}} = 400 \text{ мА}$ т.е., при протекании тока частотой $f = 50 \text{ Гц}$ указанной величины, в течение указанного времени, никаких опасных последствий для человека не будет.

Именно, на этом свойстве тока основано действие большинства приборов автоматики безопасности.

Род тока

Опасность поражения током не одинакова для токов различного рода. По степени уменьшения опасности поражения электрическим током все виды можно ранжировать следующим образом.

1. Самый опасным с точки зрения последствий воздействия на человека является **импульсный ток**. Импульсным называется ток, изменяющий свое значение с течением времени, но не изменяющий (как переменный) направления.
2. **Переменный ток** - ток, изменяющийся с течением времени по величине и направлению. При этом наибольшая опасность характерна для тока с частотой $f \in [40; 60] \text{ Гц}$.

В данный диапазон входит наиболее распространённый ток промышленной частоты $f = 50$ Гц. С повышением частоты электрических колебаний опасность поражения значительно снижается.

3. Наиболее безопасным для человека считается **постоянный ток** - ток, который с течением времени не изменяется по величине и направлению.

Данный ток проходя через организм человека вызывает меньшие, в сравнении с переменным током, сокращения мышц, вызывает нагрев кожи при малых токах или внутренний нагрев при больших токах. Кратковременные болезненные ощущения возникают лишь в момент включения человека в цепь.

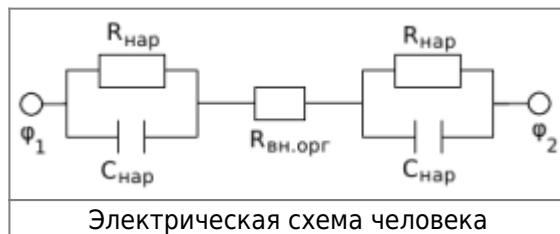
Однако при напряжениях выше 500 В постоянный ток становится опаснее переменного промышленной частоты.

Сопротивление человека, Ом

Сопротивление кожи человека является главным фактором, определяющим электрическое сопротивление всего тела человека.

Кожа человека состоит из двух основных слоёв: наружного (эпидермис) и внутреннего (дерма). Верхний слой эпидермиса называется роговым и не содержит кровеносных сосудов, нервов. В спокойном состоянии человека, сопротивление наружного покрова может достигать сотен кОм, но из-за того, что в коже расположены потовые каналы, сечение, а значит и степень увлажнённости кожи, которых существенно зависит от теплового состояния организма, сопротивление кожи человека может значительно уменьшаться.

При подключении человека к электрической цепи, тело человека можно рассматривать как часть электрической цепи, состоящей из трех последовательных участков: **кожа - внутренние органы - кожа** (см. рис).



Здесь $R_{нар}$ - активное сопротивление наружного слоя кожи, Ом; $C_{нар}$ - ёмкостное сопротивление наружного слоя кожи, Ом; $R_{вн.орг}$ - электрическое сопротивление внутренних органов, Ом.

Сопротивление кожи из-за тонкого рогового слоя кожи, являющегося диэлектриком, кроме активной составляющей имеет и ёмкостную составляющую, которая значительно убывает с ростом частоты тока.

Усиление процессов потоотделения приводит к значительному расширению потовых каналов и, как следствие, снижению электрического сопротивления кожи человека.

При этом протекание тока через человека характеризуется дальнейшим поражением кожного покрова и, как следствие, всё большим уменьшением его электрического сопротивления кожного покрова. В итоге, фактическое электрическое сопротивление человека будет определяться сопротивлением его внутренних органов, $R_{вн.орг}$, которое не превышает $R_{вн.орг} = 1$ кОм.

При оценке опасности поражения человека электрическим током, сопротивление человека упрощённо принимают равным 1 кОм.

При этом необходимо помнить, что в действительности сопротивление человека зависит от следующих факторов:

- Индивидуальных особенностей человека, даже у одного и того же человека в разное время и в разных условиях сопротивление разное, в зависимости от физического и психического состояния;
- От пола – у женщин меньше, чем у мужчин. Объясняется толщиной и различной степенью увлажнённости кожи.
- От возраста – у детей меньше, чем у взрослых и стариков.
- От внешней среды – температуры, давления, плотности.
- От состояния кожи – загрязнения, ранения, увлажненности и т.п.
- От внешних неожиданно возникающих раздражителей – болевые (удары, уколы), световые, звуковые снижают сопротивление тела человека на 20 – 50% на несколько минут.

Приложенное напряжение, В

При малых напряжениях (менее 50 В) большую часть электрического сопротивления тела человека составляет сопротивление наружного слоя кожи. Однако, толщина его настолько мала, что при напряжении свыше 50 В происходит его электрический пробой, с возникновением которого запускается механизм цепного разрушения кожного покрова, со стремительным уменьшением его электрического сопротивления. В итоге, электрическое сопротивление человека падает до величины порядка **~1 КОМ**.

Путь тока в человеке

Опасность поражения электрическим током значительно зависит от того, через какие органы непосредственно протекает электрический ток т.е., от пути протекания тока (петли) тока в теле человека.

Наиболее опасными являются петли, затрагивающие жизненно важные органы (головной мозг, сердце, лёгкие) «голова - руки», «голова - ноги».

Наименее опасным является нижняя петля «нога-нога». [Подробнее...](#)

Фактор внимания

Установлено, что у людей готовых к поражению током, пороговые значения токов, определяющих биологические эффекты воздействия тока на человека, могут увеличиваться в несколько раз.

При поражении током центральная нервная система человека играет значительную роль, сравнимую с величиной электрического сопротивления кожи, и во многом определяет результат воздействия тока на человека.

Поэтому отправляя подчинённых на работы связанные с возможностью поражения током, необходимо их предупреждать об этом.

Классификация помещений

Учёт влияния различных факторов на исход электротравм производится путём классификации помещений по степени опасности поражения электрическим током.

С повышенной опасностью

К данному типу помещений относятся помещения, в которых имеет место быть, хотя бы один из перечисленных ниже факторов.

- температура воздуха более 30 °С;
- относительная влажность воздуха более 75 %;
- наличие в воздухе проводящей пыли;
- наличие проводящих полов;
- возможность одновременного прикосновения к оборудованию с значительно различным электрическим потенциалом.

С особой опасностью

К данному типу относятся помещения со следующими признаками:

- присутствие двух и более признаков помещений с повышенной опасностью;
- наличие в воздухе агрессивных к изоляции электрооборудования веществ;
- влажность воздуха, близкая к 100 %.

Без повышенной опасности

Все иные помещения, не удовлетворяющие перечисленным выше условиям, относятся к помещениям без повышенной опасности.

Напряжение прикосновения и шага

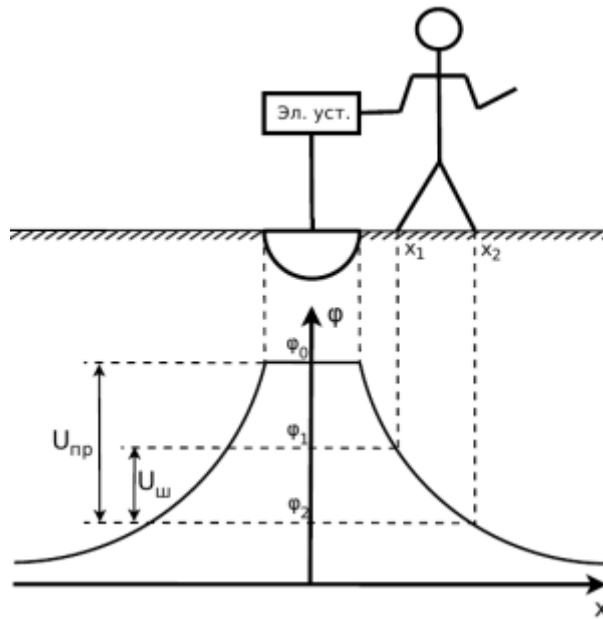
Поскольку грунт обладает некоторым не нулевым удельным сопротивлением, то в случае стекания тока в землю, например, в результате обрыва фазного провода ЛЭП, потенциал на поверхности земли с расстоянием будет уменьшаться, качественно характер изменения потенциала показан на рисунке ниже.

Следовательно, человек одной ногой находящийся на расстоянии x_1 от места стекания тока в землю, а другой ногой на расстоянии x_2 будет попадать под **шаговое напряжение** $U_{ш}$, $U_{ш} = \varphi_1 - \varphi_2$, где φ_i - соответствующие потенциалы ног.

Данное напряжение тем больше, чем шире шаг человека и чем ближе он к месту ввода тока в землю.

Напряжение прикосновения $U_{пр}$ воздействует на человека, находящегося в поле растекания или вне его и прикоснувшегося к проводящим элементам, имеющим хороший электрический контакт с заземлителем. Напряжение прикосновения определяется как разность потенциалов рук человека и его ног? $U_{пр} \approx \varphi_0 - \varphi_2$, где φ_0 - потенциал корпуса электроустановки, φ_2 - потенциал ног человека.

Напряжение прикосновения тем меньше, чем ближе человек находится к точке стекания тока в землю.



Физические свойства грунта ограничивают зону растекания тока кругом радиусом около 20 м с центром в месте ввода тока в землю, за пределами которого потенциал на поверхности земли практически равен нулю.

From:
<https://jurik-phys.net/> - **Jurik-Phys.Net**

Permanent link:
<https://jurik-phys.net/lifesafety:engineering:electro>

Last update: **2021/12/19 14:07**

