

# Электробезопасность

---

## Виды воздействия электрического тока на человека:

- **Термическое** – ожоги, нагрев кровеносных сосудов, тканей, нервов и т.д.;
- **Электролитическое** - разложение жидкостей организма (крови, лимфы) и нарушение их физико – химического состава;
- **Биологическое** - раздражение и возбуждение тканей организма, судорожное сокращение мышц, а также нарушение внутренних биологических процессов.

## Виды поражения электрическим током:

- **Электротравмы** – поражение тканей организма (ожоги, металлизация кожи, электрические знаки, механические повреждения и др.);
- **Электроудары** - общим поражением организма.

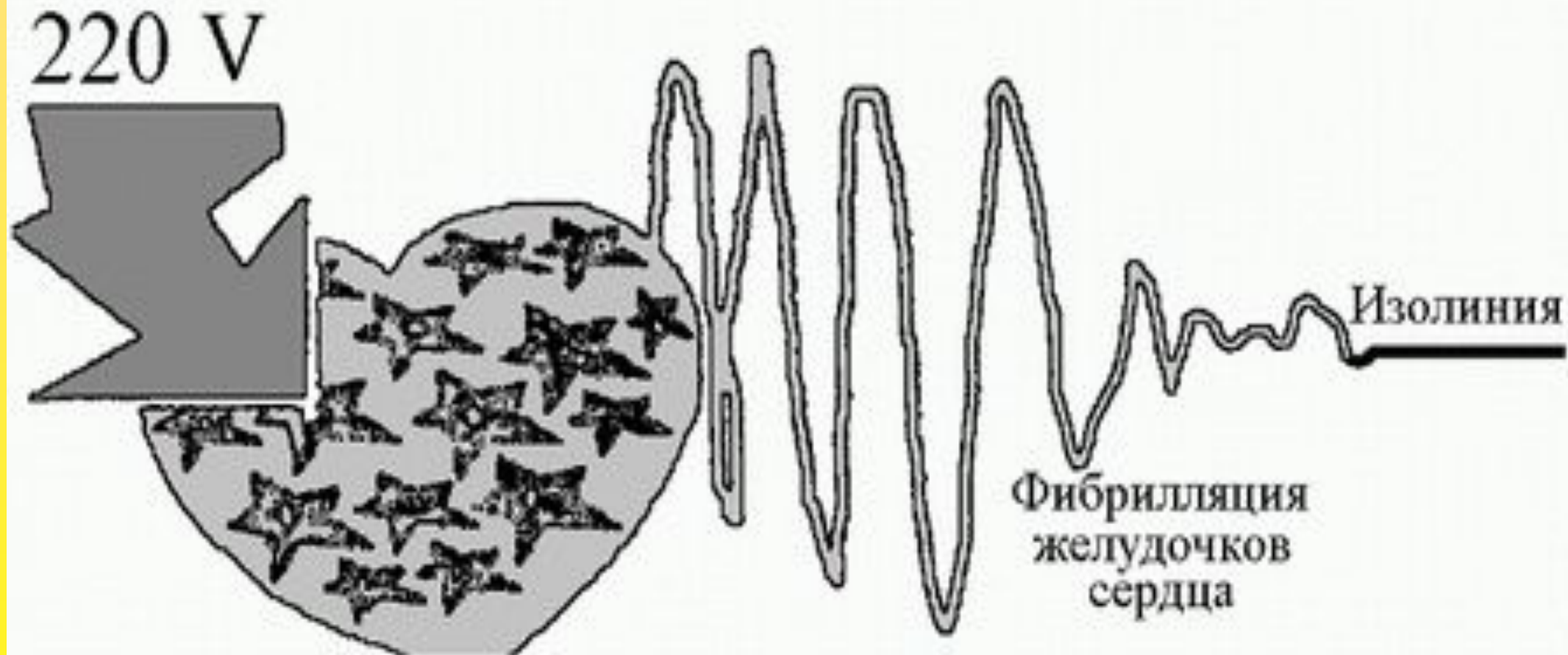
### 4 степени электрических ударов:

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.

# Факторы, определяющие степень поражения человека электрическим током:

■ **1. Сила тока**, проходящего через человека  $I_h$ , А.

■ Перегородочный (сунутый) ток. Сунутый

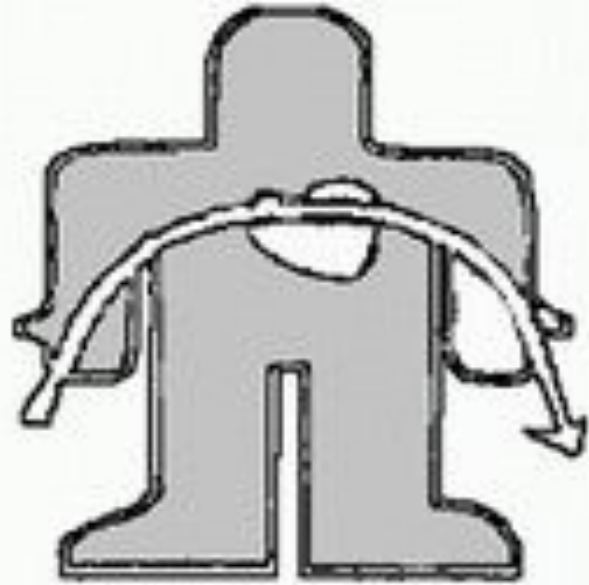


- **2. Напряжение**, т.к. оно определяет силу тока, проходящего через человека.
- **Фазное напряжение** – между началом и концом одной обмотки или между фазными и нулевым проводом,  $U_{\text{ф}}, \text{В}$ .
- **Линейное напряжение** - между фазными проводами,  $U_{\text{л}}, \text{В}$ .

### **3. Род и частота электрического тока.**

При малых напряжениях (250-300 В) переменный ток опаснее постоянного в 4-5 раз. При высоких напряжениях – постоянный ток опаснее переменного. Чем больше частота переменного тока, тем меньше сопротивление тела человека, и тем опаснее ток. Наибольшую опасность представляет переменный ток с частотой 50 – 1000 Гц. При дальнейшем повышении частоты опасность поражения уменьшается и исчезает при частоте 45 – 50 кГц, сохраняя опасность ожогов.

- **4. Электрическое сопротивление тела человека.** Наибольшее сопротивление прохождению электрического тока через тело человека оказывает кожа.
- В расчетах сопротивление тела человека принимают  $R_{ч}=1000$  Ом.
- **5. Путь прохождения тока через тело человека – петля тока.**
- Рука – рука, рука – нога, нога – нога, голова – рука и т.д.



Верхняя петля  
прохождения тока



Нижняя петля  
прохождения тока



Полная (W-образная)  
петля прохождения тока



- **6. Индивидуальные особенности организма.**
- Повышенная восприимчивость к поражению электрическим током наблюдается у людей, страдающих заболеваниями кожи, сердечно – сосудистой системы, легких и т.д.
- Проводится медицинское обследование лиц, допускаемых к работе на электроустановках (предварительное и периодическое).
- **7. Продолжительность воздействия.**
- Чем дольше человек находится под действием электрического тока, тем опаснее.

- **8. Параметры окружающей среды.**
- Согласно ПУЭ все помещения по степени опасности поражения электрическим током делятся на три класса:
  - без повышенной опасности;
  - с повышенной опасностью;
  - особо опасные.

## **1. Помещения без повышенной опасности**

Сухие, с относительной влажностью воздуха  $\leq 60\%$ ,  
безпыльные, с изолирующими полами.

*Например: аудитории, кабинеты управления, ЦПУ.*

**Классификация помещений по степени возможного поражения  
людей электрическим током**

---

## 2. Помещения с повышенной опасностью

- присутствует один из факторов:

- относительная влажность воздуха длительное время превышает 75%;
- температура воздуха длительное время превышает +35°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 к металлическим корпусам электрооборудования.

*Например: цеха механической обработки, помещения производства суперфосфата, склады*

**Классификация помещений по степени возможного поражения людей электрическим током**

### **3. Особоопасные помещения** – помещения в которых:

а) 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;

б) помещения с двумя или более факторами повышенной опасности.

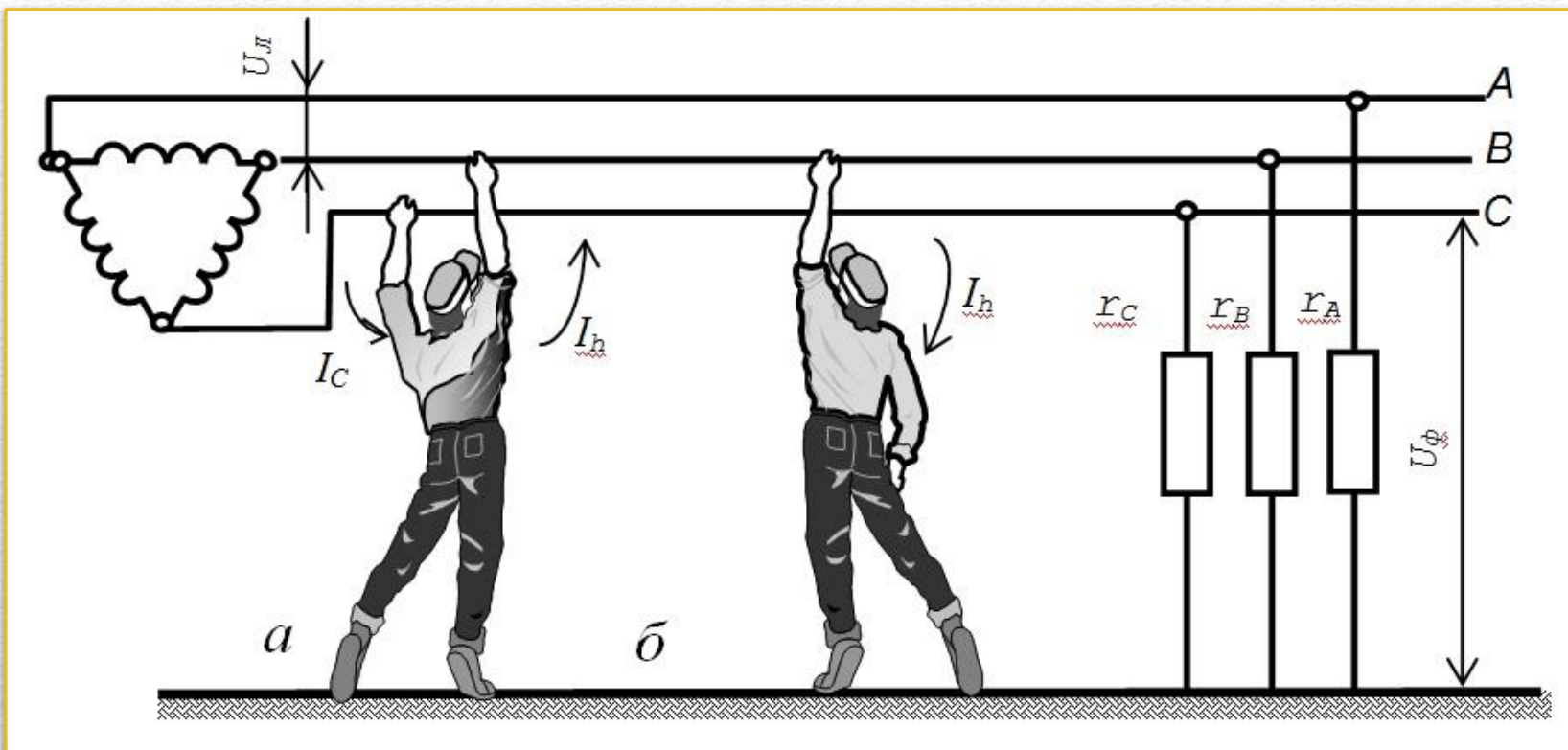
*Например: гальванические цеха; помещения аккумуляторных батарей; печные отделения.*

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

**Классификация помещений по степени возможного поражения людей электрическим током**

---

# Схемы включения человека в электрическую цепь



а – двухфазное прикосновение

б – однофазное прикосновение

## Двухфазное прикосновение

**Двухфазное прикосновение** наиболее опасно, т.к. человек попадает под линейное напряжение, а сопротивление цепи будет включать только сопротивление тела человека ( $R_h$ ).

$$I_h = U_l / R_h,$$

$U_l$  - линейное напряжение, 380 В

$R_h$  – сопротивление тела человека, 1000 Ом

## Однофазное прикосновение

Менее опасно, т.к. величину тока, проходящего через человека, определяет: сопротивление обуви и пола, режим нейтрали источника питания и режим работы сети (нормальный или аварийный).

**Нейтраль** - 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.



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

$$I_h = U_{\phi} / (R_h + R_{об} + R_{п} + R_{из} / 3)$$

$$R_{из} \geq 0,5 \text{ МОм} \quad \text{для} \quad U_{раб} < 1000 \text{ В}$$

$$R_{из} \geq 10 \text{ МОм} \quad \text{для} \quad U_{раб} > 1000 \text{ В}$$

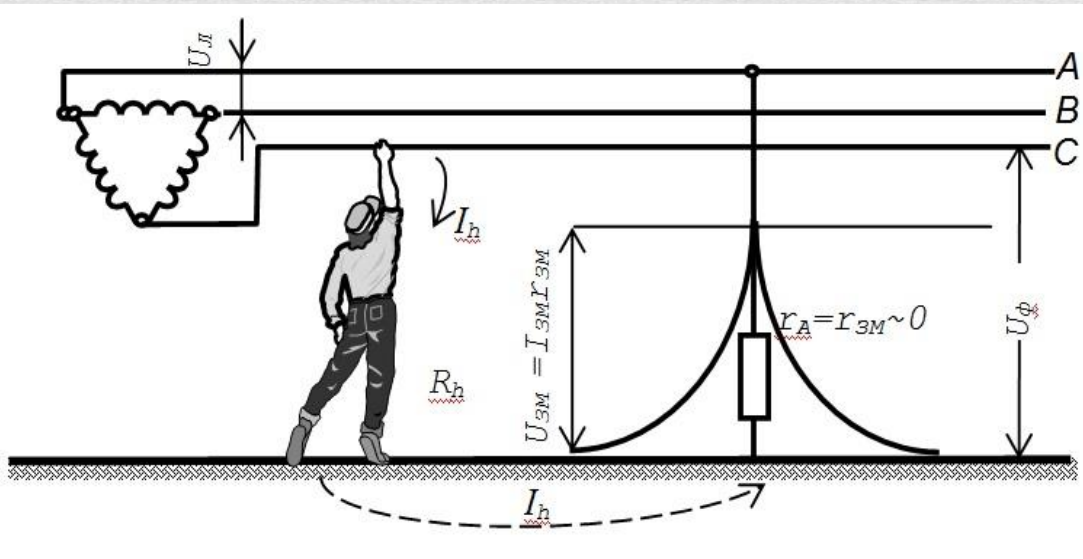
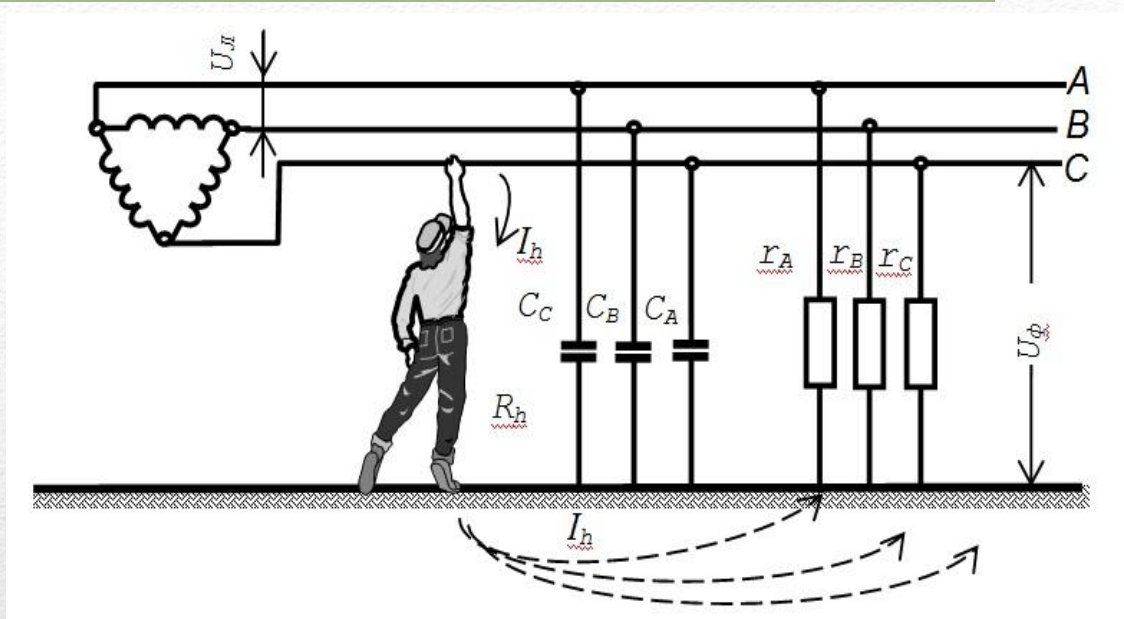
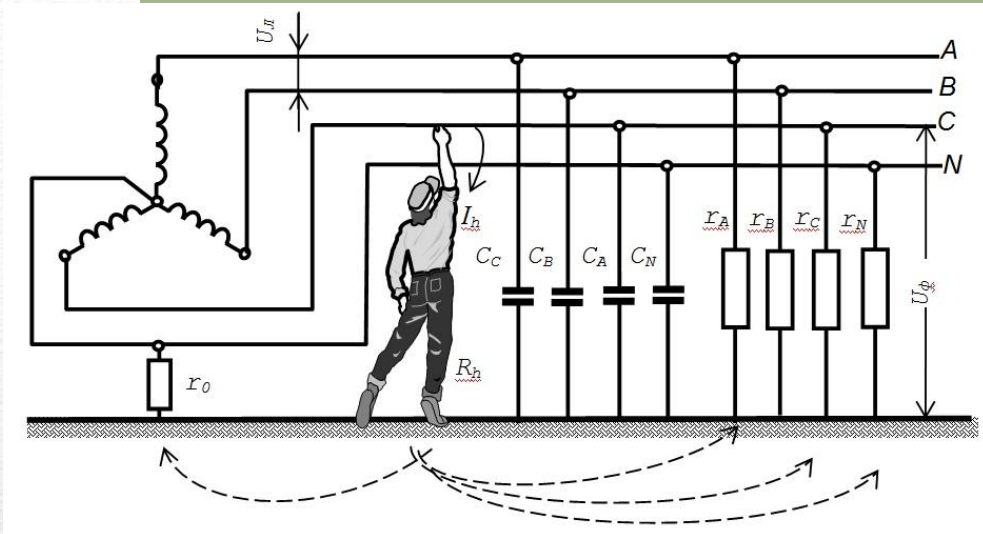


Схема однофазного включения человека в трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью в аварийном режиме работы сети

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



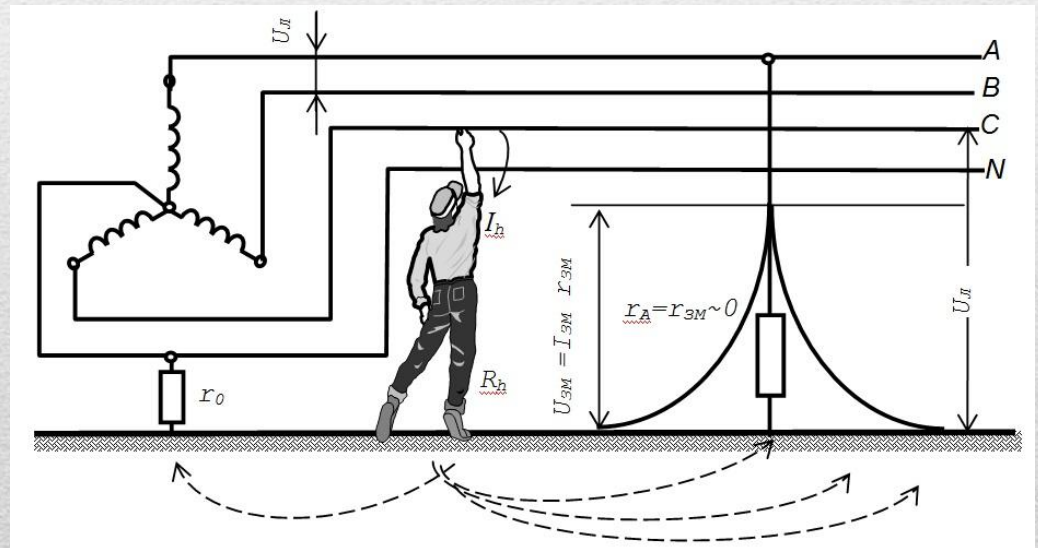
Однофазное включения человека в трехфазную четырехпроводную сеть с глухозаземленной нейтралью в нормальном режиме работы сети

$$I_h = U_\phi / (R_h + R_{об} + R_{II} + R_0)$$

$$U_\phi = U_{л} / \sqrt{3} = 220 \text{ В}; \quad R_0 \leq 10 \text{ Ом}$$

$U_\phi$  – фазное напряжение

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



$$I_h = U_\phi \cdot (r_{3M} + R_0 \cdot \sqrt{3}) / [(r_{3M} \cdot R_0) + (R_h + R_{об} + R_{II}) \cdot (r_{3M} + R_0)]$$

## Выбор схемы сети и режима работы ее нейтрали

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.

# Оценка опасности однофазного включения человека в электрическую цепь

- ❖ В период нормального режима работы сети более безопасной является сеть с изолированной нейтралью, а в аварийный период – сеть с глухозаземленной нейтралью.
- ❖ Сети с изолированной нейтралью следует использовать только в тех случаях, когда они мало разветвлены, и лишь для сухих безпыльных помещений без агрессивной среды, в которых сохраняются высокий уровень изоляции и малая емкость относительно земли.
- ❖ В реальных условиях при определении силы тока, проходящую через человека, следует учитывать также сопротивление пола, обуви, диэлектрических средств защиты.

## Выбор схемы сети и режима работы ее нейтрали

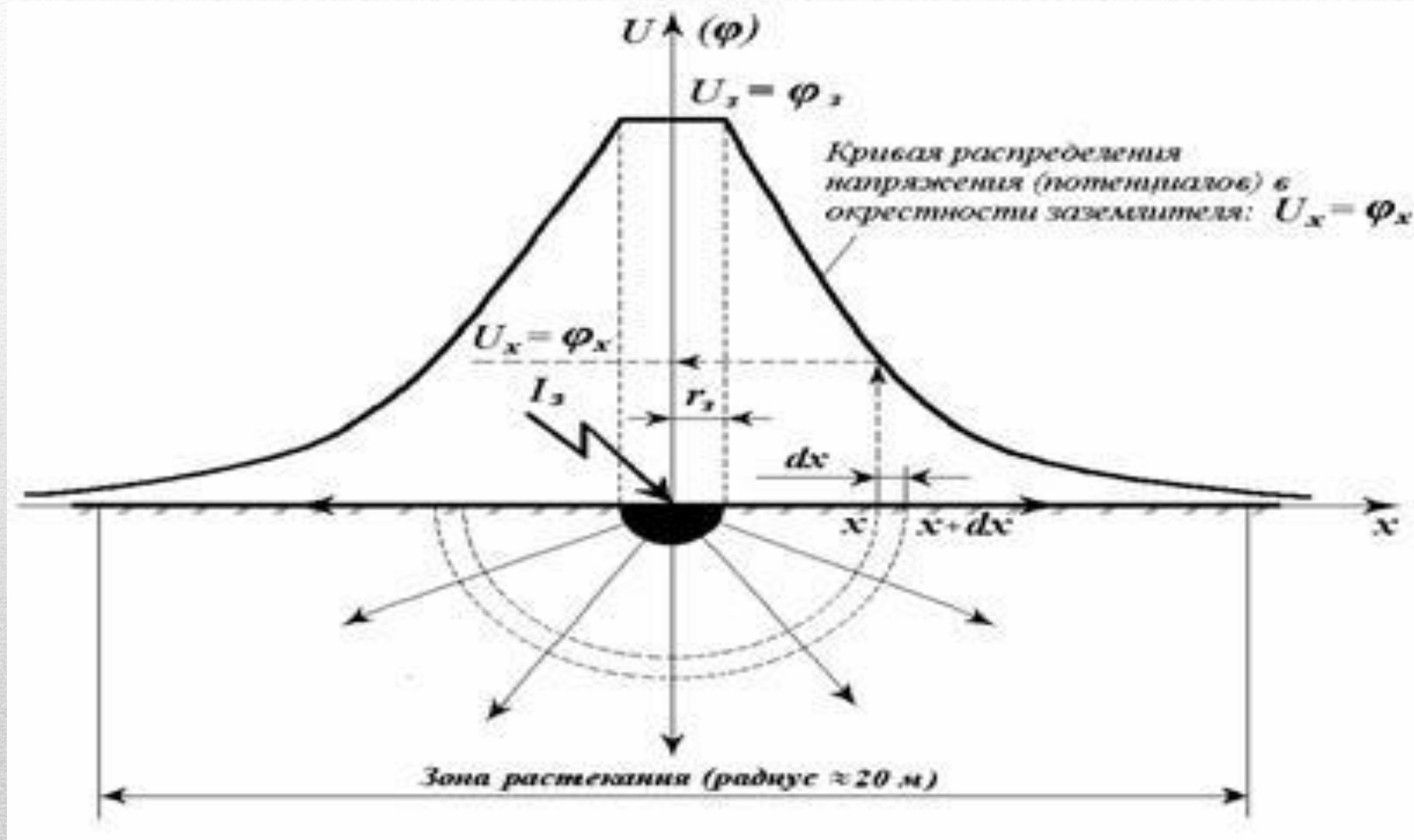
- **Сети с изолированной нейтралью целесообразно применять** в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень изоляции проводов и когда емкость сети относительно земли незначительна. Такими являются непротяженные, малоразветвленные сети, не подверженные воздействию агрессивной среды 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.

## **Замыкание электрической цепи на землю**

**Замыкание провода на землю сопровождается растеканием тока в грунте (на поверхности рабочей площадки), что приводит к возможности поражения человека электрическим током из-за попадания под напряжение шага ( $U_{\text{ш}}$ ) или под напряжение прикосновения ( $U_{\text{пр}}$ ).**

**Зона, в пределах которой существует градиент потенциала на поверхности земли, носит название зоны растекания тока (радиус зоны растекания тока составляет 20 м).**

## Замыкание электрической цепи на землю



# Замыкание электрической цепи на землю

**Напряжение шага ( $U_{\text{ш}}$ )** - это разность потенциалов между двумя точками на поверхности земли (рабочей площадки) на расстоянии шага.

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

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

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

где  $I_z$  – ток замыкания в точке касания провода с землей

$$I_z = U_{\text{ф}} / (r_{\text{зм}} + R_{\text{р.т.}}),$$

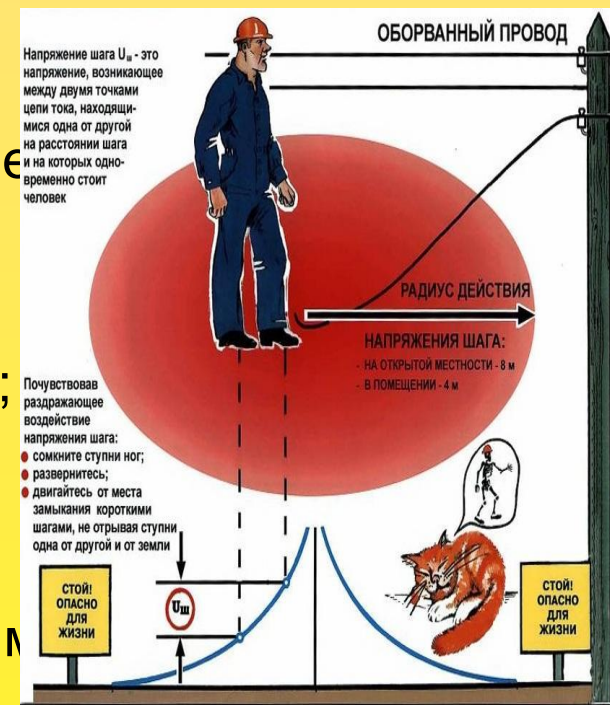
где  $R_{\text{р.т}}$  – сопротивление грунта растеканию тока, Ом;

$\rho_{\text{гр.}}$  - удельное сопротивление грунта, Ом · м;

$a$  – расстояние шага ( $a = 0,8 \text{ м}$ );

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

$R_{\text{об.}}$  – сопротивление обуви, Ом.





# Замыкание электрической цепи на землю

**Напряжение прикосновения ( $U_{пр}$ )** – это разность между потенциалом на корпусе электроустановки, которой касается человек ( $\phi_3$ ) и потенциалом поверхности земли рабочей площадки) в точке, где находится человек ( $\phi_a$ )

$$U_{пр} = \phi_3 - \phi_a$$

$$\phi_3 = I_3 \cdot R_3,$$

$I_3$  – ток замыкания, А;

$R_3$  – сопротивление заземлителя, Ом.

$$\phi_a = I_3 \cdot \rho_{гр.} / (2 \cdot \pi \cdot x),$$

$x$  – расстояние между точкой замыкания и местом нахождения человека

$\rho_{гр.}$  – удельное сопротивление грунта, Ом · м.

**Ток, протекающий через человека при прикосновении, равен:**

$$I_h = U_{пр} / (R_h + R_{об} + R_n),$$

$R_{об.}$  – сопротивление обуви, Ом;

$R_n$  – сопротивление поверхности, Ом.



# Обеспечение электробезопасности

- Изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, двойная, усиленная). Является основным методом защиты.
  - при  $U_{\text{раб}} < 1000$  В сопротивление изоляции  $R_{\text{из}} \geq 0,5$  МОм;
  - при  $U_{\text{раб}} \geq 1000$  В,  $R_{\text{из}} \geq 10$  МОм.
- Применение малых напряжений. Безопасным является переменное напряжение менее 42В и постоянное напряжение величиной менее 110 В. В особоопасных помещениях  $U_{\text{без}} \leq 12$ В для  $f = 50$  Гц.
- Укрытие токоведущих частей в сочетании с блокировкой.
- Расположение токоведущих частей (проводов) на недоступной для соприкосновения высоте.
- Использование специального инструмента.
- Организационные мероприятия (вывешивание предупредительных плакатов, инструктаж, и т.п.).

# Обеспечение электробезопасности

**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. Его назначение - превращение «замыкания на корпус» в «замыкание на землю» с целью уменьшения  $U_{пр}$  и  $U_{ш}$  до безопасных величин.

Сопротивление заземления:

$$R_{\text{заз}} \leq 2-4 \text{ Ом при } U_{\text{раб}} < 1000 \text{ В}$$

$$R_{\text{заз}} \leq 0,5 - 1,0 \text{ Ом при } U_{\text{раб}} \geq 1000 \text{ В.}$$



Заземление состоит из зарытых в землю металлических электродов - заземлители, и проводников, соединяющих их с заземляемыми частями установок (медные или алюминиевые).

**Совокупность заземлителей и заземляющих проводников называется заземляющим устройством.**

---

# Заземлители

- **Естественные** – электропроводящие части коммуникаций и сооружений, находящиеся в земле, за исключением трубопроводом горючих жидкостей и газов.
  - **Искусственные** – вбитые или закопанные в землю электроды (стальные трубы).
-

# Виды заземления

- **Выносное** - заземлитель находится за пределами площадки, на которой располагается оборудование.
- **Контурное** – одиночные заземлители размещены по контуру площадки, на которой расположено оборудование.

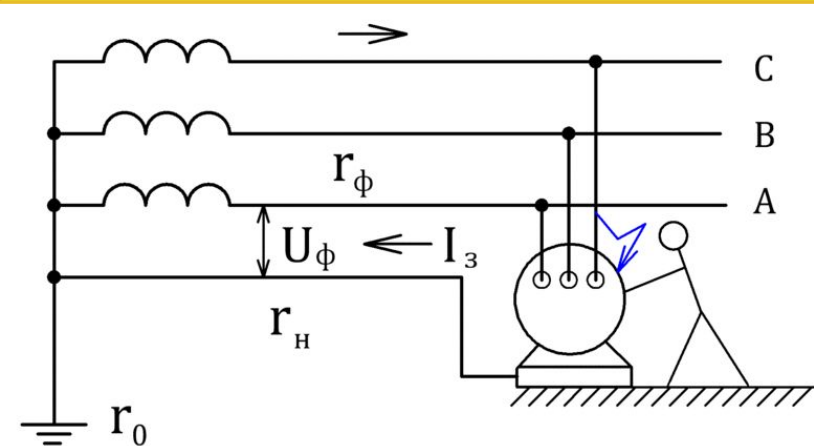
Выносное используют при небольшой силе тока замыкания в установках с напряжением до 1000 В.

При контурном, напряжения шага и прикосновения имеют небольшие значения , следовательно достигается максимальная безопасность работающих.

---

# Обеспечение электробезопасности

**Защитное зануление** – осуществляется присоединением корпуса или других конструктивных нетоковедущих частей электроустановок к многократно заземленному нулевому проводу. 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.



**Защитное зануление применяют в трехфазных четырехпроводных сетях с глухозаземленной нейтралью с напряжением до 1000 В**

# Обеспечение электробезопасности

**Защитное отключение** – это быстродействующее ( $\leq 0,2\text{с}$ ) 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.



**Защитное отключение применяют:**

- в качестве дополнения к системам заземления и зануления;
- в качестве единственной и основной меры защиты (например, в передвижных электроустановках с изолированной нейтралью, в условиях повышенной опасности поражения электрическим током и взрывоопасности)

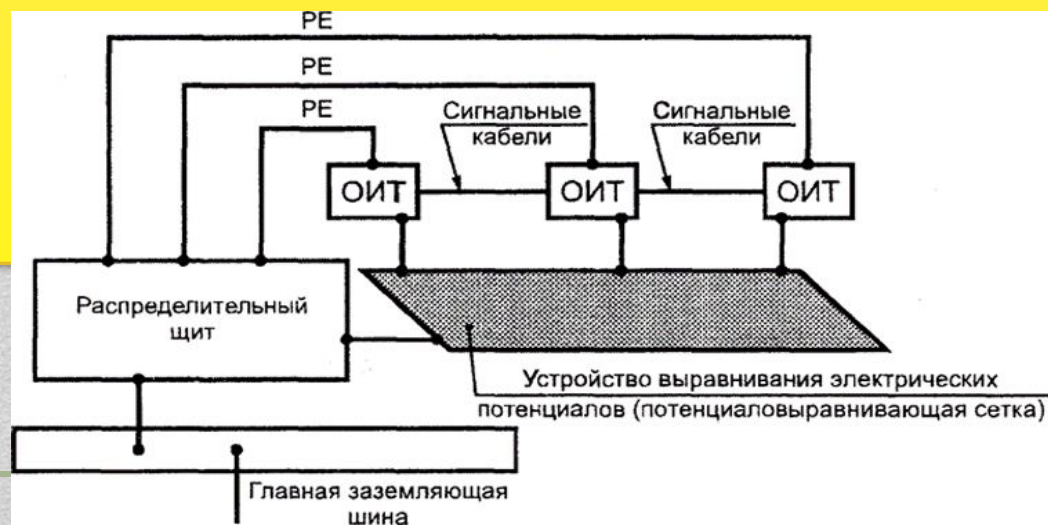


# Обеспечение электробезопасности

**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.



# Средства индивидуальной защиты

## 1. Основные

- средства защиты, изоляция которых длительное время выдерживает рабочее напряжение электроустановок.

### В электроустановках напряжением до 1000 В:

- ✓ диэлектрические перчатки
- ✓ изолирующие штанги
- ✓ изолирующие и электроизмерительные клещи
- ✓ слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками
- ✓ указатели напряжения

### В электроустановках напряжением выше 1000 В

- ✓ изолирующие штанги
- ✓ изолирующие и электроизмерительные клещи
- ✓ указатели напряжения
- ✓ изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.)



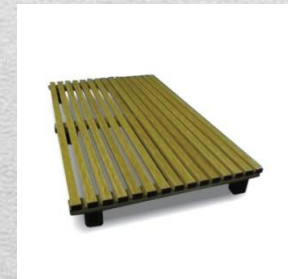
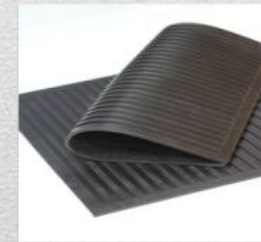
# Средства индивидуальной защиты

## 2. Дополнительные

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 электрозащитными средствами.

### В электроустановках напряжением до 1000 В:

- ✓ диэлектрические калоши
- ✓ диэлектрические коврики
- ✓ изолирующие подставки



### В электроустановках напряжением выше 1000 В

- ✓ диэлектрические перчатки
- ✓ диэлектрические боты
- ✓ диэлектрические коврики
- ✓ изолирующие подставки



# Профилактика электротравматизма

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

## **Предупредительная сигнализация, знаки безопасности, плакаты.**

Основное назначение - предупреждение 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. Предупредительная сигнализация может быть: световой и звуковой.

## Первая помощь при электропоражениях

В случае попадания человека под действие электрического тока необходимо:

- **незамедлительно** вызвать бригаду скорой помощи,
- освободить пострадавшего от действия тока
- оказать ему первую доврачебную медицинскую помощь.

## **Освобождение пострадавшего от действия тока:**

**1.** Быстро отключить часть электроустановки, которой касается человек с помощью ближайшего рубильника, выключателя или путем перерубания провода. Перерубить провод можно лишь в установках до 1000 В, воспользовавшись топором с сухой деревянной рукояткой или кусачками с изолированными рукоятками.

**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; 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.



# Статистическое электричество

# Статическое электричество возникает

- При наливке электризующихся жидкостей (эфир, бензол, толуол и т.д.) в незаземленные резервуары;
  - Во время протекания жидкостей по трубопроводам, изолированных от земли;
  - При фильтрации через пористые перегородки и сетки;
  - В процессе перемешивания в смесителях;
  - При трении диэлектриков между собой и т.д.
-



## **Опасные факторы статического электричества:**

- источник зажигания при пожарах и взрывах;
  - фактор биологического воздействия;
  - нарушает ход технологических процессов.
-

По величине удельного электрического сопротивления  $\rho$  материалы делятся на:

**Диэлектрики**

$$\rho > 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

**Антистатики**

$$10^5 \leq \rho \leq 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

**Проводники**

$$\rho < 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

# Способы защиты от статического электричества

- 1.** Заземление оборудования и трубопроводов.  
Предельно-допустимое сопротивление заземляющего устройства  $R_{\text{зазем}} \leq 100 \text{ Ом}$ .
- 2.** Снижение вероятности образования электростатических зарядов за счет ограничения скоростей перемещения жидкостей
- 3.** Технологическое и транспортное оборудование рекомендуется изготавливать из материалов с удельным сопротивлением не более  $10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

# Способ защиты от статического электричества

4. Уменьшение электрического сопротивления за счет:
- повышения относительной влажности воздуха;
  - химической обработки поверхности ПАВ;
  - использования антистатических присадок в горючие диэлектризирующиеся жидкости;
  - использования электропроводящих наполнителей;
  - нанесение электропроводящих пленок;
  - последующего заземления оборудования

5. Применение нейтрализации зарядов статического электричества за счет ионизации воздуха