

# **Электрический ток**

## **Воздействие электричества на человека**

В производственной сфере и в быту человек постоянно сталкивается с различным электрическим оборудованием и инструментом. Он не имеет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, ни звука, ни каких-либо других, предупреждающих об опасности, факторов. Наибольшее число электротравм (60...70 %) происходит при работе на электроустановках напряжением до 1000 В.

Электрический ток, протекая через тело человека, производит термическое, электролитическое, биологическое, механическое и световое воздействие.

**Термическое** воздействие характеризуется нагревом кожи и тканей вплоть до ожогов.

**Электролитическое** воздействие заключается в электролитическом разложении жидкостей, в том числе и крови. **Биологическое** действие электрического тока проявляется в нарушении биологических процессов, протекающих в организме, и сопровождается возбуждением тканей, вплоть до их разрушения, и судорожным сокращением мышц.

**Механическое** действие приводит к механическим повреждениям кожи, тканей, органов и костей.

**Световое** воздействие вызывает повреждение органов зрения

Различают два вида поражения электрическим током: электрические травмы и электрические удары.

**Электрические травмы** – это местные поражения тканей и органов. К ним относятся электрические ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи, механические повреждения в результате непроизвольных судорожных сокращений мышц (разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервных волокон, вывихи суставов и переломы костей), а также электроофтальмия - воспаление глаз в результате воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги.



## МЕТАЛІЗАЦІЯ КОЖИ



**Электрический удар** представляет собой возбуждение живых тканей организма, проходящим через него, электрическим током, сопровождающееся непроизвольным сокращением мышц. Электрические удары принято подразделять на четыре степени:

Судорожное сокращение мышц без потери сознания;

Судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранением дыхания и работы сердца;

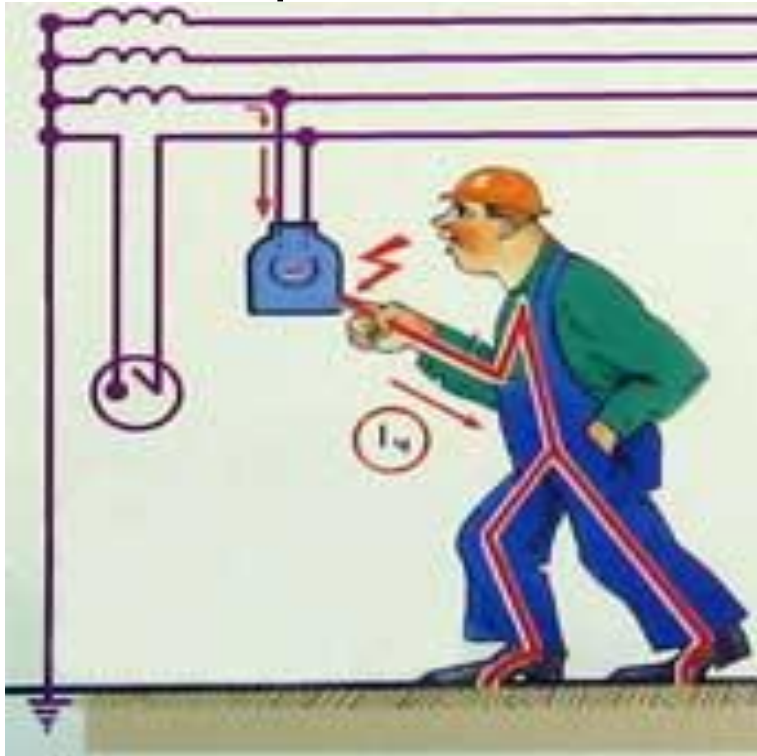
Потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

Клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.





Поражение электротоком может произойти при прикосновении: к токоведущим частям, находящимся под напряжением; отключенным токоведущим частям, на которых остался заряд или появилось напряжение в результате случайного включения; к металлическим нетоковедущим частям электроустановок после перехода на них напряжения с токоведущих частей.





Кроме того, возможно электропоражение напряжением шага при нахождении человека в зоне растекания тока на землю и поражение электрической дугой в установках с напряжением более 1000 В, при приближении к частям, находящимся под напряжением, на недопустимо малое расстояние, зависящее от значения напряжения.

Характер и последствия поражения человека электрическим током зависят от ряда факторов: от электрического сопротивления тела человека, величины тока, времени, в течение которого человек находился под напряжением, рода и частоты тока, схемы включения человека в электрическую цепь, состояния здоровья и индивидуальных особенностей организма.



Электрическое сопротивление тела человека складывается из сопротивления кожи и сопротивления внутренних тканей. Кожа, в основном верхний ее слой толщиной до 0,2 мм, состоящий из мертвых ороговевших клеток, обладает большим сопротивлением, которое определяет общее сопротивление тела человека. При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление тела человека составляет до 20000 Ом. При увлажненной и загрязненной коже сопротивление тела уменьшается до 300...500 Ом, т.е. до сопротивления внутренних органов. При расчетах сопротивление тела человека принимается равным 1000 Ом.

Главным фактором, от которого зависит исход поражения, является сила тока, протекающего через тело человека. Чем больше сила тока, тем тяжелее последствия. Человек начинает ощущать проходящий через него ток промышленной частоты 50 Гц со значения 0,5...1,5 мА. Этот ток называется *пороговым осязательным током*.

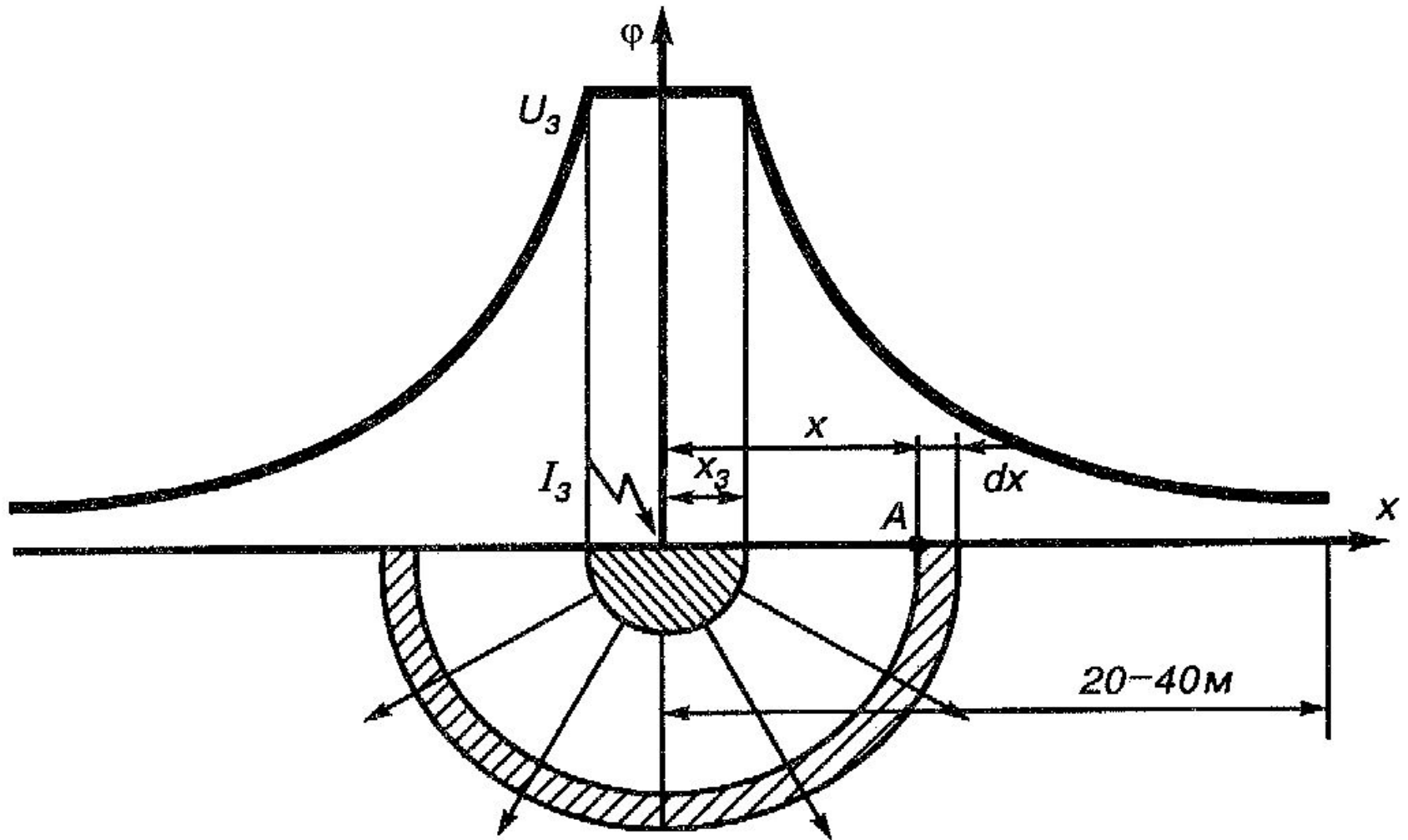
Ток силой 10...15 мА вызывает сильные и непроизвольные судороги мышц, которые человек не в состоянии преодолеть, т.е. он не может разжать руку, которой касается токоведущей части или отбросить от себя провод. Такой ток называется **пороговым неотпускающим**. При силе тока 20...25 мА у человека происходит судорожное сокращение мышц грудной клетки, затрудняется и может прекратиться дыхание, что, в свою очередь может привести к летальному исходу. Ток силой 100 мА называется **пороговым фибрилляционным**, т.к. он оказывает непосредственное влияние на сердечные мышцы, вызывая остановку сердца или его фибрилляцию (быстрые хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы), при которой сердце перестает работать.

Фактором, определяющим исход поражения, является длительность времени, в течение которого пострадавший находился под воздействием электрического тока. С течением времени резко возрастает сила тока вследствие уменьшения сопротивления тела и, кроме того, в организме человека накапливаются отрицательные последствия воздействия тока.

Род и частота тока определяют тяжесть последствий поражения электрическим током. Наиболее опасен переменный ток частотой 20...1000 Гц. При частоте < 20 Гц или > 1000 Гц опасность поражения током значительно снижается.

Состояние окружающей среды (температура, влажность, наличие пыли, паров агрессивных жидкостей) влияет на сопротивление тела человека и сопротивление изоляции оборудования, что в конечном итоге определяет характер и последствия поражения электрическим током.

# Расстекание тока в грунте



Растекание тока в грунте происходит при замыкании тока на землю в случае повреждения изоляции и пробое фазы на корпус оборудования, при падении на землю провода под напряжением и по другим причинам.

Растекание тока замыкания в грунте определяет характер распределения потенциалов на поверхности земли. Для упрощения анализа сделаем следующие допущения: ток стекает в грунт через одиночный заземлитель полусферической формы, грунт однородный и удельное сопротивление грунта ( $\rho$ ) во много раз превышает удельное сопротивление материала заземлителя.

Тогда плотность тока в точке  $A$  на расстоянии  $x$  определяется из зависимости:

$$\delta = \frac{I_3}{S} = \frac{I_3}{2\pi \cdot x^2}$$

где  $I_3$  – ток, стекающий с заземлителя в грунт;  $S = 2\pi \cdot x^2$  – площадь поверхности полусферы радиусом  $x$ .

Падение напряжения в элементарном слое грунта толщиной  $dx$  выразится через напряженность поля  $E$  и толщину этого слоя:  $dU = Edx$

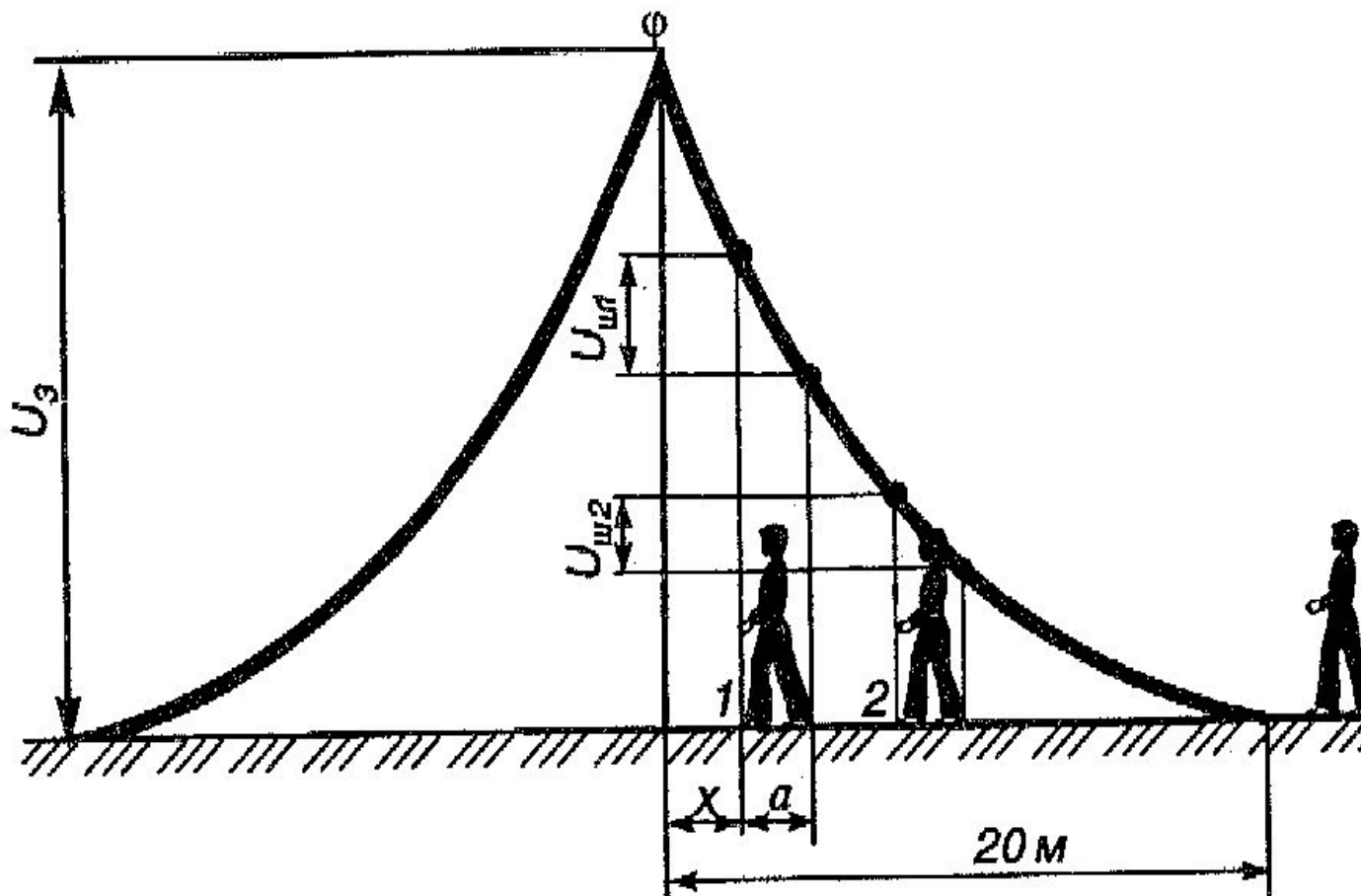
Напряженность поля определяется законом Ома  $E = \delta\rho$   
Потенциал точки  $A$  (или напряжение в этой точке) равен падению напряжения от точки  $A$  до бесконечно удаленной точки с нулевым потенциалом. Поэтому:

$$\varphi_A = U_A = \int_x^{\infty} dU = \int_x^{\infty} \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x^2} dx$$

А это ничто иное, как гипербола.

Таким образом, потенциал на поверхности грунта распределяется по закону гиперболы.

# Напряжение шага





**Напряжение шага** («шаговое напряжение») – это напряжение между точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю при одновременном касании этих точек ногами человека.

Численно напряжение шага равно разности потенциалов точек, на которых находятся ноги человека.

При расположении одной ноги человека на расстоянии  $x$  от заземлителя и ширине шага  $a$  (обычно принимается  $a = 80$  см), получается, что

$$U_{\text{ш}} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \cdot \frac{a}{x(x+a)}$$

**ИЛИ**

$$U_{\text{ш}} = U_3 \frac{ax_3}{x(x+a)} = U_3 \cdot \beta$$

где  $\beta$  - коэффициент напряжения шага, который зависит от вида заземлителей, расстояния от заземлителя и ширины шага (чем ближе к заземлителю и чем шире шаг, тем  $\beta$  больше).

Напряжение шага максимально у заземлителя и уменьшается по мере удаления от заземлителя; вне поля растекания оно равно нулю. С увеличением ширины шага, напряжение шага также увеличивается.

Ток, обусловленный напряжением шага,  $I_{\text{ч}} = U_{\text{ш}}/R_{\text{ч}}$ . Следует отметить, что при поражении человека напряжением шага, ток протекает по нижней петле, т.е. от одной ноги к другой.

Значительные напряжения шага вызывают судорогу в ногах, человек падает, после чего цепь тока замыкается вдоль всего тела человека.

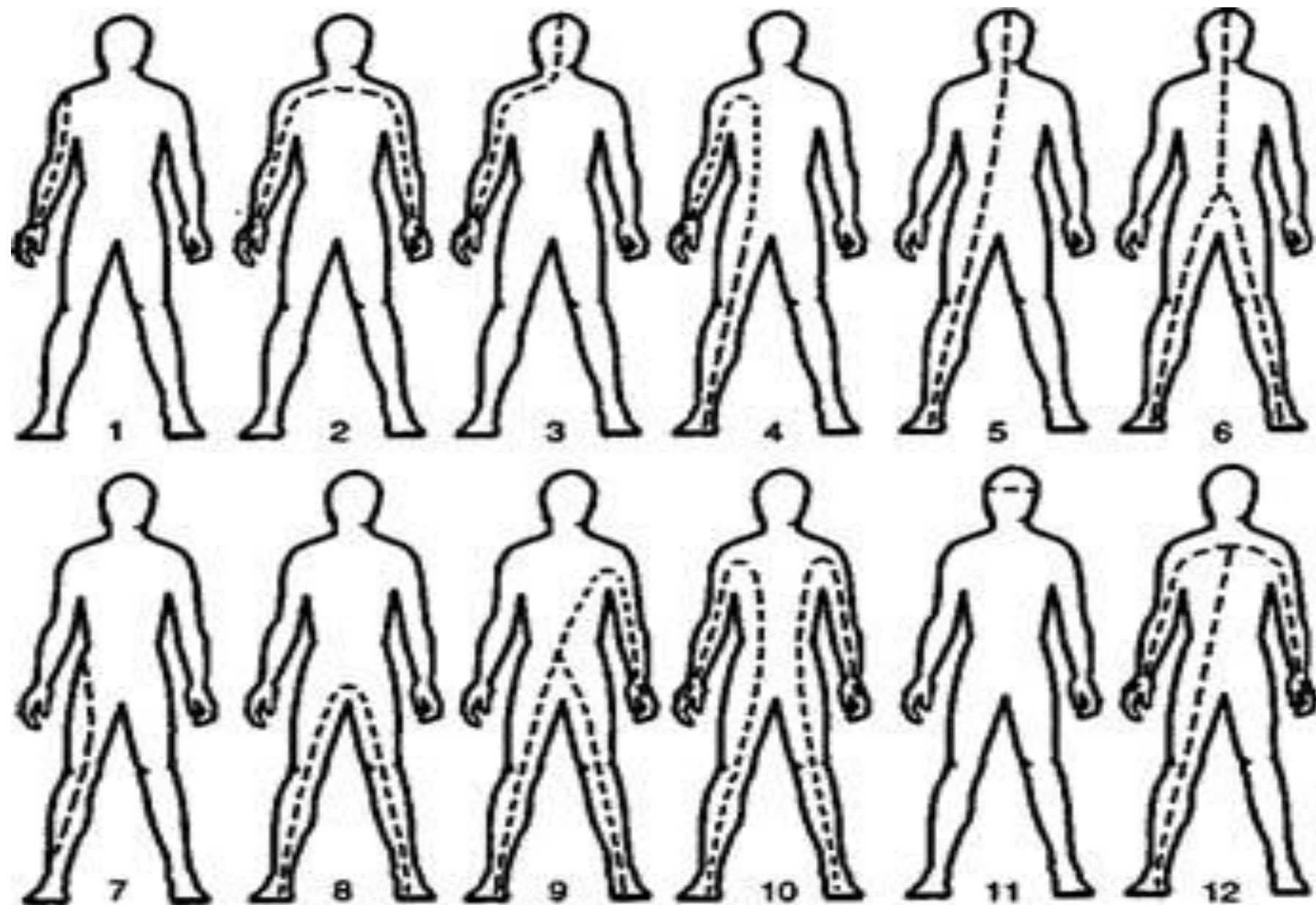


Рис. 2.3. Варианты «петель тока» (1–12)

# **Воздействие статического электричества.**

**Статическое электричество** – это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности и в объеме диэлектрических и полупроводниковых веществ, материалов, изделий или на изолированных проводниках. Широкое использование в промышленности и в быту диэлектриков и полупроводников значительно расширило область проявления статического электричества. Повышение скоростей технологических процессов способствует усилению процессов электризации.

**Электризация** – это комплекс физических и химических процессов, приводящих к разделению в пространстве зарядов противоположных знаков или к накоплению зарядов одного знака. Суть в том, что нейтральные тела,

Установлено, что положительные заряды скапливаются на поверхности того из двух соприкасающихся веществ, диэлектрическая проницаемость которого больше. Если соприкасающиеся вещества имеют одинаковую диэлектрическую проницаемость, то электрические заряды не возникают.

При статической электризации напряжение относительно земли достигает десятков, а то и сотен тысяч вольт.

Значения токов при этом очень малы и составляют  $10^{-7} \dots 10^{-3}$  А.

Опасность статического электричества проявляется в возможности образования электрических искр и неблагоприятном действии его на организм человека.

Искра может служить причиной воспламенения горючих или взрывоопасных смесей газов, паров или пыли с воздухом. Анализ причин пожаров и взрывов на производствах, показывает, что почти 60 % всех взрывов происходит по причине возникновения статического



Статическое электричество оказывает вредное воздействие на организм человека, причем не только при непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающего вокруг заряженных поверхностей. Наиболее часто применяемой мерой защиты от статического электричества, является заземление.

**Цель заземления** – снятие электрических зарядов с элементов оборудования. При заземлении изолированного проводника, разность потенциалов между проводником и землей становится равной нулю, а возникающие электростатические заряды стекают в землю. Оборудование, являющееся источником возникновения зарядов статического электричества, следует выделять и заземлять независимо от заземления всей технологической цепи.