

# Электробезопасность

Различают три вида заземлений: рабочее заземление, защитное заземление для безопасности людей и заземление грозозащиты оборудования установки.

К рабочему заземлению относится заземление нейтралей силовых трансформаторов и генераторов, глухое или через дугогасящий реактор для гашения дуги замыкания на землю, трансформаторов напряжения, реакторов поперечной компенсации в дальних линиях электропередачи и заземление фазы при использовании земли в качестве рабочего провода.

Защитное заземление выполняется для обеспечения безопасности в первую очередь людей, обслуживающих электрическую установку, путем заземления металлических частей установки, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при перекрытии или пробое изоляции.

Заземление грозозащиты служит для отвода тока молнии в землю от защитных разрядников и молниеотводов (стержневых или тросовых).

Рабочее и защитное заземления должны выполнять свое назначение в течение всего года, тогда как заземление грозозащиты — лишь в грозовой сезон.

Различают три климатические зоны, соответствующие северной, средней и южной полосе европейской части СССР. Эти зоны характеризуются средними многолетними температурами января, средней многолетней высшей температурой воздуха в июле, средним количеством осадков и числом дней замерзания воды (табл. 1-1).

**Таблица 1-1**

**Сезонные коэффициенты  $k$  и толщины слоя сезонных изменений  $H_c$**

Климатические зоны	$k$ при влажности земли перед измерением			$H_c$ , м
	повышенной	средней	пониженной	
I	7	4	2,7	2,2
II	5	2,7	1,9	2,0
III	4	2,0	1,5	1,8

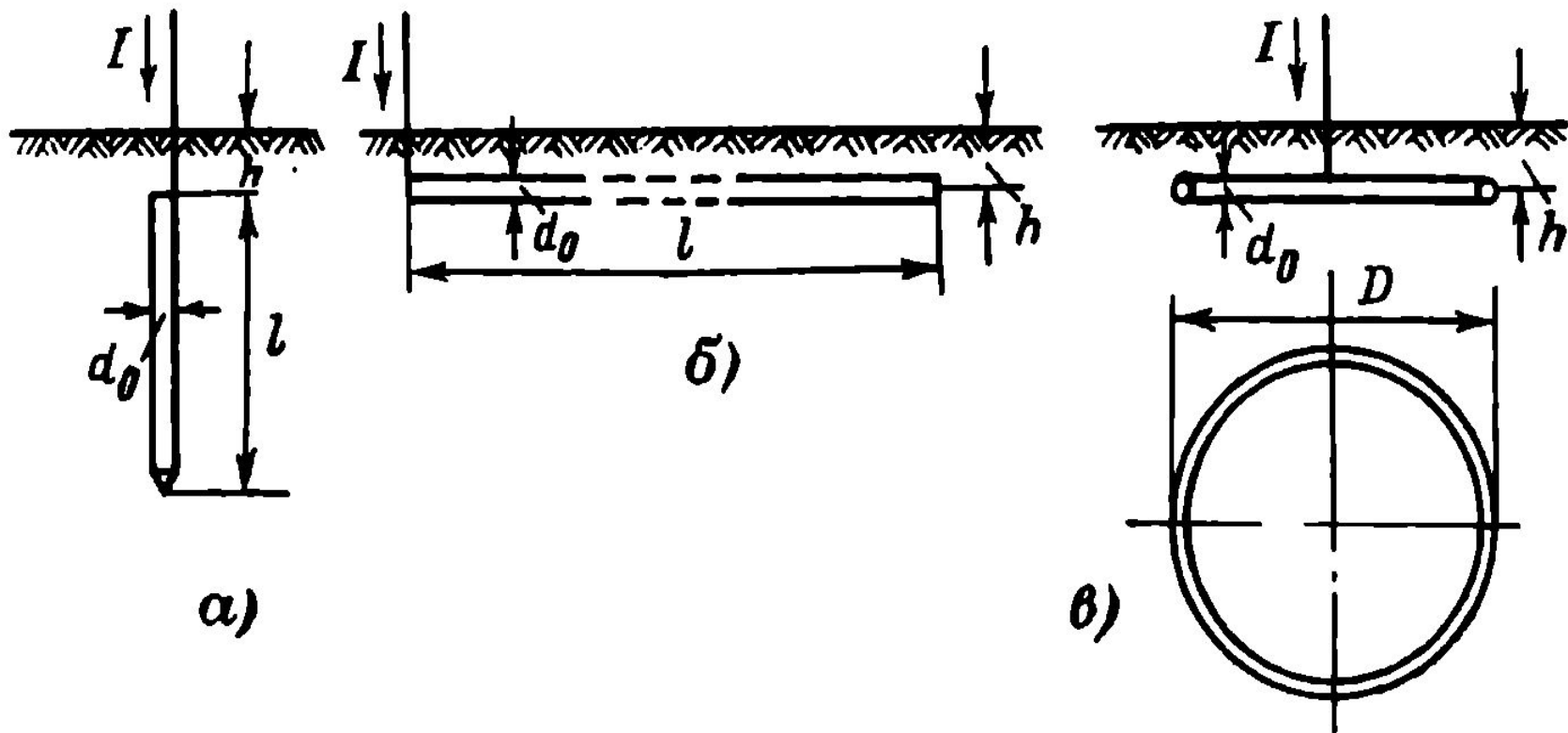


Рис. 1-9. Электроды заземлителей.

*a* — вертикальный; *б* — горизонтальный; *в* — кольцевой.

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы, угловая и круглая (прутковая) сталь длиной  $l=2\div 10$  м. Наименьшие поперечные размеры допускаются следующие: у круглых электродов диаметр  $d_0=6$  мм, толщина полок угловой стали  $b=4$  мм и толщина стенок стальных труб  $b_1=3,5$  мм. Наименьшие довы. Для горизонтальных заземлителей применяется полосовая сталь сечением не менее  $48 \text{ мм}^2$  и толщиной  $4$  мм и круглая сталь с диаметром не менее  $10$  мм [14].

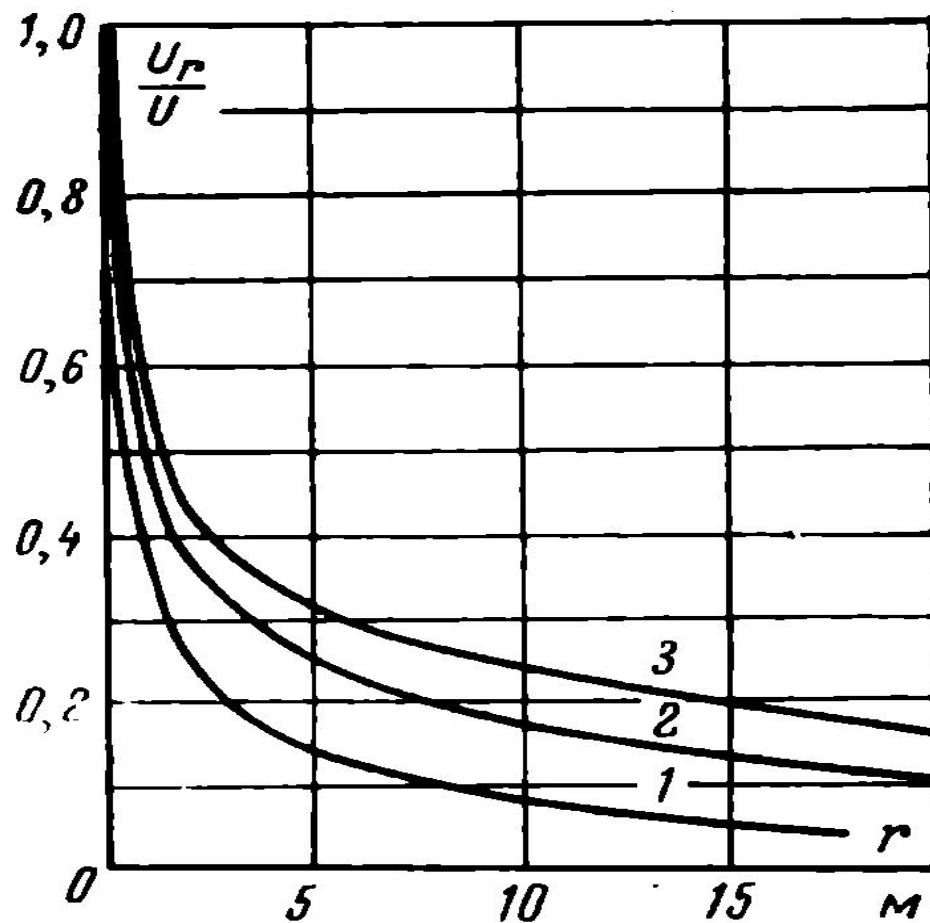


Рис. 1-10. Распределение относительного потенциала в радиальном направлении от середины горизонтальных заземлителей, расположенных у поверхности земли.

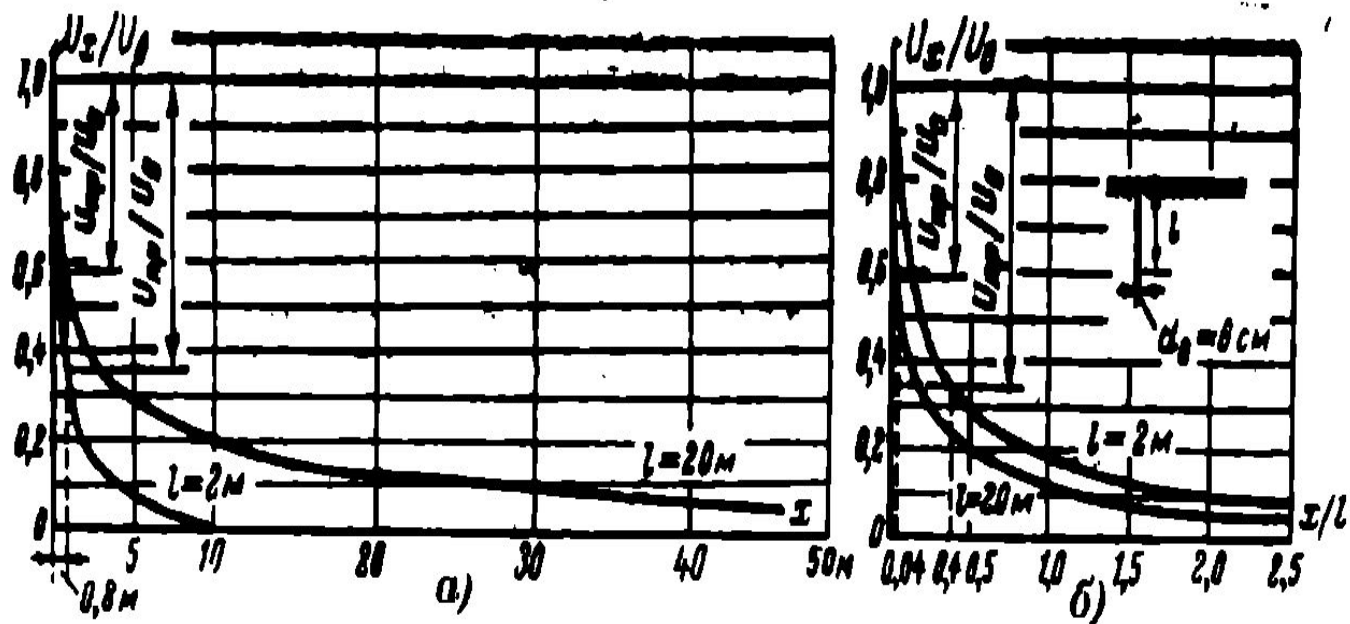


Рис. 1-12. Распределение относительного потенциала по поверхности земли вокруг вертикальных электродов (диаметр  $d_0=0,06$  м).

$a - U_x/U_0=f(x)$ ;  $b - U_x/U_0=f(x/l)$ .

Ниже приводятся нормированные значения допустимых напряжений на теле человека при прикосновении к заземленным объектам в зависимости от продолжительности воздействия, т. е. длительности протекания тока [20].

Продолжительность воздействия $t$ , с . . . . .	0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	3,0
Допустимое напряжение на теле $U_T$ , В . . . . .	500	400	200	130	100	65

При этих нормированных величинах допустимых напряжений на теле человека в установках с заземленной нейтралью (100 В при 1 с и 400 В при 0,2 с) вероятность поражающего действия напряжения на теле человека с некоторым запасом по [21] составляет  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Требования к защитным мерам в отношении обеспечения безопасности в большой мере зависят от режима нейтрали сети и связанных с этим условий, возникающих при однофазных замыканиях.

В СССР в сетях напряжением выше 1000 в глухое заземление нейтрали применяется при напряжениях 110 кВ и выше. При напряжениях 6—35 кВ нейтраль либо полностью изолируется от земли, либо заземляется через достаточно большое сопротивление для компенсации емкостных токов. В обоих случаях такие сети с точки зрения устройства заземлений относятся к системам с изолированной нейтралью.

В установках переменного тока до 1000 в возможны следующие режимы:

1) глухое заземление нейтрали генераторов и трансформаторов;

2) полностью изолированная нейтраль (только у генераторов);

3) нормально изолированная нейтраль трансформатора, но в нейтраль или фазу включен заземленный пробивной предохранитель.



Действие электрического тока на живую ткань в отличие от действия других материальных факторов (пара, химических веществ, излучения и т. п.) носит своеобразный и разносторонний характер. В самом деле, проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электрическое и механическое (динамическое) действия, являющиеся обычными физико-химическими процессами, присущими как живой, так и неживой материи; одновременно электрический ток производит и биологическое действие, которое является специфическим процессом, свойственным лишь живой ткани.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока выражается в разложении органической жидкости, в том числе и крови, что сопровождается значительными нарушениями их физико-химического состава.

Механическое (динамическое) действие тока выражается в расслоении, разрыве и других подобных повреждениях различных тканей организма, в том числе мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов, сосудов легочной ткани и др., в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара от перегретой током тканевой жидкости и крови.

Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями.

**Два вида электрических травм.** Указанное многообразие действий электрического тока на организм нередко приводит к различным электротравмам\*, которые условно можно свести к двум видам: местным электротравмам, когда возникает местное повреждение организма, и общим электротравмам, так называемым электрическим ударам, когда поражается (или создается угроза поражения) весь организм из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Примерное распределение несчастных случаев от электрического тока в промышленности по указанным видам травм: 20% – местные электротравмы; 25% – электрические удары; 55% – смешанные травмы, т. е. одновременно местные электротравмы и удары\*\*.

Характерные местные электротравмы — электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия.

Как указывалось, примерно 75% случаев поражения людей током сопровождается возникновением местных электротравм. По видам травм эти случаи распределяются следующим образом, %:

Электрические ожоги . . . . .	40
Электрические знаки . . . . .	7
Металлизация кожи . . . . .	3
Механические повреждения . . . . .	0,5
Электроофтальмия . . . . .	1,5
Смешанные травмы, т. е. ожоги с другими местными травмами . . . . .	23
Всего . . . . .	75

Под электрическим ударом следует понимать возбуждение живых тканей организма протекающим через него электрическим током, проявляющееся в непроизвольных судорожных сокращениях различных мышц тела.

В зависимости от исхода поражения электрические удары можно условно разделить на следующие пять степеней

I – судорожное едва ощутимое сокращение мышц,

II – судорожное сокращение мышц, сопровождающееся сильными, едва переносимыми болями, без потери сознания,

III – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца,

IV – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (или того и другого вместе),

V – клиническая смерть, т е отсутствие дыхания и кровообращения

Воздействие тока на мышцу сердца может быть прямым, когда ток проходит непосредственно в области сердца, и рефлекторным, т. е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этой области. В обоих случаях может произойти остановка сердца, а также возникнуть его фибрилляция. Фибрилляция может быть и результатом рефлекторного спазма артерий, питающих сердце кровью. При поражении током фибрилляция сердца наступает значительно чаще, чем полная его остановка.

*Фибрилляция сердца* – хаотические разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам.

**Электрическое сопротивление различных тканей тела человека** неодинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия и хрящи имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа и особенно спинной и головной мозг — малое. Например, при токе 50 Гц удельное объемное сопротивление составляет Ом м:

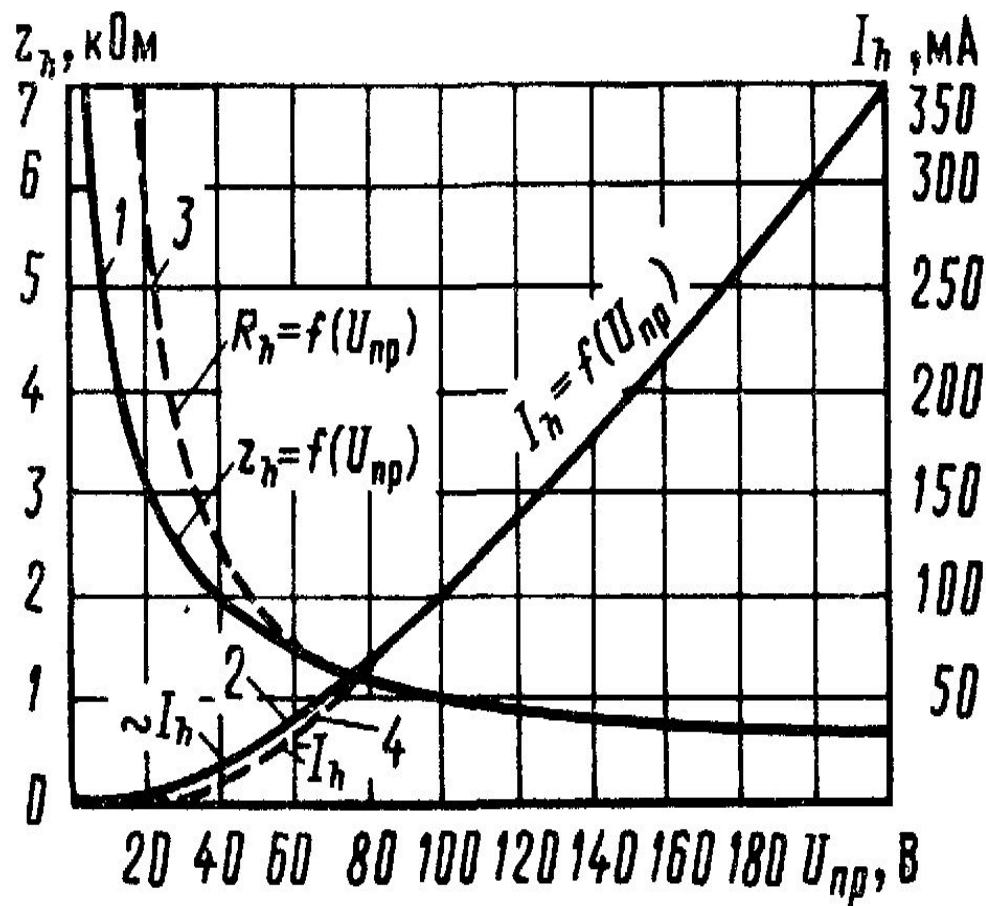
Кожи сухой . . . . .	3 · 10 <sup>3</sup> — 2 · 10 <sup>4</sup>
Кости (без надкостницы) . . . . .	10 <sup>4</sup> — 2 · 10 <sup>6</sup>
Жировой ткани . . . . .	30 — 60
Мышечной ткани . . . . .	1,5 — 3
Крови . . . . .	1 — 2
Спинномозговой жидкости . . . . .	0,5 — 0,6

Из этих данных следует, что по сравнению с другими тканями кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, которое является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом.



Рис 1.9. Зависимость сопротивления тела человека и тока, протекающего через него, от приложенного напряжения:

1 и 2 – переменный ток 50 Гц,  
3 и 4 – постоянный ток



## **б) Характер воздействия на человека токов разного значения**

Рассмотрим подробнее, как изменяется опасность воздействия на человека тока в зависимости от его значения. При этом будем считать, что ток через человека проходит по наиболее типичным путям, а именно от руки к руке или от руки к ногам.

**Ощутимый ток.** Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него малого тока в среднем около 1,1 мА при переменном токе частотой 50 Гц и около 6 мА при постоянном токе. Это воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и легким пощипыванием (покалыванием), а при постоянном токе – ощущением нагрева кожи на участке, касающемся токоведущей части.

Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм ощутимые раздражения, называется **ощутимым током**, а наименьшее значение этого тока называется **пороговым ощутимым током**.

Значения пороговых ощутимых токов у разных людей различны.

Вероятность возникновения ощущения и наименьшие токи частотой 50 Гц, вызывающие эти ощущения, т. е. пороговые ощутимые токи, имеют следующие значения:

Вероятность возникновения ощущения, % . . . . .	99,9	50	10	5	1	0,1
Пороговый ощутимый ток, мА . . . . .	1,59	1,11	0,91	0,86	0,76	0,63

Таким образом, воздействие переменного тока 0,63 мА частотой 50 Гц будет ощущать лишь 1 чел. из тысячи, а тока 1,59 мА — 999 чел. из тысячи.

**Неотпускающий ток.** Увеличение тока сверх порогового ощутимого вызывает у человека судороги мышц и болезненные ощущения, которые с ростом тока усиливаются и распространяются на все бóльшие участки тела.

Так, при 3–5 мА (50 Гц) действие тока ощущается всей кистью руки, касающейся токоведущей части; при 8–10 мА боль резко усиливается и охватывает всю руку, сопровождаясь произвольными сокращениями мышц руки и предплечья.

При токе в среднем около 15 мА (50 Гц) боль становится едва переносимой, а судороги мышц рук оказываются настолько значительными, что человек не в состоянии их преодолеть.

Вероятность возникновения эффекта неотпускания, % . . .	99,9	50	10	5	1	0,1
Пороговый неотпускающий ток, мА . . . . .	24,6	14,9	10,9	9,8	7,7	5,3

Таким образом, переменный ток 5,3 мА частотой 50 Гц является неотпускающим лишь для 1 чел. из тысячи, а ток 24,6 мА — для 999 чел. из тысячи.

Пороговые неотпускающие токи различны также у мужчин, женщин и детей. Приближенные средние значения их составляют: для мужчин — 16 мА при 50 Гц и 80 мА при постоянном токе, для женщин — соответственно 11 и 50 мА, для детей — 8 и 40 мА.

**Таблица 1.1. Характеристика наиболее распространенных путей тока в теле человека**

Путь тока	Частота возникновения данного пути тока, %	Доля потерявших сознание во время воздействия тока, %	Значение тока, проходящего через область сердца, % общего тока, проходящего через тело
Рука — рука	40	83	3,3
Правая рука — ноги	20	87	6,7
Левая рука — ноги	17	80	3,7
Нога — нога	6	15	0,4
Голова — ноги	5	88	6,8
Голова — руки	4	92	7,0
Прочие	8	65	—

Примечания 1 Во второй графе за 100% приняты все несчастные случаи поражения током, повлекшие за собой утрату трудоспособности более чем на 3 рабочих дня

2 Предполагается, что при воздействии шагового напряжения (путь тока нога — нога) пострадавшие теряли сознание (15%) после падения на землю, т е когда возникал новый путь тока