

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА МЕТРОЛОГИИ И  
БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОХРАНА ТРУДА В ОТРАСЛИ»

НА ТЕМУ

## **«ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»**

**ЗАДАЧИ:**

**«ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ»  
«РАСЧЕТ ШАГОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ»  
«РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЕМЛЕНИЯ»**

Составитель: к.т.н., доцент О.В. Крайнюк



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»

***Электробезопасность – это система мероприятий и средств, направленная на защиту человека от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.***

Случаи поражения человека током возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая величиной тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в цепь, напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от величины емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

*Характер и последствия воздействия на человека электрического тока зависят от следующих факторов:*

- электрического сопротивления тела человека;
- величины напряжения и тока;
- продолжительности действия электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- рода и частоты электрического тока;
- индивидуальные свойства человека;
- условий внешней среды.

Величина тока, проходящего через тело человека, является основным фактором, определяющим тяжесть электротравм. Различают три степени воздействия тока на организм человека и соответствующие им три пороговых значения: *ощутимый*, *неотпускающий* и *фибрилляционный* ток.

***Ощутимый ток*** - электрический ток, вызывающий при прохождении через организм ощутимые раздражения. Ощутимые раздражения вызывает переменный ток силой 0,6 ... 1,5 мА и постоянный – силой 5 ... 7 мА. Указанные значения являются пороговыми ощутимыми токами; с них начинается область ощутимых токов.

***Неощутимый ток*** – электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Пороговый неотпускающий ток составляет 10 ... 15 мА переменного тока и 50 ... 60 мА постоянного. При таком токе человек уже не может самостоятельно разжать руку, в которой зажата токоведущая часть, и оказывается как бы прикованным к ней.

***Фибрилляционный ток*** – электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца. Пороговый фибрилляционный ток составляет 100 мА переменного тока и 300 мА

постоянного при длительности 1 ... 2 с по пути «рука-рука» или «рука – ноги». Фибрилляционный ток может достичь 5 А. Ток больше 5 А фибрилляцию сердца не вызывает. При таких токах происходит мгновенная остановка сердца.

Поражение человека током возможно только при замыкании электрической цепи через тело человека.

**Напряжение прикосновения** – напряжение, появляющееся на теле человека при одновременном прикосновении к двум точкам проводников или проводящих частей, в том числе при повреждении изоляции. Опасность такого прикосновения оценивается величиной тока, проходящего через тело человека. Величина тока зависит от напряжения прикосновения и ряда факторов: сопротивления кожи человека, схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжения сети, схемы сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей и др.

Таблица 1.

Ток, проходящий через тело человека, мА	Переменный (50 Гц) ток	Постоянный ток
0,5 ... 1,5	Начало ощущений: слабый зуд, пощипывание кожи	Не ощущается
2 ... 4	Ощущение распространяется на запястье; слегка сводит мышцы.	Не ощущается
5 ... 7	Болевые ощущения усиливаются по всей кисти; судороги; слабые боли во всей руке до предплечья	Начало ощущений; слабый нагрев кожи под электродами
8 ... 10	Сильные боли и судороги во всей руке, включая предплечье. Руки трудно оторвать от электродов.	Усиление ощущения.
10 ... 15	Едва переносимы боли во всей руке. Руки невозможно оторвать от электродов. С увеличением продолжительности протекания тока боли усиливаются.	Значительный нагрев под электродами и в прилегающей области кожи.
20 ... 25	Сильные боли. Руки парализуются мгновенно, оторвать их от электродов невозможно. Дыхание затруднено.	Ощущение внутреннего нагрева, незначительное сокращение мышц рук.
25 ... 50	Очень сильная боль в руках и в груди. Дыхание крайне затруднено. При длительном	Сильный нагрев, боли и судороги в руках. При отрыве рук от электродов

воздействию может наступить  
остановка дыхания или  
ослабление сердечной  
деятельности с потерей  
сознания

возникают сильные боли.

50 ... 80	Дыхание парализуется через несколько секунд, нарушается работа сердца. При длительном воздействии может наступать фибрилляция сердца	Очень сильный поверхностный и внутренний нагрев. Сильные боли в руке и в области груди. Руки невозможно оторвать от электродов из-за сильных болей.
80 ... 100	Фибрилляция сердца через 2...3 с.; еще через несколько секунд – остановка дыхания.	То же действие выраженное сильнее. При длительном действии остановка дыхания.
300	То же действие за меньшее время.	Фибрилляция сердца через 2...3 с.; еще через несколько секунд остановка дыхания.
Более 5000	Фибрилляция сердца не наступает; возможна временная остановка его в период протекания тока. При протекании тока в течении нескольких секунд тяжелые ожоги и разрушение тканей.	

Схемы включения человека в цепь могут быть различными. Однако наиболее характерными являются две схемы включения: между двумя проводами и между одним проводом и землей (рис. 1).

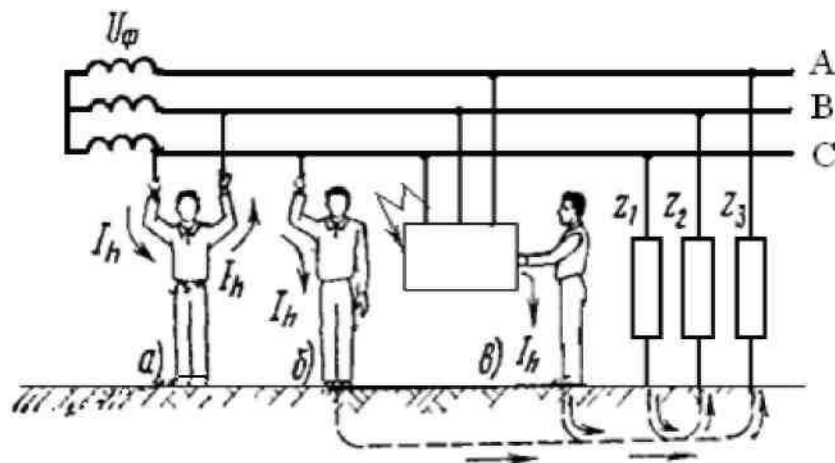


Рис. 1 – Случаи включения человека в электрическую цепь: а - двухфазное, б, в - однофазные,  $Z_1, Z_2, Z_3$  – полные сопротивления проводов относительно земли

*Двухфазное включение*, т.е. прикосновение человека одновременно к двум фазам, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение - линейное, и поэтому через человека пойдет больший ток:

$$I_h = \frac{U_{\ddot{e}}}{R_h} = \frac{1,73U_{\delta}}{R_h} \quad (1)$$

где  $I_h$  - ток, проходящий через тело человека, А;  $U_l = \sqrt{3}U_{\phi}$  - линейное напряжение, т.е. напряжение между фазными проводами сети, В;  $U_{\phi}$  - фазное напряжение, т. е. напряжение между началом и концом одной обмотки (или между фазным проводом и нейтралью), В.

Согласно современным требованиям Правил устройства электроустановок (Правила улаштування електроустановок) сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль источника питания, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока. Общее сопротивление всех повторных заземлителей воздушной линии должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В, при этом сопротивление каждого из повторных заземлителей должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях. Кроме того, при удельном электрическом сопротивлении грунта более 100 Ом·м допускается увеличение указанных выше значений  $R_0$  и  $R_{\Pi}$  в отношении  $\rho/100$ , но не более чем в 10 раз.

### Задача 1. Определение тяжести поражения электрическим током

**Задача.** Человек случайно прикоснулся к электрической колодке (колодка не закрыта съемной крышкой), через которую подается напряжение на электрический двигатель. Двигатель питается от трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, сопротивление заземления нейтрали  $R_0 = 4$  Ом, линейное напряжение  $U_l = 380$  В, сопротивление исправной изоляции равно 0,5 МОм, сопротивление изоляции ухудшенного качества  $R_{из}$  кОм. Принять сопротивление кожи поверхности тела человека  $R_r$  Ом, сопротивление внутренних тканей организма  $R_{вн}$  Ом, сопротивление обуви  $R_{об}$  Ом, сопротивление пола на площади, равной поверхности ступней ног  $R_{п}$  Ом.

Определить (исходные данные к решению задачи в таблице 2):

1. Электрическое сопротивление тела человека.
2. Ток, проходящий через человека, при случайном касании: оголенного фазного зажима.
3. При замыкании человеком двух зажимов.
4. При прикосновении к проводу с исправной изоляцией.
5. При прикосновении к проводу с ухудшенной изоляцией.



Таблица 2 - Исходные данные к решению задачи 1

№ варианта	Сопротивление изоляции ухудшенного качества, кОм	Сопротивление кожи поверхности тела человека, $R_k$ Ом	Сопротивление внутренних тканей организма, $R_{вн}$ Ом	Сопротивление обуви, $R_{об}$ Ом	Сопротивление пола на площади, равной поверхности ступней ног, $R_{п}$ Ом
1.	15	950	550	150	125
2.	20	900	650	250	200
3.	25	800	500	300	300
4.	30	1100	550	350	400
5.	35	1000	600	400	500
6.	40	900	650	350	400
7.	45	800	600	300	300
8.	50	700	550	250	200
9.	55	800	500	200	150
10.	60	900	550	150	125

*Указания к решению задачи*

**Задача.** Человек случайно прикоснулся к электрической колодке (колодка не закрыта съемной крышкой), через которую подается напряжение на электрический двигатель. Двигатель питается от трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, сопротивление заземления нейтрали  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ , линейное напряжение  $U_{л}=380\text{В}$ , сопротивление исправной изоляции равно  $0,5 \text{ МОм}$ , сопротивление изоляции ухудшенного качества -  $15 \text{ кОм}$ . Принять сопротивление кожи поверхности тела человека  $1000 \text{ Ом}$ , сопротивление внутренних тканей организма  $600 \text{ Ом}$ , сопротивление обуви  $200 \text{ Ом}$ , сопротивление пола на площади, равной поверхности ступней ног  $125 \text{ Ом}$ .

Перечисленные варианты прикосновения могут привести к производственному электротравматизму.

1. Найдем общее сопротивление человека при протекании тока по контуру рука-нога. Схема замещения сопротивления тела человека для случая протекания тока по контуру рука - нога показана на рисунке 2.

Величины этих сопротивлений изменяются в широких пределах. Например,  $R_k$ ,  $R_p$  сильно зависят от влажности:  $R_p$  составляет  $200 - 300 \text{ Ом}$ , если кожа влажная (при решении задач  $R_p$  принимать =  $300 \text{ Ом}$ ), и десятки тысяч  $\text{Ом}$  при сухом состоянии кожи.



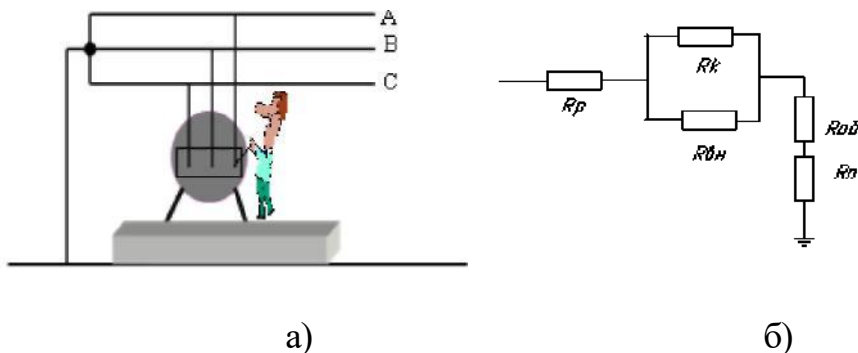


Рис. 2 – Схемы прикосновения (а) и замещения сопротивления человека (б)

$R_p$  - сопротивление кожи на руке в месте контакта;

$R_k$  - сопротивление кожи поверхности тела;

$R_{вн}$  - сопротивление внутренних тканей организма;

$R_{об}$  - сопротивление обуви;

$R_{п}$  - сопротивление пола на площади, равной поверхности ступней ног.

Сопротивление внутренних тканей организма составляет 500–1000 Ом.

Сопротивление параллельной цепочки  $R_k$ ,  $R_{вн}$  равно:

$$R_1 = \frac{R_k \cdot R_{вн}}{R_k + R_{вн}} = \frac{1000 \cdot 600}{1000 + 600} = 375 \hat{\Omega} \quad (2)$$

Сопротивление пола зависит от его материала, влажности, наличия загрязнений. Так, сопротивление бетонного пола  $R_{п}$  на площади, равной поверхности ступней ног, составляет сухого - 2 МОм, сырого - 200 Ом, покрытого водой со щелочью - 10 Ом.

Сопротивление обуви зависит от ее вида (резиновая, кожаная), влажности и приложенного напряжения. Ориентировочно можно считать, что сопротивление сухой обуви  $R_{об}$  лежит в пределах от 100 до 500 Ом, сырой – от 0,5 до 1,5 Ом.

При указанных величинах сопротивлений наименьшая величина общего сопротивления человека составит:

Рука-нога-пол:

$$R_{\dot{z}} = R_p + R_1 + R_{об} + R_{п} = 300 + 375 + 200 + 125 = 1000 \hat{\Omega} \quad (3)$$

Рука-рука:

$$R_{\dot{z}} = R_p + R_1 + R_{п} = 300 + 375 + 300 = 975 \hat{\Omega} \quad (4)$$

Однако в реальных условиях сопротивление может быть и меньшей величины. Правда, при благоприятном стечении обстоятельств сопротивление человека может достигнуть величины 40000–100000 Ом.

2. При случайном касании оголенного фазного зажима (рука-нога-пол) человек попадает под фазное напряжение и сила тока, проходящего через него, равна:

$$I_{\dot{\div}} = \frac{U_{\delta}}{R_{\dot{\div}}} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А} \quad (5)$$

Ток такой величины безопасен, если время его протекания через человека не более 0,2 с (такую быстроту отключения может обеспечить автоматическая защита). При более длительном воздействии такой ток смертелен. Самостоятельное освобождение от воздействия такого тока исключено.

3. При замыкании двух зажимов (рука-рука) человек попадает под линейное напряжение и сила тока, проходящего через человека, составит:

$$I_{\dot{\div}} = \frac{U_{\dot{\div}}}{R_{\dot{\div}}} = \frac{380}{975} = 0,39 \text{ А}$$

Ток такой величины представляет смертельную опасность.

4. При прикосновении к проводу с исправной изоляцией:

$$I_{\dot{\div}} = \frac{U_{\delta}}{R_{\dot{\div}} + R_{\dot{\div}\zeta}} = \frac{220}{1000 + 500000} = 0,44 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Переменный ток менее 0,0005 А не ощущается.

5. При прикосновении к проводу с ухудшенной изоляцией:

$$I_{\dot{\div}} = \frac{U_{\delta}}{R_{\dot{\div}} + R_{\dot{\div}\zeta}} = \frac{220}{1000 + 15000} = 14 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Переменный ток такой величины представляет безусловную опасность, тем более, что с течением времени сопротивление человека уменьшается и опасность смертельного поражения возрастает.

#### *Вопросы для защиты задачи*

1. Фактор, определяющий опасность поражения человека электротоком.
2. Что такое напряжение прикосновения?
3. Условие поражения человека электротоком.

## Задача 2. Расчет тока, проходящего через тело человека

В момент включения компьютера бухгалтер была поражена электрическим током вследствие пробоя фазы на корпус.

Определить ток, проходящий через тело человека и оценить опасность поражения в следующих случаях:

1) человек стоял на деревянном полу;

2) в момент включения одной рукой держался за трубы отопления.

Сопrotивление человека принять 1000 Ом, пола – 100 000 Ом, обуви – 50 000 Ом.

Оценить опасность поражения электрическим током.

### Поражение шаговым напряжением

Поваленные столбы линии электропередачи, либо просто оборванные провода лежащие на земле, могут стать источником *шагового напряжения*.

**Напряжение шага** – это напряжение между точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю при одновременном касании их ногами человека. Численно напряжение шага равно разности потенциалов точек, на которых находятся ноги человека.

Факторы, влияющие на величину шагового напряжения:

- длина шага;
- удельное сопротивление грунта;
- сила протекающего тока.

При стекании тока от упавшего провода в землю происходит процесс растекания тока и спад потенциала. Человек, двигаясь по полю растекания тока, может попасть под шаговое напряжение (рис. 3).

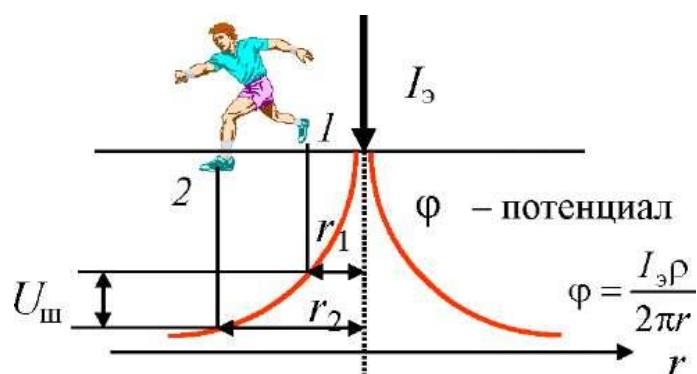


Рис. 3 – Шаговое напряжение

Напряжение между двумя точками на поверхности земли равно разности потенциалов точек 1 и 2:

$$U_{1-2} = \phi_{r1} - \phi_{r2} \quad (6)$$

Оно соответствует шаговому напряжению

$$U_{\phi} = \frac{I_{\zeta} \cdot \rho}{2\pi r_1} - \frac{I_{\zeta} \cdot \rho}{2\pi r_2} = \frac{I_{\zeta} \rho}{2\pi} \left( \frac{r_2 - r_1}{r_2 \cdot r_1} \right) \quad (7)$$

Ток, проходящий через человека,

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + 2R_{\text{об}}} \quad (8)$$

где  $R_h$  - сопротивление тела человека, Ом;  $R_{\text{об}}$  - сопротивление обуви, Ом.

Из характера кривой спада потенциала видно, что шаговое напряжение убывает по мере удаления от заземлителя и увеличивается при приближении к нему.

Обычно шаговое напряжение меньше, чем напряжение прикосновения, тем не менее, отмечено много случаев поражения людей шаговым напряжением, особенно в высоковольтных линиях. При действии тока в ногах возникают судороги, и человек падает. В результате цепь тока замыкается вдоль его тела через дыхательные мышцы и сердце, причем человек замыкает точки большей разницей потенциалов, так как расстояние между точками увеличивается до размеров роста человека. Выходить из зоны растекания тока надо прыжками на одной ноге или переставляя соединенные вместе ступни с носков на пятки.

***Правила перемещения в зоне «шагового» напряжения.***

- Нельзя приближаться бегом или обычным шагом к лежащему проводу или человеку на земле!
- Нельзя отрывать подошвы от поверхности земли и делать широкие шаги! Передвигаться следует только «гусиным шагом» - пятка шагающей ноги, не отрываясь от земли, приставляется к носку другой ноги.
- Недопустимо прикасаться к пострадавшему или к металлическим предметам без предварительного обесточивания!
- Необходимо как можно быстрее отключить электричество с помощью выключателя, рубильника, вынуть вилку из розетки и т. д.

При расположении одной ноги человека на расстоянии  $x$  от заземлителя и ширине шага  $x_{\text{ш}}$  (обычно принимается  $x_{\text{ш}} = 0,8$  м)

$$U_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{з}} \cdot \rho \cdot x_{\text{ш}}}{2\pi \cdot x(x + x_{\text{ш}})}, \text{ В} \quad (9)$$

Ток, обусловленный напряжением шага,

$$I_{\text{ч.ш.}} = \frac{U_{\text{ш}}}{r_{\text{ч}}}, \text{ А} \quad (10)$$

### Задача 3. Оценка опасности приближения к месту падения электрического провода

Оценить опасность приближения к месту несчастного случая (человек лежит на земле в месте падения оборванного электрического провода его на землю) на расстояние  $x_1=10$  м и  $x_2=1$  м. Электрическая сеть напряжением  $U=380/220$  В с заземленной нейтралью трансформатора, сопротивление рабочего заземления нейтрали  $R_{заз}=4$  Ом. Сопротивление растеканию тока в месте замыкания провода на землю  $R_p$  и удельное сопротивление грунта  $\rho$  (по вариантам) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Выбор задания для оценки опасности приближения к месту падения электрического провода

Вариант	Сопротивление растеканию тока $R_p$ , Ом	Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом-м	Вариант	Сопротивление растеканию тока $R_p$ , Ом	Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом-м
1	18	80	6	18	180
2	19	100	7	21	200
3	20	120	8	22	220
4	21	140	9	23	240
5	22	160	10	24	260

#### Указания к решению задачи

1. Рассчитать ток однофазного замыкания на землю  $I_{заз}$ , А по формуле:

$$I_{заз} = \frac{U_{\phi}}{R_{заз} + R_p} \quad (11)$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение, В.  $U_{\phi}=220$  В.

2. Определить шаговое напряжение  $U_{шаг}$ , В при нахождении человека на расстоянии  $x_1=10$  м от места замыкания провода на землю:

$$U_{\phi} = \frac{I_{\zeta} \cdot \rho \cdot a}{2\pi \cdot \tilde{\sigma}_1 (\tilde{\sigma}_1 + a)} \quad (12)$$

где  $a=0,8$  м (расстояние шага).

3. Аналогично определить шаговое напряжение на расстоянии  $x_2=1$  м от точки замыкания провода на землю.

4. Аналогично определить шаговое напряжение на расстоянии 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 м от места замыкания тока на землю. Построить график зависимости напряжения шага от расстояния (рис. 4).

5. На основании расчетных данных оценить опасность приближения к месту замыкания если допустимое шаговое напряжение считается  $U_{\text{шаг.доп.}} = 80 \text{ В}$ .

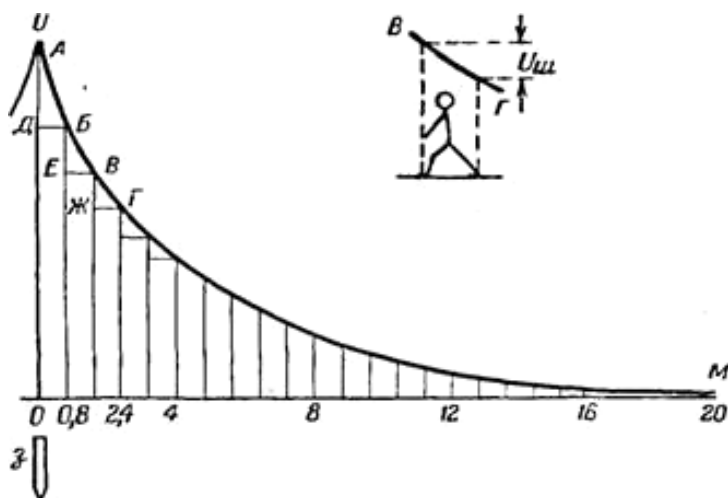


Рис. 4 - Зависимость шагового напряжения от расстояния до заземлителя

6. Описать способы оказания помощи пострадавшему.

*Вопросы для защиты задачи*

1. Как продолжительность тока влияет на степень поражения человека электрическим током?
2. Как путь прохождения тока влияет на степень поражения человека электрическим током?
3. Как можно освободить человека от действия электрического тока?

#### Задача 4. Оценка опасности шагового напряжения

Является ли опасным шаговое напряжение  $U_{\text{ш}}$  (В) и величина переменного тока  $I_{\text{ч.ш.}}$  (мА) для человека, находящегося в зоне его растекания от упавшего на грунт с удельным электрическим сопротивлением  $\rho$  (Ом·м) провода под напряжением и создавшего ток замыкания  $I_3$  (А). Размер шага человека при расчете принять равным  $x_{\text{ш}} = 0,8 \text{ м}$ , а сопротивление тела  $r_{\text{ч}}$  (Ом). Он находится в зоне растекания тока на расстоянии  $x$  (м) от упавшего провода. Опасность напряжения оценить сравнением с пороговым значением безопасного напряжения  $U_6 = 50 \text{ В}$ , а силы тока – сравнением с пороговым отпускаяющим  $I_{\text{п}} = 10 \text{ мА}$ .

Параметры	Варианты исходных данных				
	1	2	3	4	5
$\rho_{\square}$ , Ом·м	70	100	30	150	90
$I_z$ , А	80	50	40	60	30
$r_{\square}$ , Ом	1000	1500	800	1000	1200
$x$ , м	3	1	5	4	2

### Исследование состояния защитного заземления посредством амперметра-вольтметра

Защитное заземление, как правило, конструктивно исполняется в виде нескольких вертикальных стержневых заземлителей, заглубленных в землю на некоторую глубину и соединенных горизонтальной линией. Сопротивление заземления необходимо периодически контролировать, так как вследствие коррозии заземлителей или их механического повреждения сопротивление может превысить допустимую величину. Контроль следует проводить перед введением заземления в эксплуатацию и ежегодно в случае пересыхания и замерзания грунта. Сопротивление защитного заземления не должно превышать 10 Ом.

Измерение сопротивления заземлителей могут быть проведены различными средствами. Наиболее распространенный – методом ампер-вольтметра, суть которого состоит в следующем (рис. 5)

а) вспомогательный заземлитель  $B$  и зонд  $З$  устанавливают на таком расстоянии один от другого и от контролируемого заземляющего устройства  $R_x$ , чтоб их поля растекания не накладывались;

б) вольтметром  $V$ , включенным между заземляющим устройством  $R_x$  и зондом  $З$ , измеряют падение напряжения  $U$  на контролируемом заземляющем устройстве;

в) амперметром  $A$ , включенным в цепь заземлителей, измеряют ток растекания  $I$ ;

г) сопротивление заземляющего устройства определяют по формуле:

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

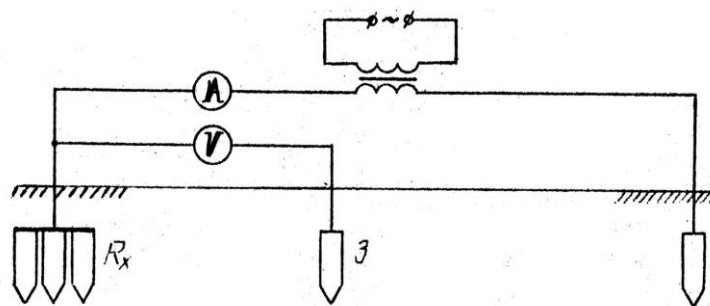


Рис. 5. Схема измерения сопротивления заземляющего устройства.

Для выполнения работы необходимо получить вариант задания (табл. 5), в соответствии с которым выбрать вариант характеристики грунта (табл. 6) и климатической зоны (табл. 7).

Таблица 5 - Варианты расчетного задания

Вариант	грунт	Номер климатической зоны	Допустимое сопротивление заземлителя, Ом
1	Глина	1	2
2	Суглинок	2	3
3	Чернозем	3	4
4	Глина	4	5
5	Суглинок	1	6
6	Чернозем	2	7
7	Глина	3	8
8	Суглинок	4	9
9	Чернозем	1	2
10	Глина	2	3

Таблица 6 - Удельное сопротивление грунта

Грунт	Удельное сопротивление грунта, Ом·м
Глина	40
Суглинок	100
Чернозем	20

Таблица 7 - Характеристика климатических зон

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны			
	1	2	3	4
Средняя многолетняя низкая температура, С <sup>0</sup>	от-20 до - 15	от-14 до-10	от -10 до 0	от 0 до +5
Продолжительность замерзания вод, дней	190-170	150	100	0
Коэффициент сезонности для вертикального электрода, длиной 3 м	1.7	1.5	1.3	1.1



### Методические указания по выполнению расчетного задания

Прежде всего, необходимо в соответствии с вариантом задания определить расчетное удельное сопротивление грунта  $\rho_{\text{грун}}$

$$\rho_{\text{грун}} = \rho \times \phi, \quad (13)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта (табл. 6);  $\phi$  – коэффициент сезонности (табл. 7).

Рассчитать сопротивление одиночного трубчатого заземлителя

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{грун}}}{2\pi \times l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right) \quad (14)$$

где  $l, d$  – длина и диаметр заземлителя соответственно,  $l$  принимается 3 м, а  $d$  – равно 0,05 м;

$H$  – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя.

Расстояние  $H$  определяется по формуле

$$H = h + l/2, \quad (15)$$

где  $h$  – расстояние от заземлителя до поверхности земли, в расчетах принимается равным 0,8 м.

Количество параллельно соединенных заземлителей, необходимых для получения допустимого значения сопротивления заземления, без учета сопротивления соединительной линии, будет равно

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{дон}} \eta}, \quad (17)$$

где  $R_{\text{дон}}$  – наибольшее допустимое сопротивление заземляющего устройства в соответствии с вариантом задания;

$\eta$  – коэффициент использования группового заземлителя, который определяется как отношение действительной проводимости заземлителя к его проводимости в случае бесконечно больших расстояний между его электродами (табл. 8).

Расчет по данной формуле необходимо проводить методом последовательных приближений, учитывая, что начальное значение  $\eta$  может быть не менее двух.

Таблица 8 - Коэффициент использования вертикальных заземлителей  
(заземлители размещены по контуру)

Количество заземлителей	2	4	6	10	20	40	60	100
Коэффициент использования, $\eta$	0.77	0.69	0.61	0.55	0.47	0.41	0.39	0.36

Если количество заземлителей находится между табличными значениями, коэффициент использования следует принять по большему значению.

Длина соединительной горизонтальной линии равна

$$l = a(n-1), \quad (18)$$

где  $a$  – расстояние между вертикальными заземлителями,  $a = 3$  м.

Сопротивление соединительной линии равно

$$R_n = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{2\pi \times l} \ln \frac{2l^2}{d \times h}, \quad (19)$$

где  $d$  – эквивалентный диаметр соединительной линии шириной  $b$ , в расчетах принять  $d = 0,95b$  при  $b = 15$  см;

$h$  – глубина залегания линии, принять  $h = 0,8$  м.

Сопротивление всего заземляющего устройства (с учетом соединительной линии)  $R$  определяется по формуле

$$R = \frac{R_0 R_n}{R_0 \eta_n + R_n n \eta}, \quad (20)$$

где  $\eta_n$  – коэффициент использования соединительной линии (табл. 9).

Таблица 9 - Коэффициент использования соединительной линии  
(заземлители размещены по контуру)

Количество заземлителей	2	4	6	10	20	40	60	100
Коэффициент использования, $\eta_n$	1	0.45	0.40	0.34	0.27	0.22	0.20	0.18

Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать допустимого значения (табл. 5).

Сделать вывод о возможности эксплуатации заземляющего устройства, расчет которого был произведен.