

3. Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из трех условий: особой сырости, когда относительная влажность воздуха ближе к 100 %; химически активной среды, когда содержащиеся пары или образующиеся отложения действуют разрушающе на изоляцию и токоведущие части оборудования; двух и более признаков одновременно, свойственных помещениям с повышенной опасностью. К ним относят большинство производственных помещений, в том числе все цеха машиностроительных и металлургических заводов и т.д.

С учетом состояния воздушной среды и класса помещения по опасности поражения током производится выбор электрооборудования и конструкции электроустановок, которые должны обеспечить высокую степень безопасности при обслуживании.

Повышение электробезопасности в установках достигается применением систем *защитного заземления, зануления, защитного отключения* и других средств и методов защиты, в том числе *знаков безопасности, предупредительных плакатов и надписей, изолирующих, ограждающих, предохранительных* и сигнализирующих средств защиты. В системах местного освещения, в ручном электрифицированном инструменте и в некоторых других случаях применяют пониженное напряжение: 42, 36 и 12 В.

От прикосновения к металлическим нетоковедущим частям электроустановок и электрооборудования, которое может оказывать под напряжением в результате повреждения электроизоляции применяются также:

- выравнивание потенциалов;
- изоляция токоведущих частей и рабочих мест;
- электрическое разделение сети;
- контроль изоляции;
- средства индивидуальной защиты и др.

Для защиты от электрических полей промышленной частоты, возникающих вдоль линий высоковольтных электропередач (ЛЭП), необходимо увеличивать высоту подвеса проводов линий, уменьшать расстояние между ними, создавать санитарно-защитные зоны вдоль трассы ЛЭП на населенной территории, размеры которых должны соответствовать СН 2971-84. В этих зонах ограничивается длительность работ, а также заземляются машины и оборудование.

При выборе приведенных мер защиты человека необходимо учитывать, что ни одна из них не является универсальной. Поэтому в каждом конкретном случае выбираются те меры защиты, которые являются более эффективными и надежными в данном конкретном случае.

Требования электробезопасности должны быть учтены также при оценке травмобезопасности рабочих мест для целей их аттестации по условиям труда (МУ ОТ РМ 02-99).

В соответствии с правилами электробезопасности должен осуществляться постоянный контроль состояния электропроводки, предохранительных щитов, шнуров, с помощью которых включаются в электросеть компьютеры, осветительные приборы и др.

Исключительно важное значение для предотвращения электротравматизма имеет правильная организация обслуживания действующих электроустановок, проведения ремонтных, монтажных и профилактических работ.

К работе в электроустановках допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие инструктаж, обучение и стажировку безопасным методом труда, проверку знаний, правил ТБ, ТЭ, ПБ, а также должностных инструкций и инструкций по охране труда - в соответствии с занимаемой должностью и присвоением соответствующей группы по электробезопасности и прошедших медосмотр.

Контроль за средствами обеспечения электробезопасности, и в частности за соответствием их требованиям безопасности, возложен на службу главного энергетика и электриков подразделений.

2. Защитное заземление

Защитное заземление - преднамеренное соединение с землей металлических частей оборудования, не находящихся под напряжением, для уменьшения напряжения прикосновения при случайном повреждении (пробое) изоляции (рис. 1). При этом ток, проходящий через человека, оказывается меньше, чем в незаземленной установке.

При наличии заземления вследствие стекания тока на землю напряжение прикосновения уменьшается и, следовательно, ток, проходящий через человека, оказывается меньше, чем в не заземленной установке.

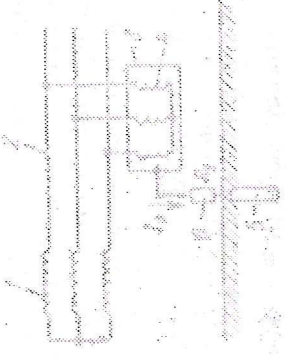


Рис. 1. Схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью:
1-трансформатор; 2-сеть; 3-корпус токоприемника; 4-обмотка электродвигателя; 5-заземлитель; 6-сопротивление заземлителя (условно)

Чтобы напряжение на заземленном корпусе оборудования было минимальным, ограничивают сопротивление заземления.

В установках 380/220 В оно должна быть не более 4 Ом, в установках 220/127 В - не более 8 Ом. Если мощность источника питания не превышает 100 кВт·А, сопротивление заземления может быть в пределах 10 Ом.

Для установок выше 1000 В:

0,5 Ом при эффективно заземленной нейтрали (при больших токах замыкания на землю);

$250/I_3 \leq 10$ Ом при изолированной нейтрали (при малых токах замыкания на землю) и условии, что заземлитель используется только для электроустановок напряжением выше 1000 В;

$125/I_3 \leq 10$ Ом при изолированной нейтрали и условии, что заземлитель используется одновременно для установок напряжением до 1000 В.

Защитное заземление может быть эффективно только в том случае, если ток замыкания на землю не увеличивается с уменьшением сопротивления заземления. Это возможно в сетях с изолированной нейтралью, где при глухом замыкании на землю или на заземленный корпус ток не зависит от величины сопротивления заземления, а также в сетях напряжением выше 1000 В с заземленной нейтралью, где замыкание на землю сопровождается коротким замыканием и отключением поврежденного участка токовой защитой. В сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В заземление неэффективно, так как даже при глухом замыкании на землю ток зависит от сопротивления заземлителя и с уменьшением последнего ток возрастает. Поэтому защитное заземление применяют в сетях напряжением до 1000 В только при изолированной (незаземленной) нейтрали, а в сетях напряжением свыше 1000 В - как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

2.1. Типы заземляющих устройств

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя (электродов, соединенных между собой и находящихся в непосредственном соприкосновении с землей) и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и конгурное.

Выносное заземляющее устройство размещается вне площадки, где располагается заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки (рис. 2). Поэтому выносное заземляющее устройство называют *сосредоточенным*.

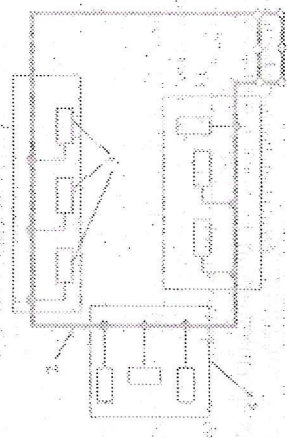


Рис. 2. Выносное заземляющее устройство:
1 - заземлитель;
2 - заземляющие проводники;
3 - заземляемое оборудование

Существенный недостаток выносного заземляющего устройства - отдаленность заземлителя от защищаемого оборудования, вследствие чего на всей или на части защищаемой территории коэффициент прикосновения равен 1. Поэтому выносное заземление применяется при малых значениях тока замыкания на землю в установках напряжением до 1000 В, где потенциал заземлителя не выше допустимого напряжения прикосновения. Кроме того, при большом расстоянии до заземлителя может значительно возрасти сопротивление заземляющего устройства в целом за счет сопротивления соединительного (заземляющего) проводника.

Достоинством выносного заземляющего устройства является возможность выбора места размещения электродов заземлителя с наименьшим сопротивлением грунта (сырое, глинистое и т.д.).

Необходимость в устройстве выносного заземления может возникнуть при невозможности по каким-либо причинам разместить заземлитель на защищаемой территории; при высоком сопротивлении

Зона А: $h_0 = 0,85h$

$$r_0 = (1,35 - 0,0025h) / h$$

$$r_x = (1,35 - 0,0025h)(h - \frac{h_x}{0,85})$$

Зона Б: $h_0 = 0,92h$

$$r_0 = 1,7h$$

$$r_x = 1,7(h - \frac{h_x}{0,92})$$

При известных h_x и r_x высота h для зоны Б определяется по формуле: $h = \frac{r_x + 1,85 h_x}{1,7}$.

7.3. Конструкции молниеотводов и требования к сопротивлению заземляющего устройства

1. Для зданий категории молниезащиты I и II используют отдельно стоящие стержневые или тросовые молниеотводы (рис. 6).

Эти молниеотводы должны заземляться на заземляющие устройства с импульсным сопротивлением от 10 до 40 Ом.

2. Для здания категории II молниезащита выполняется путем наложения молниеприемной сетки на плоскую неметаллическую кровлю или посредством использования в качестве молниеприемника металлической кровли здания. Эти молниеприемники применяются для большинства жилых зданий и производственных зданий пожароопасных производств: П-I; П-II; П-Ia, за исключением зданий, в которых размещены взрывоопасные производства В-Ia; В-Iб; В-Iг; В-Ia.

Молниеприемная сетка должна быть выполнена из стальной проволоки диаметром 6...8 мм и уложена непосредственно на кровлю или под слой негорючих утеплителей или гидроизоляции (керамзит, минеральная вата, пенобетон и др.). Сетка должна иметь ячейки площадью не более 36 м² (6x6 м). Сетка должна быть соединена тоководами с заземляющим устройством. Тоководы выполняются из проволоки диаметром не менее 6 мм или из металлической полосы сечением не менее 48 мм². Сетка через каждые 25 метров периметра здания соединяется с заземляющим устройством при помощи тоководов. В зависимости от удельного сопротивления грунта

величина импульсного сопротивления заземляющего устройства должна находиться в пределах 10...40 Ом.

3. Для зданий III категории молниезащита выполняется в виде металлической сетки, укладываемой на плоской кровле, с размером ячейки не более 150 м² (12x12 м) и сечением проволоки не менее 6 мм².

7.4. Требования к устройству молниезащиты дымовых труб

1. Для труб высотой до 50 м требуется установка одного молниеприемника высотой не менее 1 м и прокладка одного токовода, соединяющего молниеприемник с заземляющим устройством.

2. Для труб высотой 50-150 м необходимо устанавливать не менее 2 симметрично расположенных молниеприемников высотой не менее 1 м и соединенных друг с другом на верхнем конусе трубы.

3. Для труб высотой более 150 м в качестве молниеприемника может быть использовано стальное кольцо сечением не менее 100 мм², укладываемое по верхнему торцу трубы.

4. Для металлических труб, башен, вышек не требуется устройства молниеприемников и тоководов. Металлоконструкция трубы должна быть соединена с заземляющим устройством.

Задание №1.

Расчет сопротивления растеканию тока заземляющего устройства

Принцип расчета защитного заземления в электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью сводится к определению числа заземлителей; необходимого сопротивления заземляющего устройства (контура из одиночных заземлителей, соединенных металлической полосой).

Таблица 1
Исходные данные для расчета заземлителя в однослойной земле

Вариант	Напряженье II P	Форма вертикальных электродов	Размеры вертикальных электродов	Глубина заложения l , м	Расстояние меж- ду вертикальными электродами a , м	Ширина соединя ющей поперы ϵ_n , м	Грунт	Климатическая зона	Тип заземлительно- щето устройства
I	380	труба	$\ell=2,5$ $d=0,08$	1,7	2,5	0,04	глина	II	по кон туру
II	220	уголок	$\ell=2,0$ $\epsilon_y=0,08$	1,8	4,0	0,04	су- песь	III	в ряд
III	220	труба	$\ell=3,0$ $d=0,08$	1,7	3,0	0,04	сугли нок	III	в ряд
IV	380	уголок	$\ell=3,0$ $\epsilon_y=0,08$	1,8	3,0	0,04	чер но-зем	II	в ряд

Последовательность расчета заземлителей в однослойной земле следующая:

1. Определить норму величины сопротивления $R_{\text{н}}$ заземления (см. п. 2).
2. Определить значение удельного сопротивления грунта ρ в месте устройства заземления (таблица 2), т.е. сопротивление куба грунта с ребром 1 м, которое измеряется в Ом·м и зависит от характера грунта (его состава, структуры, наличия солей, влажности).

Таблица 2

Значения удельных сопротивлений ρ (Ом·м)
растеканию тока для различных грунтов

Грунт	Удельное сопротивление ρ (Ом·м)
Песок	400 – 700
Супесь	150 – 400
Суглинок	40 – 150
Глина	8 – 70
Чернозем	9 – 53

3. Определить расчетное удельное сопротивление грунта

$$\rho_{\text{расч}} = \rho \Phi,$$

где Φ - коэффициент сезонности, учитывающий возможности повышения сопротивления грунта в течение года.

Значения Φ принимаем по таблицам 3 и 4 в зависимости от климатической зоны, где будет размещено заземляющее устройство и влажности земли.

4. Определить сопротивление одиночного заземлителя. Так как верхние слои грунта имеют большие сезонные колебания в зависимости от влажности и температуры, заземлители следует забивать ниже поверхности земли (см. таблицу 1). Тогда сопротивление одиночного заземлителя можно определить по формуле

$$R_{\text{о.з}} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

где l - глубина заложения заземлителя (расстояние от середины заземлителя до поверхности грунта), м; t_0 - расстояние от поверхности грунта до верхнего конца заземлителя, м; l, d - длина и диаметр заземлителя, м (если в качестве заземлителя принята прокатная сталь углового профиля, расчет ведут по той же формуле с заменой ширины уголка ϵ_y на эквивалентный диаметр $d_y = 0,95\epsilon_y$, м).

Таблица 3

Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны России			
	I	II	III	IV
Средняя низшая температура января, °С	от -20 до -15	от -14 до -10	от -10 до 0	от 0 до +5
Средняя высшая температура июля, °С	от +16 до +18	от +18 до +22	от +22 до +24	от +24 до +26
Среднегодовое количество осадков, см	40	50	50	30-50

Таблица 4
Коэффициенты сезонности для однородной земли

Климатическая зона	Состояние земли во время измерения ее сопротивления		Малой влажности
	Повышенной влажности	Нормальной влажности	
I	Вертикальный заземлитель длиной до 3 м		
	1,9	1,9	1,5
	1,7	1,7	1,3
	1,5	1,3	1,2
II	Вертикальный заземлитель длиной до 5 м		
	1,3	1,1	1,0
	1,5	1,4	1,3
	1,4	1,3	1,2
III	Горизонтальный заземлитель длиной до 10 м		
	1,3	1,2	1,1
	1,2	1,1	1,0
	1,2	1,1	1,0
IV	Горизонтальный заземлитель длиной до 50 м		
	9,3	5,5	4,1
	5,9	3,5	2,6
	4,2	2,5	2,0
V	Горизонтальный заземлитель длиной до 10 м		
	2,5	1,5	1,1
	7,2	5,9	3,6
	4,8	3,6	2,4
VI	Горизонтальный заземлитель длиной до 50 м		
	3,2	2,0	1,6
	2,2	1,4	1,12

Примечание. Земля считается повышенной влажности, если измеренно ее сопротивление предшествовало выпадение большого количества (свыше нормы) осадков; нормальной влажности, если измеренно предшествовало выпадение небольшого количества (близкого к норме) осадков; малой влажности, если количество осадков в предшествующий измерению период ниже нормы.

5. Определить ориентировочное число одиночных заземлителей в заземляющем устройстве

$$n^1 = \frac{R_{0.3}}{R_n \cdot \eta_e^1}$$

где η_e^1 — коэффициент использования вертикальных заземлителей.

Для ориентировочного расчета η_e^1 принимаем равным 1.

Примечание. Коэффициент использования заземлителей η_e учитывает явление взаимного экранирования электрических полей отдельных электродов, которое приводит к уменьшению

действующего сечения земли около каждого электрода и увеличению сопротивления растеканию тока группового заземлителя в целом.

Значение η_e зависит от формы, размеров и размещения электродов, составляющих групповой заземлитель, а также от их числа n , расстояния a между отдельными заземлителями и от их отношения расстояния между отдельными заземлителями к их длине (для повышения коэффициента использования заземлителей это отношение принимают не менее 1).

6. По таблице 5 определить действительные значения коэффициента использования η_e для вертикальных заземлителей, исходя из принятой схемы размещения вертикальных заземлителей (см. таблицу 1).

Таблица 5

Коэффициенты использования η_e вертикальных заземлителей группового заземлителя без учета влияния полюсы связи

Число заземлителей	Отношение расстояний между заземлителями к их длине a/l					
	Размещены в ряд					
	1	2	3	1	2	3
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,88	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

7. Определить необходимое число вертикальных заземлителей

$$n = \frac{R_{0.3}}{R_n \cdot \eta_e}$$

8. Определить длину полюсы, соединяющей одиночные заземлители

$L = 1,05an$ - для заземлителей, расположенных по контуру;

$L = 1,05a(n-1)$ - для заземлителей, расположенных в ряд.

Примечание. В групповом заземлителе наряду с взаимноэкранированием вертикальных электродов имеет место экранирование между

горизонтальными и вертикальными составляющими. Это экранирование учитывается коэффициентом использования полосы η_2 . Численные значения η_2 приведены в таблице 6.

Таблица 6

Коэффициент использования соединительной полосы η_2 заземлителей из угловой стали или труб

Отношение расстояний между заземлителями к их длине a/l	Число заземлителей							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Заземлители размещены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Заземлители размещены по контуру								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

9. Определить расчетное удельное сопротивление грунта $\rho^1_{расч} = \rho \varphi^1$.

По таблице 4 определить значения коэффициента сезонности φ^1 для горизонтального заземлителя.

10. Определить сопротивление стальной полосы, соединяющей вертикальные заземлители

$$R_n = \frac{\rho^1_{расч}}{2\pi \cdot L} \ln \frac{L^2}{b_n t_n}$$

где $\rho^1_{расч}$ - расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

b_n - ширина полосы, м; t_n - глубина заложения полосы, м.

11. Определить общее сопротивление заземляющего устройства с учетом соединительной полосы

$$R = \frac{R_{0.3} \cdot R_n}{R_{0.3} \cdot \eta_2 + R_n \eta_6 \cdot n}$$

12. Правильно рассчитанное заземляющее устройство должно отвечать условию: $R \leq R_n$.

Если $R > R_n$, то необходимо увеличить число вертикальных заземлителей и снова по таблицам 5,6 определить значения коэффициента использования вертикальных заземлителей и коэффициента использования горизонтального заземлителя и рассчитать общее сопротивление заземляющего устройства.

13. Результаты расчетов отразить в таблице

Число вертикальных электродов n	Длина соединяющей полосы L , м	Тип заземлителя	Сопротивление одиночного заземлителя, $R_{0.3}$, м	Сопротивление полосы, R_n , Ом	Коэффициенты использования		R , Ом
					η_6	η_2	

Расчет заземлителя в двухслойной земле

Таблица 7

Исходные данные для расчета заземлителя в двухслойной земле

Вариант	Напряжение установки U , В	Ток замыкания на землю I_3 , А	Форма вертикальных электродов	Размеры вертикальных электродов l , м; d или ϵ_p , м	Глубина заложения t_0 , м	Расстояние между вертикальными электродными электродами a , м	Ширина соединяющей полосы b_p , м	Площадь заземлителя, м ²	Удельное сопротивление верхнего и нижнего слоев земли, Ом·м	Толщина верхнего слоя земли, h_1 , м	Климатическая зона	Тип заземляющего устройства
I	380	30	труба	$l=2,5$ $d=0,08$	0,8	2,5	0,04	6300	$\rho_1=230$ $\rho_2=80$	2,8	II	по-контур
II	380	40	труба	$l=2,0$ $d=0,08$	0,8	4	0,04	4800	$\rho_1=200$ $\rho_2=40$	3	III	по-контур

При расчете сложного заземлителя в двухслойной земле способом наведенных потенциалов значение сопротивления растеканию вычисляются в следующей последовательности: