

Практическая работа «РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ»

Электробезопасность обеспечивается конструкцией электроустановок, организационными и техническими мероприятиями, техническими способами и средствами защиты. Одними из эффективных средств защиты от поражения электрическим током являются защитное заземление и зануление электроустановок. В соответствии с ГОСТ 12.1.009–76:

защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением;

защитное зануление – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

В вопросах применения и практического выполнения защитного заземления и зануления следует руководствоваться требованиями не только ПУЭ, но и ГОСТ Р 50571. В ГОСТ Р 50571.2–94 «Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики» приводится классификация систем заземления электрических сетей: IT, TT, TN–C, TN–C–S, TN–S (рис.1).

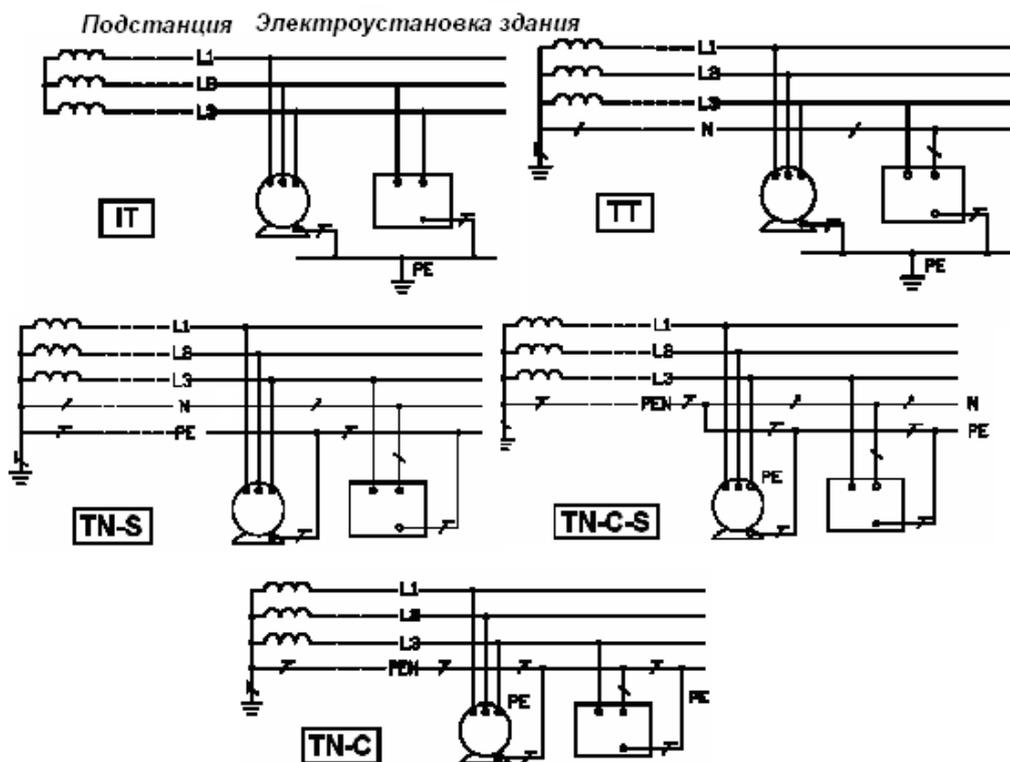


Рис. 1. Разновидности систем заземления

Защитное действие заземляющего устройства основано на снижении до безопасной величины тока, проходящего через человека в момент касания им поврежденной электроустановки.

Защитное действие зануления основано на снижении до безопасной величины тока, проходящего через человека в момент касания им поврежденной электроустановки, и последующем отключении этой установки от сети.

Для заземления электроустановок в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители. Если при этом сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеют допустимые значения, а также если обеспечиваются нормированные значения напряжения на заземляющем устройстве, то искусственные

заземлители должны применяться лишь при необходимости снижения плотности токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих от них.

В качестве естественных заземлителей рекомендуется использовать: проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывчатых газов и смесей; обсадные трубы скважин; металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле (алюминиевые оболочки кабелей не допускается использовать в качестве естественных заземлителей) и т.п.

В целях экономии черных металлов и снижения трудоемкости электромонтажных работ следует преимущественно использовать железобетонные и металлические конструкции производственных зданий в качестве заземляющих устройств. Это относится, прежде всего, к железобетонным фундаментам.

Для сооружения искусственных заземлителей используют обычно вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов предпочтительно использовать стальные стержни диаметром 10 - 16 мм и длиной 5 - 10 м, угловую сталь (от 40x40 до 63x63 мм). Как исключение можно использовать стальные трубы диаметром 50 - 60 мм с толщиной стенки не менее 3,5 мм (некондиционные или бывшие в употреблении), длиной 2,5 - 3,0 м. Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода обычно применяют полосовую сталь шириной 20 - 40 мм и толщиной 4 мм, а также сталь круглого сечения диаметром 10 - 12 мм.

Наименьшие размеры стальных искусственных заземлителей приведены ниже:

Диаметр круглых (прутковых) заземлителей, мм:

не оцинкованных 10

оцинкованных 6

Сечения прямоугольных заземлителей, мм² 48

Толщина прямоугольных заземлителей, мм² 4

Толщина полок угловой стали, мм² 4

Для заземления электроустановок, питающихся (от сети с изолированной нейтралью, наиболее часто применяют комбинированные групповые заземлители, состоящие из вертикальных электродов, размещенных в плане в ряд или по контуру, верхние концы которых расположены на глубине 0,7 - 0,8 м от поверхности земли и электрически соединены между собой горизонтальным электродом.

Для установки вертикальных заземлителей предварительно роют траншеи глубиной 0,7 - 0,6 м, после чего уголки или трубы заглубляют специальными механизмами — копрами, гидропрессами и т. п. Стальные стержни диаметром 10 - 12 мм, длиной 4 - 4,5 м ввертывают в землю с помощью специальных приспособлений, а более длинные заглубляют вибраторами.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников могут быть использованы специально предусмотренные для этой цели проводники и так называемые естественные проводники - металлические конструкции: зданий (фермы, колонны и т.п.); арматура железобетонных строительных конструкций и фундаментов; металлические конструкции производственного назначения (подкрановые пути, каркасы распределительных устройств и т.п.); стальные трубы электропроводок; металлические стационарные, открыто проложенные трубопроводы всех назначений, кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, канализации и центрального отопления.

Перечисленные естественные проводники могут служить единственными заземляющими проводниками, если они по проводимости удовлетворяют требованиям ПУЭ и если обеспечена непрерывность электрической цепи на всем протяжении пользования. Заземляющие и нулевые защитные проводники должны быть защищены от коррозии.

Рис.2. Минимальные размеры арматуры применяемые для монтажа заземляющих устройств

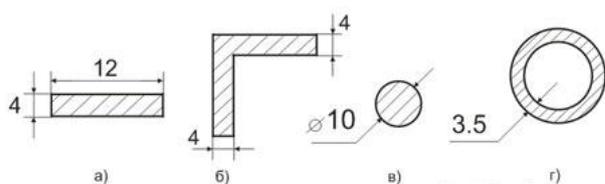


Рис. 3. Длина заземляющего стержня должна быть не меньше 1.5 – 2 м.

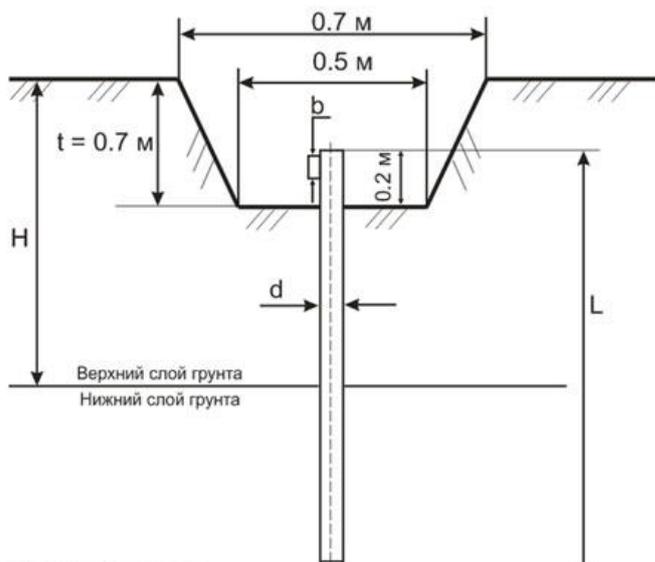
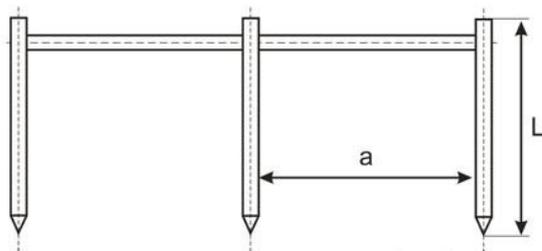


Рис. 3. Расстояния между заземляющими стержнями берется из соотношения их длины, то есть: $a = 1 \times L$; $a = 2 \times L$; $a = 3 \times L$.



В цепи заземляющих и нулевых защитных проводников не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей. Прокладку заземляющих и нулевых защитных проводников в сухих помещениях без агрессивной среды допускается производить непосредственно по стенам. Во влажных, сырых и особо сырых помещениях, а также при наличии агрессивной среды эти проводники следует прокладывать на расстоянии не менее 10 мм от стен.

Магистралы заземления или зануления и ответвления от них, должны быть доступны для осмотра. Это требование не распространяется на нулевые жилы и оболочки кабелей, на арматуру железобетонных конструкций, а также на заземляющие и нулевые защитные проводники, проложенные в трубах, коробах и непосредственно в теле строительных конструкций.

В наружных установках заземляющие и нулевые защитные проводники допускается прокладывать в земле, в полу, а также по краю площадок, фундаментов, технологических установок и т.п.

Использование неизолированных алюминиевых проводников для прокладки а земле в качестве заземляющих и нулевых защитных проводников не допускается .

Соединения заземляющих к нулевым защитных проводников между собой должны обеспечивать надежный контакт и выполняться посредством сварки. Места соединения стыков после сварки должны быть окрашены.

Присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников к частям оборудования, подлежащим заземлению или занулению, должно быть выполнено сваркой или болтовым соединением. Присоединение должно быть доступно для осмотра. Для болтового соединения должны быть предусмотрены меры против ослабления и коррозии контактных соединений.

Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению или занулению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления при помощи отдельного ответвления. Последовательное соединение заземляющим или нулевым защитным проводником заземляемых или зануляемых частей электроустановок не допускается.

Соединение заземляющих проводников с заземлителями и частей заземлителя между собой следует выполнять сваркой. Сварные швы, расположенные в земле, необходимо покрывать битумным лаком для защиты от коррозии. Присоединение заземляющих проводников к трубопроводам, используемым в качестве естественные заземлителей, должно осуществляться сваркой и, как исключение, с помощью хомута. Присоединение необходимо выполнять со стороны линии на вводе трубопровода в здание (до водомера, задвижки, соединительного фланца).

Заземление или зануление переносных электроприемников должно осуществляться специальной жилой (третья - для электроприемников однофазного и постоянного тока, четвертая - для электроприемников трехфазного тока), расположенной в одной оболочке с фазными жилами переносного провода и присоединяемой к корпусу электроприемника и к специальному контакту вилки втычного соединителя. Сечение этой жилы должно быть равным сечению фазных проводников. Использование для этой цели нулевого рабочего проводника, в том числе расположенного в общей оболочке, не допускается.

Втычные соединители должны иметь специальные контакты, к которым присоединяются заземляющие и нулевые защитные проводники. Соединение между этими контактами при включении должно устанавливаться до того, как войдут в соприкосновение контакты фазных проводников. Порядок разъединения контактов при отключении должен быть обратным.

Расчет заземлителей электроустановок напряжением до 1 кВ выполняют обычно методом коэффициентов использования по допустимому сопротивлению заземлителя растеканию тока. При этом допускают, что заземлитель размещен в *однородной* земле.

Цель расчета защитного заземления - определение количества электродов заземлителя и заземляющих проводников, их размеров и схемы размещения в земле, при которых сопротивление заземляющего устройства растеканию тока или напряжение прикосновения при замыкании фазы на заземленные части электроустановок не превышают допустимых значений.

Определение удельного электрического сопротивления грунта. Удельное электрическое сопротивление грунта ρ , Ом · м, (табл. 2) изменяется в широких пределах в зависимости от многих факторов, в том числе от рода грунта, его влажности, дисперсности, а также от времени года. Поэтому при проектировании заземляющего устройства необходимо предварительно измерить ρ земли на месте сооружения заземлителя. Для экспериментального определения удельного сопротивления земли наиболее часто применяют метод пробного электрода (разового зондирования) или метод четырех электродов (вертикального электрического зондирования - метод ВЭЗ).

Расчетное удельное сопротивление определяют по формуле:

$$\rho = \rho_{II}\psi ,$$

где ψ - коэффициент сезонности, значение которого зависит от климатической зоны, в которой сооружают заземлитель. Значения ψ для однородной земли указаны в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты сезонности ψ для однородной земли

Климатическая зона	Влажность земли во время измерения ее сопротивления			Климатическая зона	Влажность земли во время измерения ее сопротивления		
	повыш.	норм.	малая		повыш.	норм.	малая
Вертикальный электрод длиной 3 м				Горизонтальный электрод длиной 10 м			
I	1,9	1,7	1,5	I	9,3	5,5	4,1
II	1,7	1,5	1,3	II	5,9	3,5	2,6
III	1,5	1,3	1,2	III	4,2	2,5	2,0
IV	1,3	1,1	1,0	IV	2,5	1,5	1,1
Вертикальный электрод длиной 5 м				Горизонтальный электрод длиной 50 м			
I	1,5	1,4	1,3	I	7,2	4,5	3,6
II	1,4	1,3	1,2	II	4,8	3,0	2,4
III	1,3	1,2	1,1	III	3,2	2,0	1,6
IV	1,2	1,1	1,0	IV	2,2	1,4	1,12

Климатические зоны России:

I — Архангельская, Мурманская, Вологодская, Кировская, Пермская, Свердловская, Сахалинская, Камчатская и Магаданская области, северная половина Западной и Восточной Сибири и Республика Коми, северная часть Хабаровского края и восточная часть Приморского края;

II — Республика Карелия, Ленинградская, Новгородская, Псковская области, южная часть Хабаровского и западная часть Приморского краев;

III — Смоленская, Калининградская, Московская, Калининская, Орловская, Тульская, Рязанская, Ивановская, Ярославская, Горьковская, Брянская, Челябинская, Владимирская, Калужская, Костромская, Амурская области, южная часть Западной и Восточной Сибири, Республика Чувашия, Республика Мордовия, Республика Марий Эл, Республика Татарстан, Республика Башкирия и Республика Удмуртия;

IV — Курская, Астраханская, Куйбышевская, Саратовская, Волгоградская, Оренбургская, Воронежская, Тамбовская, Пензенская, Ростовская, Ульяновская области, Краснодарский край, Северный Кавказ и Закавказье.

Земля считается повышенной влажности, если измерению ее сопротивления предшествовало выпадение большого количества (свыше нормы) осадков (дождей); нормальной влажности - если предшествовало выпадение близкого к норме количества осадков; малой влажности - если количество осадков было ниже нормы. Расстояние от поверхности земли до верхнего конца вертикальных электродов и до горизонтального электрода равно 0,7-0,8 м.

При высоком удельном сопротивлении земли применяют способы искусственного снижения ρ в целях уменьшения размеров и количества используемых электродов и площади территории, занимаемой заземлителем. Существенного результата достигают либо химической обработкой области вокруг заземлителей с помощью электролитов, либо путем укладки заземлителей в котлованы с насыпным углем, коксом, глиной.

В качестве электролитов используют соленые растворы, не увеличивающие коррозию стали: растворы нитрата натрия, гидрата оксида кальция. Количество соли, требующееся для обработки земли, зависит от длины заземлителя и составляет 1,5-10 кг на 1 м его длины. Не следует применять растворы хлористого натрия, хлористого кальция,

сернокислой меди. Снижение удельного сопротивления наблюдается в течение 2-4 лет, после чего требуется вновь пропитывать грунт электролитом.

Для создания вокруг заземлителя зоны с пониженным удельным сопротивлением в грунте делается выемка радиусом 1,5-2 м и глубиной, равной длине вертикального электрода заземлителя. Затем выемка заполняется землей со сравнительно небольшим сопротивлением (торфом, глиной, черноземом, суглинком, шлаком, коксом и т.п.), устанавливается заземлитель и грунт утрамбовывается.

Таблица 2

Средние значения удельных электрических сопротивлений грунтов

Вид земли и воды	Удельное сопротивление, ρ , Ом·м
Торф	20
Садовая земля	50
Чернозем	30
Глина	70
Суглинок	100
Супесок	300
Песок влажностью 10%	500
Песок сухой	2000
Каменистые почвы	4000
Гравий, щебень	2500

Для расчета защитного заземления необходимо иметь данные о допустимом сопротивлении заземляющего устройства.

Согласно ПУЭ сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль источника тока, с учетом естественных и повторных заземлителей нулевого провода должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях источника трехфазного тока 660, 380 и 220 В.

Общее сопротивление растеканию заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛ в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

При удельном сопротивлении земли $\rho_0 > 100$ Ом·м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01 ρ_0 раз, но не более десятикратного.

Проектный расчет устройства защитного заземления следует начинать с определения сопротивления растеканию тока расположенных в земле конструкций, которые планируется и допускается использовать в качестве естественных заземлителей.

Расчет групповых заземлителей в однородной земле. Для заземления стационарных электроустановок наибольшее распространение получили групповые искусственные заземлители, размещенные в земле на определенной глубине. Они представляют собой систему вертикальных электродов, параллельно соединенных между собой горизонтальным проводником связи. Рекомендации по выбору типа материала и предпочтительных размеров элементов искусственного заземлителя и характера размещения их в земле приведены ранее. Вертикальные электроды располагают в ряд или по контуру. Расстояние a между соседними вертикальными электродами (если позволяют размеры отведенной под заземлитель площадки) рекомендуется брать не менее 2,5 м. Для заземлителей, расположенных в ряд, отношение a к длине l вертикального электрода

предпочтительно выбирать равным 2-3, а при расположении электродов по контуру - равным 3.

Таблица 3

Формулы для расчета сопротивления одиночных заземлителей, размещенных в однородном грунте

Тип заземлителя	Формула	Условия применения
Стержневой круглого сечения (трубчатый) или уголкового у поверхности земли	$R = \frac{\rho}{2\pi d} \ln(4l/d); (1)$	$l \gg d$; для уголка с шириной полки b ; $d=0,95b$
То же в земле	$R = \frac{\rho}{2\pi d} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right); (2)$	$l \gg d$; $t_0 \geq 0,5$ м; для уголка шириной полки b ; $d=0,95b$
Протяженный на поверхности земли (стержень, труба, полоса, кабель и т.п.)	$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln(2L/d); (3)$	$L \gg d$; для полосы шириной b ; $d=0,5b$
То же в земле	$R = \frac{\rho}{2\pi d} \ln(L^2/dt); (4)$	$L \gg d$; $L \gg 4t$; для полосы шириной b ; $d=0,5b$
Кольцевой на поверхности земли	$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln(8D/d); (5)$	$D \gg d$; для полосы шириной b ; $d=0,5b$
То же в земле	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln(4\pi D^2/dt); (6)$	$D \gg d$; $D \gg 2t$; для полосы шириной b ; $d=0,5b$
Круглая пластина на поверхности земли	$R = \rho/2D; (7)$	-
Пластинчатый в земле (пластина поставлена на ребро)	$R = \frac{\rho}{2\pi a} \left(\ln \frac{4a}{b} + \frac{a}{4t_0} \right); (8)$	$2t_0 \geq a$

Определяют вначале сопротивление одиночного вертикального электрода с помощью соответствующих расчетных зависимостей, приведенных в табл. 3. Например, если используют стальные стержни длиной l из угловой стали с шириной полки b , верхние концы которых находятся от поверхности земли на глубине t_0 , то сопротивление R_e одного из них определяют по формуле (2) табл. 3.

Ориентировочное количество n вертикальных электродов можно определить с некоторым избытком следующим образом. Предварительно находят произведение коэффициента использования вертикальных электродов η_e на их количество n по формуле

$$\eta_e n = R_B / R_{и.э.доп},$$

а затем по табл. 4 определяют количество вертикальных электродов n . Не указанные в таблице значения n находят методом интерполяции. Полученные значения округляют в меньшую сторону до целых чисел.

С учетом размещения заземлителя в грунте находим длину L , м, горизонтального проводника связи по формулам:

при расположении электродов в ряд $L = 0,5 + (n-1) \cdot a$;

при расположении, электродов по контуру $L = 0,5 + n \cdot a$.

Таблица 4

Коэффициенты использования η_e вертикальных электродов без учета влияния полосы связи и их количество n

a/l	При размещении в ряд			При размещении по контуру		
	$\eta_{\epsilon}n$	n	η_{ϵ}	$\eta_{\epsilon}n$	n	η_{ϵ}
1	1,70	2	0,85	2,76	4	0,69
	2,34	3	0,78	3,66	6	0,61
	2,92	4	0,73	5,50	10	0,55
	3,50	5	0,7	9,40	20	0,47
	3,90	6	0,65	16,40	40	0,41
	5,90	10	0,59	23,40	60	0,39
	8,10	15	0,54	36,00	100	0,36
	9,60	20	0,48	-	-	-
2	1,82	2	0,91	3,12	4	0,78
	2,61	3	0,87	4,38	6	0,73
	3,32	4	0,83	6,80	10	0,68
	4,05	5	0,81	12,60	20	0,63
	4,62	6	0,77	23,20	40	0,58
	7,40	10	0,74	33,0	60	0,55
	10,50	15	0,70	52,0	100	0,52
	13,40	20	0,67	-	-	-
3	1,88	2	0,94	3,4	4	0,85
	2,73	3	0,91	4,8	6	0,80
	3,56	4	0,89	7,6	10	0,76
	4,35	5	0,87	14,2	20	0,71
	5,10	6	0,85	26,4	40	0,66
	8,10	10	0,81	38,4	60	0,64
	11,70	15	0,78	62,0	100	0,62
	15,20	20	0,76	-	-	-

Сопротивление горизонтального проводника связи в виде стальной полосы шириной b , соединяющего верхние концы вертикальных электродов, можно по формуле:

$$R_r = \frac{\rho_2}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{bt_0}$$

Значения ρ_1 и ρ_2 получены с учетом соответствующих коэффициентов сезонности (см. табл. 2).

Результирующее сопротивление искусственного группового заземлителя

$$R_{И} = R_B R_{Г} / (R_B \eta_{Г} + R_{Г} \eta_{В} n),$$

где $\eta_{Г}$ и $\eta_{В}$ - коэффициенты использования горизонтального и вертикального электродов (табл.5).

Полученное значение сопротивления $R_{И}$ не должно превышать значение $R_{и.з.дон}$, если используются естественные заземлители, или $R_{з.дон}$, если таковые отсутствуют.

Таблица 5.

Коэффициенты использования $\eta_{Г}$ горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды

a/l	Число вертикальных электродов											
	2	4	6	8	10	20	30	40	50	60	70	100
При расположении электродов в ряд												
1	0,85	0,77	0,72	0,67	0,62	0,42	0,31	-	0,21	-	-	-
2	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,56	0,46	-	0,36	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,85	0,82	0,68	0,58	-	0,49	-	-	-
При расположении электродов по контуру												
1	-	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,23
3	-	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,39	0,37	0,36	0,35	0,33

Если результаты расчета не удовлетворяют установленным ограничениям, то изменяют параметры заземлителя, которыми варьировать в каждом конкретном случае, и расчет повторяют заново. Таким образом, методом последовательного приближения добиваются выполнения указанных выше требований к сопротивлению заземляющего устройства.

Порядок выполнения расчета:

1. Выполнить расчет сопротивление одиночного вертикального электрода R_v , предварительно рассчитав удельное сопротивление грунта с учетом коэффициента сезонности ρ_v .

2. Определим ориентировочное количество n вертикальных электродов. Принять максимальное допустимое сопротивление заземлений 4 Ом.

3. Определить длину соединительной полосы при размещении электродов в ряд или по контуру с учетом табл.4.

4. Определить сопротивление горизонтального проводника связи (соединительной полосы) в виде стальной полосы R_r . Пересчитать удельное сопротивление грунта для горизонтального электрода.

5. Определить результирующее сопротивление искусственного группового заземлителя $R_{и}$. Полученный результат сравнить допустимым значением сопротивления заземления.