

Электронный архив УГЛТУ

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**ФГБОУ ВПО "Уральский государственный лесотехнический**  
**университет"**

**Кафедра Охраны труда**

**Старцев А.В.**

## **ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

Методическое руководство к лабораторной работе

Екатеринбург 2014

Печатается по решению методической комиссии института ИЛБидС  
Протокол № 10 от 3 июля 2014 г. \_\_

Рецензент – профессор, д.т.н. Старжинский В.Н.

Редактор

---

Подписано в печать		Поз.	
Плоская печать	Формат 60 x 84 1/16	Тираж	экз.
Заказ	печ. л.	Цена	

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Цель работы: изучение средств защиты (заземления) от опасности возникновения электротравм при однофазном замыкании на корпус оборудования, измерение сопротивления заземления растеканию тока замыкания на землю и расчёт заземления электроустановки в соответствии с требованиями правил.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Наиболее распространённой и надёжной мерой защиты людей от поражения электрическим током является защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землёй или её эквивалентом металлических нетоковедущих частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением.

Защитное действие заземления заключается в перераспределении тока замыкания между заземляющим устройством и человеком обратно пропорционально сопротивлениям, вследствие чего на человека, прикоснувшегося к поврежденному оборудованию, приходится безопасная часть тока.

Защитное заземление применяется в электроустановках напряжением до 1000В сетей с изолированной нейтралью, а выше 1000В - сетей с любым напряжением нейтрали.

Подлежат защитному заземлению электроустановки:

- в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках при напряжении выше 42В переменного и 110В постоянного тока;
- в помещениях без повышенной опасности при напряжении 380В и выше переменного тока и 440В и выше постоянного тока;
- во взрывоопасных зонах всех классов независимо от значения напряжения.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя проводников (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 контурное.

Выносное заземляющее устройство (рис. 1) характеризуется тем, что заземлитель его вынесен за пределы площадки, на которой размещено оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки.

Контурное заземляющее устройство (рис.2) характеризуется тем, что электроды его заземлителя размещаются по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки.

Различают искусственные и естественные заземлители. В качестве естественных заземлителей могут использоваться проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов), металлические и железобетонные конструкции здания и сооружений, имеющие соединение с землёй, свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле, и т. п., железобетонные фундаментные элементы опор воздушных линий электропередач.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, и поэтому использование их для заземления даёт весьма ощутимую экономию металла.

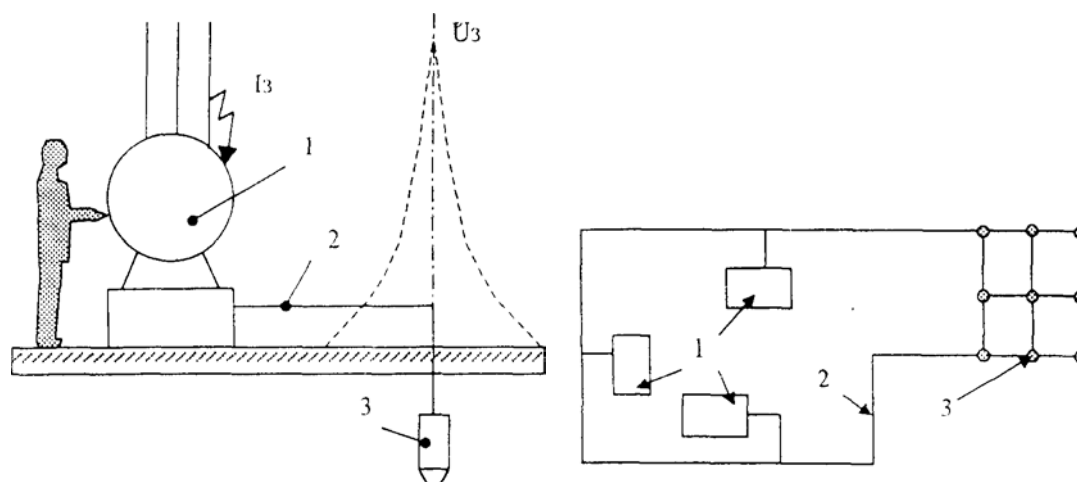


Рис. 1. Выносное заземление: а - принципиальная схема; б - вид в плане;  
1 - заземляемое оборудование; 2 - заземляющие проводники (магистралы); 3 - заземлитель.

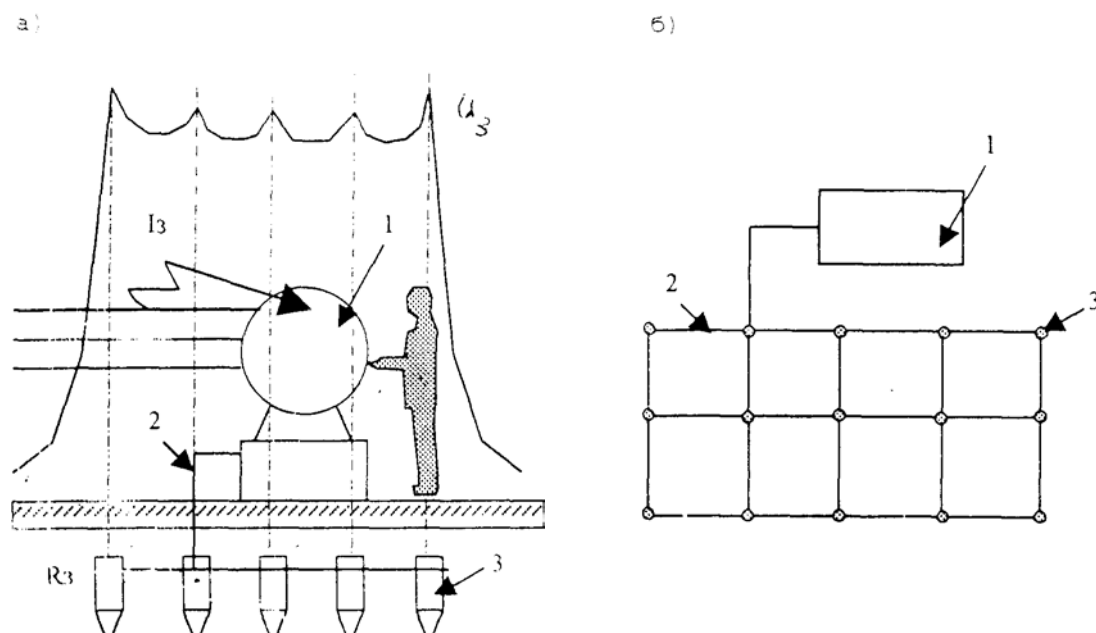


Рис. 2. Контурное заземление: а - разрез; б - вид в плане;  
1 - заземляемое оборудование; 2 - заземляющие проводники; 3 - заземлитель.

Для искусственных заземлителей применяют обычно вертикальные и горизонтальные электроды. По условиям безопасности заземление должно обладать сравнительно малым сопротивлением, обеспечить которое можно путем увеличения геометрических размеров одиночного заземлителя или применением нескольких параллельно соединенных электродов, именуемых в совокупности групповым заземлителем. Второй путь во много раз экономичнее по затрате металла и другим условиям. Поэтому на практике применяют как правило групповые заземлители.

В качестве вертикальных заземлителей используют стальные трубы диаметром 50...60 и толщиной стенки не менее 3,5 мм и угловую сталь с толщиной полок не менее 4 мм (обычно уголковая сталь с размером от 40x40 до 60x60 мм) отрезками длиной 2...3 м, а также прутковую сталь диаметром 10 мм и более до 100 мм.

Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяют полосовую сталь сечением 4x12 мм и сталь круглого сечения диаметром 6 мм и более.

Размещение электродов выполняют различными способами: вертикальные заземлители размещают в ряд, по контуру; горизонтальные - в виде одиночного протяженного электрода или нескольких параллельно уложенных на одинаковой глубине.

В качестве заземляющих проводников, предназначенных для соединения заземляемых частей электроустановок с заземлителями, применяют для прокладки в земле полосовую сталь сечением 48 мм<sup>2</sup> и более, круглого сечения диаметром не менее 6 мм. При открытой прокладке применяют медные и алюминиевые заземляющие проводники сечением не менее 4 и 6 мм<sup>2</sup> соответственно. Магистраль заземления выполняют из полосовой или круглой стали сечением не менее 100 мм<sup>2</sup>.

Сопротивление заземляющего устройства состоит из сопротивления заземлителя (контур заземления) растеканию в грунте тока замыкания и сопротивления заземляющих проводников протекающему по ним электрическому току.

Сопротивлением заземляющих проводников обычно пренебрегают, вследствие незначительной его величины. Однако при устройстве выносного заземляющего устройства на значительном расстоянии от заземляемого оборудования сопротивление заземляющих проводников становится соизмеримым с сопротивлением заземлителя.

Сопротивление заземлителя растеканию тока замыкания зависит от удельного сопротивления грунта, климатических условий, размеров, числа и условий размещения одиночных заземлителей в грунте.

Поскольку плотность тока в земле на расстоянии больше 20 м от заземлителя практически равно нулю, можно считать, что сопротивление

растеканию тока оказывает лишь соответствующий объем земли. Для одиночного заземлителя - это полусфера радиусом 20 м.

Сопротивление этого объема земли при различных формах и размерах заземлителя различно. При бесконечно больших расстояниях между электродами группового заземлителя (обычно более 40 м) поля растекания тока вокруг них практически не взаимодействуют, т.е. ток каждого электрода проходит по "своему" отдельному участку земли, по которому токи других заземлителей не проходят.

При расстояниях между электродами менее 40 м происходит взаимодействие полей растекания тока, в результате чего на общих участках земли, по которым проходят токи, стекающие с электродов, увеличивается плотность тока и, следовательно, на этих участках увеличивается падение напряжения. Это явление равноценно уменьшению сечения земли, по которому проходит ток от заземлителя, и приводит к увеличению сопротивления растеканию как отдельных электродов, составляющих групповой заземлитель, так и заземлителя в целом, что учитывается коэффициентом использования заземлителей, который всегда меньше единицы.

Коэффициент использования заземлителей, расположенных в сравнительно однородном грунте, зависит от типа одиночных заземлителей, их геометрических размеров и взаимного расположения в грунте.

Для повышения коэффициента использования заземлителей расстояние между стержневыми заземлителями принимают не менее длины каждого из них, а между протяженными заземлителями - 2,5 м и более.

При устройстве заземлителя из ряда стержневых заземлителей, соединенных полосой, условия растекания в грунте тока замыкания, стекающего с полосы, отличаются от условий растекания тока, стекающего со свободно уложенной полосы. Это различие заключается в том, что имеется мешающее влияние тока замыкания, стекающего со стержневых заземлителей.

Поэтому в расчет сопротивления соединительной полосы вводят коэффициенты использования, величина которого зависит от числа стержневых заземлителей.

Удельное сопротивление грунта находится в большой зависимости от характера и строения грунта, температуры и содержания в нем влаги и солей. Поэтому в расчет сопротивления одиночных заземлителей растеканию тока замыкания вводят расчетное удельное сопротивление грунта, получаемое в результате умножения измеренного удельного сопротивления грунта на соответствующий коэффициент сезонности. Этим удельное сопротивление грунта приводится к наихудшим условиям, когда оно имеет наибольшую величину (лето, зима).

Степень влажности грунта определяется в основном количеством выпавших осадков и процессами его высушивания. Для уменьшения влияния времени года на сопротивление заземления, а также для повышения безопас-

ности эксплуатации заземляющих устройств заземлители стационарных электроустановок, как правило, располагают в грунте на глубине не менее 0,5 м.

Каждая заземляемая часть электроустановок присоединяется к заземлителю или заземляющей магистрали (заземляющему проводнику с двумя или более ответвлениями) при помощи отдельного ответвления (рис. 3а). Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземляющих частей установки запрещено (рис.3б).

Присоединение ответвлений к металлоконструкциям выполняют сваркой. Присоединение к корпусам аппаратов, машин - надежным болтовым соединением. Контактные поверхности зачищают до металлического блеска и смазывают тонким слоем вазелина.

### **ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

#### **Измерение сопротивления заземляющего устройства**

Для измерения сопротивления заземления обычно используют метод амперметра и вольтметра (рис. 4) либо компенсационный метод (рис. 5).

Для того чтобы измерить величину искомого сопротивления, необходимо иметь два одиночных электрода. Один из них называется вспомогательным заземлителем ( $R_B$ ), а другой зондом ( $R_3$ ). Вспомогательный заземлитель предназначен для образования замкнутой цепи между заземлителем, сопротивление которого измеряется, и вспомогательным заземлителем во всех случаях, в которых один полюс источника электрической энергии присоединен к заземлителю  $R_x$ , а другой - к вспомогательному заземлителю  $R_B$ .

Назначение зонда - получить на схеме точку с нулевым потенциалом, по отношению к которой может быть измерен потенциал испытуемого заземлителя. Зонд располагают на таком расстоянии от заземлителя  $R_x$  и вспомогательного заземлителя, на котором потенциал грунта может быть принят равным нулю.

Метод амперметра и вольтметра основан на получении разности между падениями напряжения в амперметровой и вольтметровой цепях приборов:

$$U = I_a \cdot R_x - I_0 \cdot R_3 \quad (1)$$

где  $U$  - полное падение напряжения между испытуемым заземлением и точкой нулевого потенциала;

$I_a, I_0$  - токи, протекающие соответственно в амперметровой и вольтметровой цепях;

$R_x, R_3$  - сопротивление соответственно испытуемого заземлителя и зонда.

В таких схемах обычно применяют высокоомные вольтметры, поэтому ток, протекающий через вольтметр, принимают равным нулю.

В этом случае  $U = I_a \cdot R_x$ , откуда сопротивление заземлителя:

$$R_X = \frac{U}{I_a} \quad (2)$$

Вольтметр покажет практически полное падение напряжения, если его сопротивление будет, по крайней мере, в 50 раз больше сопротивления зонда.

Если это требование выполнить трудно, то полное падение напряжения на испытуемом заземляющем устройстве вычисляется по формуле:

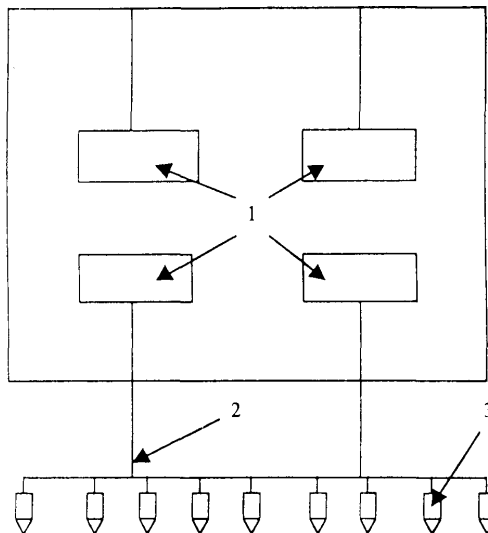
$$U = U_B \cdot \left( 1 + \frac{R_3}{R_B} \right) \quad (3)$$

где  $U_B$  - напряжение, показываемое вольтметром;

$R_3$  - сопротивление зонда (6 Ом) ;

$R_B$  - сопротивление вольтметра (78 Ом).

а)



б)

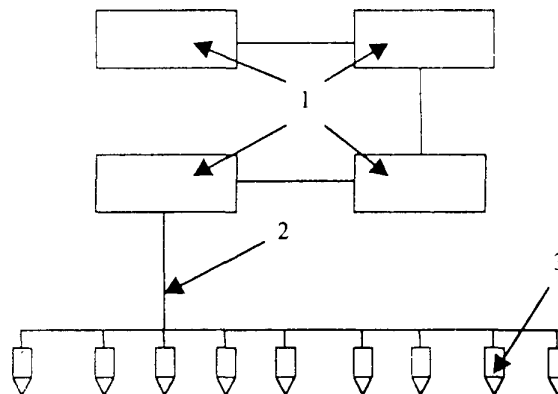


Рис. 3 Схема заземления оборудования правильного (а), неправильного (б):

1 - заземляемое оборудование; 2 - заземляющие проводники; 3 - заземлитель.



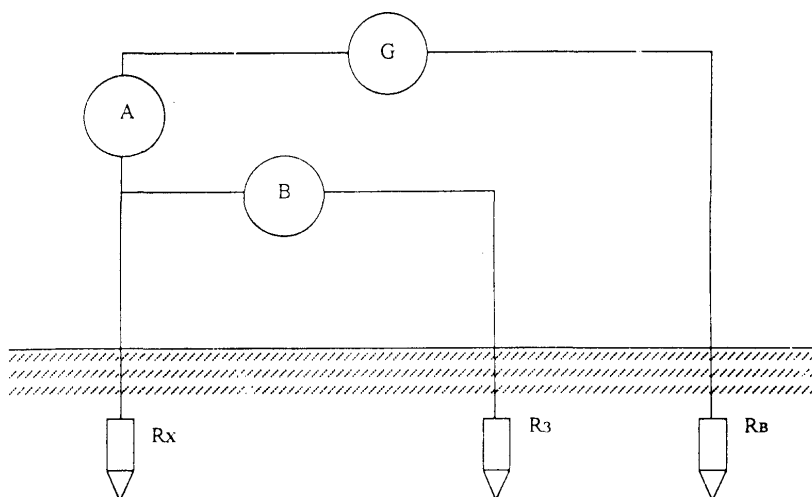


Рис. 4. Принципиальная схема измерения сопротивления заземления по методу амперметра-вольтметра:

а - источник электроэнергии;  $R_x$  - измеряемое сопротивление заземления;  $R_B$  - вспомогательный заземлитель;  $R_3$  - зонд; А - амперметр в цепи вспомогательного заземлителя; В - вольтметр в цепи зонда.

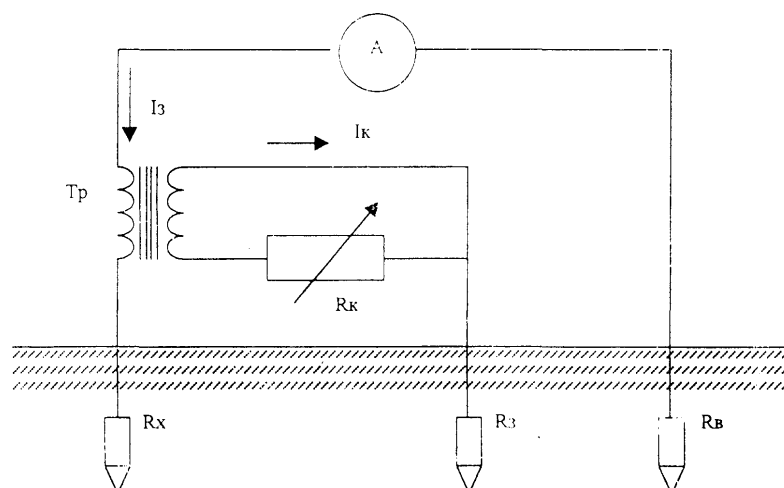


Рис. 5. Принципиальная схема измерения сопротивления заземления по компенсационному методу

а - источник электроэнергии; Тр - трансформатор;  $R_k$  - калибровочное сопротивление;  $R_x$  -- измеряемое сопротивление заземления;  $R_B$  - вспомогательный заземлитель;  $R_3$  - зонд;  $I_k$  - компенсирующий ток;  $I_з$  - ток в измерительной цепи.

Компенсационный метод заключается в уравнивании напряжения равным по величине и противоположным по направлению падением напряжения на известном сопротивлении.

На компенсационном методе основан измеритель сопротивления заземления М-416, который состоит из трех основных узлов:

1. источника постоянного тока, предназначенного для питания цепей генератора и усилителя переменного тока;

2. преобразователя постоянного тока в переменный, питающего измерительные цепи прибора переменным током;
3. измерительного устройства, которое питается переменным током от преобразователя.

В приборе М-416 источником постоянного тока являются три последовательно соединенных сухих элемента напряжением по 1,5В каждый.

Прибор имеет 4 предела измерения: 0,1...10; 0,5...50; 2...200; 10...1000 Ом. Он выполнен в переносном виде в пластмассовом корпусе с откидной крышкой. На лицевой стороне прибора расположены: рукоятка переключателя пределов измерения, рукоятка реохорда, кнопка включения прибора и четыре зажима для присоединения измерительных проводов, которые обозначены цифрами 1,2,3,4.

### **Подготовка прибора к работе**

1. Установить прибор на ровной поверхности
2. Установить переключатель в положение "контроль", нажать кнопку и вращением ручки "реохорд" добиться установления стрелки индикатора на нулевую отметку.

На шкале реохорда при этом должно быть показание  $5 \pm 0,3$  Ом.

### **Проведение измерений**

Переключатель пределов измерения ставят в положение "X 100", нажимают кнопку включения прибора и, вращая рукоятку реохорда, добиваются наибольшего приближения стрелки к нулю.

В этом положении результат измерения равен произведению показания стрелки реохорда на множитель. Если измеряемое сопротивление будет иметь величину менее 200 Ом, то рукоятку переключателя пределов измерения ставят в положение "X 10", "X 5" или "X 1".

Для измерения, сопротивления  $R_x$  собрать схему (см. рис. на крышке прибора слева), присоединив сопротивление  $R_x$  к клеммам прибора 1 и 2, вспомогательный заземлитель - к клемме 4 и зонд - к клемме 3.

Далее измерение производят в той же последовательности, что и сопротивления  $R_3$ .

При значительном сопротивлении  $R_3$  ( $> 1000$  Ом) производят увлажнение грунта либо забивают дополнительные стержни. Лишь затем производят измерение сопротивления  $R_x$ .

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности на рабочем месте.
2. Ознакомиться с устройством измерителя сопротивления заземления.

3. Произвести калибровку прибора М416.
4. Измерить искомое сопротивление  $R_x$ .
5. Произвести замеры сопротивления заземления с помощью амперметра и вольтметра.

Напряжение в сеть схемы подается включением штепсельной вилки в розетку, установленную в сети 220 В.

6. После выполнения измерений отключить напряжение, разобрать схему. Привести рабочее место в порядок.
7. Произвести расчет полного падения напряжения на исследуемом заземлении по формуле (3) и величины сопротивления последнего по формуле (2).
8. Полученные данные измерений и зачетов занести в табл. 1.
9. Дать заключение о соответствии данного заземления требованиям правил устройства электроустановок.
10. Если сопротивление, заземления превышает допустимые значения, произвести расчет заземления с сопротивлением растеканию тока замыкания на землю, соответствующим требованиям правил. Результаты расчета занести в табл. 2 и сделать краткие выводы.

а) определить необходимое число одиночных необъединенных заземлителей методом последовательного приближения:

$$N = \frac{R_x}{\eta \cdot R_{здон}} \quad (4)$$

где  $R_x$  - сопротивление одиночного заземлителя, Ом;

$R_{здон}$  – наибольшее сопротивление заземляющего устройства, допустимое правилами устройства электроустановок, Ом;

$\eta$  - коэффициент использования.

Метод последовательного приближения состоит в том, что, получив исходное число заземлителей  $N$  при  $\eta = 1$ , задавшись схемой размещения заземлителей, находят соответствующее значение  $\eta_1$  (табл. 3). Затем по формуле (4) определяют новые значения  $N_1$ . Для данного значения одиночных заземлителей  $N_1$  находят соответствующее значение коэффициента использования  $\eta_2$  и по формуле (4) определяют новое значение  $N_2$ . Так продолжают расчет до получения разницы между последними числами заземлителей меньше единицы

(т. е.  $N_i - N_{i-1} < 1$ ). Полученное число заземлителей округляют до ближайшего меньшего целого числа ( $N_\phi$ ). Для этого числа заземлителей определяют коэффициент использования  $\eta_\phi$  (табл. 3).

Параметры заземляющего устройства и соответствие сопротивления требованиям правил

Замер методом амперметра-вольтметра				Замер измерителем заземления М416			Допустимое сопротивление заземлителя по ПУЭ, Rдоп.
Показание амперметра	Показание вольтметра	Полное падение напряжения на испытуемом заземли теле	Величина сопротивления испытуемого заземления	Показание логометра	Положение переключателя пределов измерения	Величина сопротивления испытуемого заземлителя	

**Нормирование сопротивления заземляющего устройства (выписка из ПУЭ)**

В сетях напряжением до 1000В величина сопротивления заземляющего устройства не должна превышать 4 Ом. В случаях, когда установленная мощность питающего трансформатора не превышает 100 кВА, допускается сопротивление заземляющего устройства до 10 Ом. Указанные нормы обосновываются допустимой величиной напряжения прикосновения, которая в сетях до 1000В не должна превышать 40 В.

Таблица 3

Значения  $\eta$  для заземлителей, расположенных в ряд

a	Число заземлителей, N	N
Lc	2	0,85
	3	0,78
	5	0,70
	10	0,59
	15	0,53

a	Число заземлителей, N	n
2Lc	2	0,91
	3	0,87
	5	0,80
	10	0,74
	15	0,69