

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра аэрологии, охраны труда и природы

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

**Методические указания к практическому занятию
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»
для обучающихся всех специальностей
и направлений бакалавриата**

**Составители В. А. Портола
 Г. К. Яппарова
 Е. А. Волгина**

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 8 от 28.03.2019
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления подготовки 20.03.01
Протокол № 8 от 28.03.2019
Электронная копия находится
в библиотеке ГУ КузГТУ

Кемерово 2019

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: освоить методику определения электрического сопротивления заземляющих устройств электроустановок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В процессе выполнения работы студенты должны:

- изучить воздействие электрического тока на организм человека;
- ознакомиться с принципом действия заземляющих устройств;
- изучить типы и конструкции существующих устройств, для заземления электрооборудования;
- оценить зависимость сопротивления растекания заземляющего устройства от некоторых параметров;
- рассчитать параметры заземляющих устройств, обеспечивающих безопасность эксплуатации электроустановок.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Среди всех видов производственных травм случаи поражения электрическим током составляют около 11 %, но поражение электрическим током приводит к тяжелым последствиям. Так, среди случаев со смертельным исходом доля электротравм достигает 20–40 %. Большая часть пострадавших переходит на инвалидность. Причем последствия поражения электрическим током могут проявляться через много лет после происшествия. В 30 % случаев тяжелые последствия от поражения электрическим током развиваются впервые десять дней, в 15 % – через два месяца, в 35 % – через год и в 20 % проявляются через два года.

Проходя через организм, электроток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое действие. Термическое действие проявляется в интенсивном нагреве тканей, расположенных на пути движения тока. Электролитическое действие тока проявляется в разложении органических жидкостей, изменении движения ионов солей. Механическое действие тока обусловлено электродинамическим эффектом и взрывоподобным образованием пара, приводящим к расслоению и

разрыву тканей. Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей.

Поражения электрическим током могут вызвать и различные заболевания. Зачастую после воздействия электрическим током фиксируются развитие диабета, заболевания щитовидной железы, половых органов, сердечно-сосудистой системы, провоцируются болезни аллергической природы. Последствием электротравм могут быть неожиданные кровотечения, вегетативные расстройства, поражение центральной нервной системы.

Исход поражения человека электротоком зависит от силы тока и длительности его прохождения через организм, характеристики тока (переменный или постоянный, частота), пути прохождения тока в теле человека. Величина тока, проходящего через организм, зависит от напряжения и площади прикосновения, состояния кожного покрова, физического и психического состояния человека. Переменный ток опаснее постоянного до напряжения 500 В. При более высоком напряжении более опасным становится постоянный ток.

Сопротивление тела человека уменьшается при увеличении воздействующего напряжения. При напряжении 40-45 В наступает пробой кожных покровов, представляющих основное электрическое сопротивление в организме, после чего сопротивление тела человека практически равно сопротивлению внутренних тканей (порядка 1 кОм).

По степени воздействия на человека можно выделить следующие пороговые значения тока: **ощутимый, неотпускающий и фибрилляционный**.

Ощутимый ток, вызывающий ощутимые раздражения, при переменном токе с частотой 50 Гц находится в диапазоне 0,6–1,5 мА. Болевые ощущения фиксируются при величине тока 2,0–2,5 мА. Начало судорог в руках происходит при токе 5,0–7,0 мА.

Неотпускающий ток, вызывающий сильные боли и затрудненное дыхание, судорожные сокращения мышц, при которых человек не способен самостоятельно освободиться от токоведущих частей, возникает в диапазоне 20,0–25,0 мА. Паралич дыхания происходит при токе 50,0–80,0 мА.

Фибрилляционный ток, значение которого находится на уровне 90-100 мА, приводит к нарушению ритмичных сокращений мышц сердца и возникновению хаотичных сокращений отдельных мышечных волокон с частотой до 700 за минуту, что может вызвать прекращение перекачки крови и гибель организма.

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. При длительности воздействия более 10 с – это 2 мА, при контакте от 1 до 10 с – это 6 мА.

2. СВЕДЕНИЯ О ЗАЩИТНОМ ЗАЗЕМЛЕНИИ

2.1. Принцип действия защитного заземления

Любое электрооборудование может оказаться под напряжением при неисправности изоляции токоведущих частей. Причинами нарушения изоляции могут быть механические повреждения, действие химически агрессивной среды, повышение температуры, неправильная эксплуатация электроустановок. Неожиданность неисправности и неподготовленность к ней людей приводит, как правило, к несчастным случаям.

Основным защитным мероприятием от поражения электрическим током на электроустановках является установка защитного заземления. Защитным заземлением называется преднамеренное соединение с землей металлических частей электрооборудования, не находящихся под напряжением в обычных условиях, но которые могут оказаться под напряжением в результате нарушения изоляции токоведущих частей.

Защитное действие достигается путем снижения напряжения на корпусе электрооборудования за счет стекания тока на землю через заземляющее устройство малого электрического сопротивления. Чем меньше будет сопротивление заземляющего устройства, тем меньше будет напряжение на заземленном корпусе оборудования, что уменьшит величину тока, проходящего через человека. Вторым защитный эффект заземляющего устройства может быть обусловлен выравниванием напряжения между оборудованием и землей, на которой находится человек, за счет увеличения потенциала земли в месте стекания тока. Поэтому для предотвращения несчастных случаев от поражения электриче-

ским током перед монтажом заземляющего устройства рассчитывают его параметры из условия снижения величины тока, протекающего через человека, до допустимых уровней.

Защитное заземление применяется во всех электроустановках переменного тока напряжением 380 В и выше и постоянного тока напряжением 440 В и более. В помещениях с повышенной опасностью заземляют электроустановки с напряжением переменного тока 42 В и более, а постоянного тока начиная со 110 В. Во взрывоопасных помещениях заземление применяют независимо от величины напряжения.

Контрольные измерения заземляющих устройств должны проводиться не реже одного раза в год в период наименьшей проводимости. Один раз летом при наибольшем просыхании почвы, а на следующий год – зимой при наибольшем промерзании грунта.

2.2. Конструкция заземляющих устройств

Конструктивно заземление состоит из заземлителей (электродов) и заземляющих проводников (рис. 1). Заземлители могут быть естественными или искусственными. В качестве естественных заземлителей используют проложенные в земле металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов с горючими жидкостями и газами), металлические элементы и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений и т.п. В качестве искусственных заземлителей используются стальные трубы диаметром 25–60 мм с толщиной стенок не менее 3,5 мм, уголовая или полосовая сталь сечением не менее 48 мм², а также прутковая сталь диаметром не менее 10 мм. Длину вертикальных заземлителей (электродов) рекомендуется принимать равной 2,0–5,0 м. Расстояние от поверхности грунта до начала одиночного вертикального заземлителя (заглубление электрода) составляет 0,5–0,8 м.

Электрическая связь между вертикальными заземлителями осуществляется заземляющими магистральными проводниками, изготавливаемыми обычно из полосовой стали сечением не менее 48 мм² или стали круглого сечения диаметром не менее 6 мм. Заземляющие проводники соединяют заземляемые объекты с за-

землителями и изготавливаются обычно из стали прямоугольного или круглого сечения. Заземляющие магистральные проводники соединяются с вертикальными заземлителями посредством сварки. Заземляемые объекты соединяются с заземляющим устройством через болтовые соединения или путем сварки.

Заземляющие устройства могут быть выносного или контурного типа. При контурном заземлении (рис. 1) заземлители располагаются равномерно по периметру площадки, на которой находится электрооборудование. Выносное очаговое заземляющее устройство (рис. 2) располагается за пределами площадки, где установлено подлежащее заземлению оборудование. Схема выносного заземляющего устройства при расположении электродов в ряд приведена на рис. 3.

2.3. Расчет заземляющих устройств

Для обеспечения безопасности эксплуатации электрооборудования производят расчет заземляющих устройств уже на стадии проектирования. Электроустановки напряжением до 1000 В при изолированной нейтрالي и мощности трансформатора более 100 кВт должны иметь сопротивление защитного заземления не более 4 Ом. При мощности трансформатора менее 100 кВт сопротивление заземления не должно превышать 10 Ом.

Сопротивление заземлителей растеканию тока зависит от их числа, размеров, удельного сопротивления грунта. Сопротивление одиночного стержневого заземлителя (электрода) определяется по формуле, Ом

$$R_O = 0,366 \frac{\rho}{L} \left(\lg \frac{2L}{d} + 0,51 g \frac{4h + L}{4h - L} \right) \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м; d – диаметр стержневого заземлителя, м; L – длина стержневого заземлителя, м; h – глубина размещения заземлителя, м

$$h = 0,5L + h_0 \quad (2)$$

где h_0 – расстояние от поверхности грунта до начала одиночного заземлителя, от 0,5 до 0,8 м.

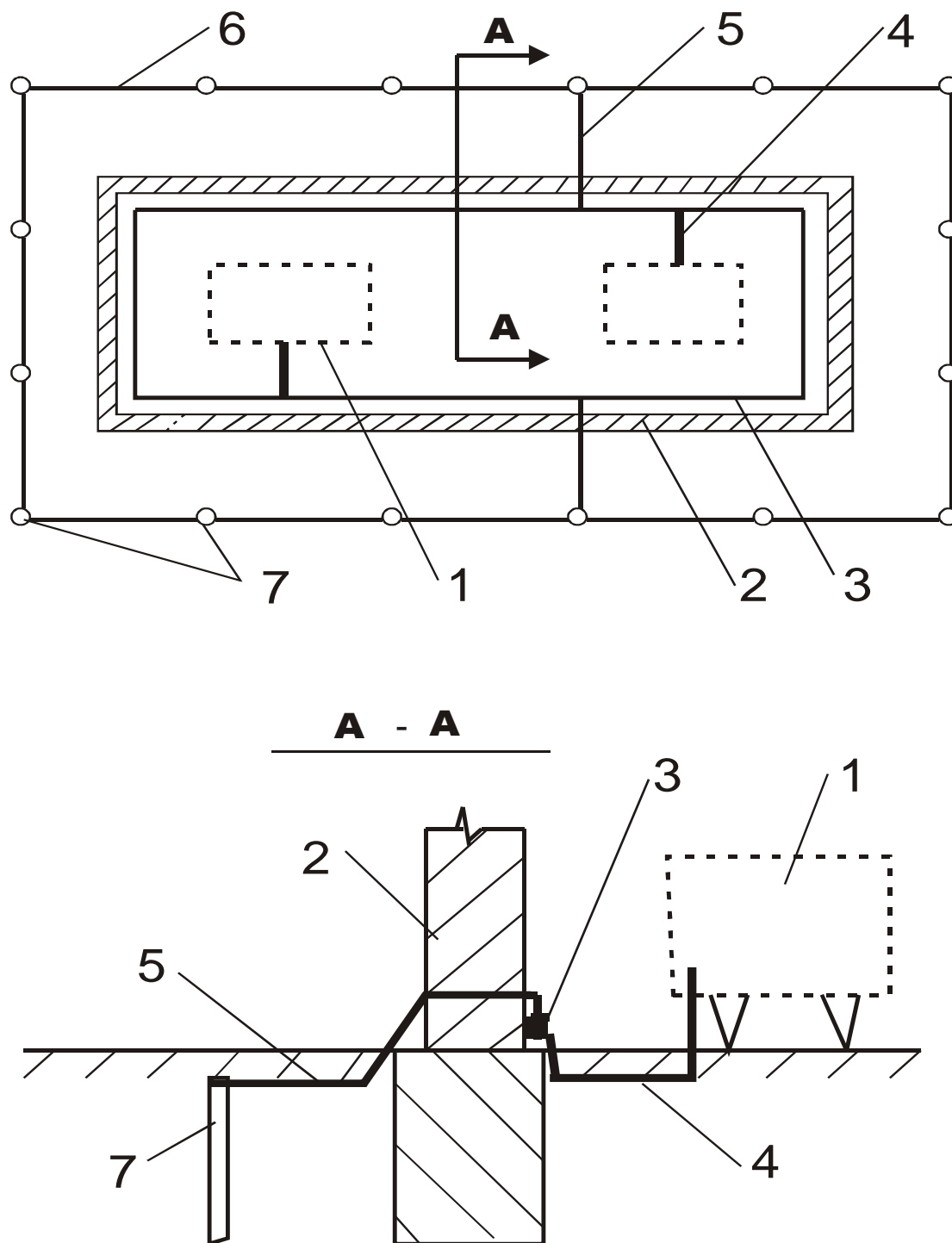


Рис. 1. Схема контурного заземления электрооборудования:
 1 – электрооборудование; 2 – здание; 3 – внутренний заземляющий контур; 4, 5 – заземляющие проводники; 6 – заземляющий магистральный проводник; 7 – заземлитель

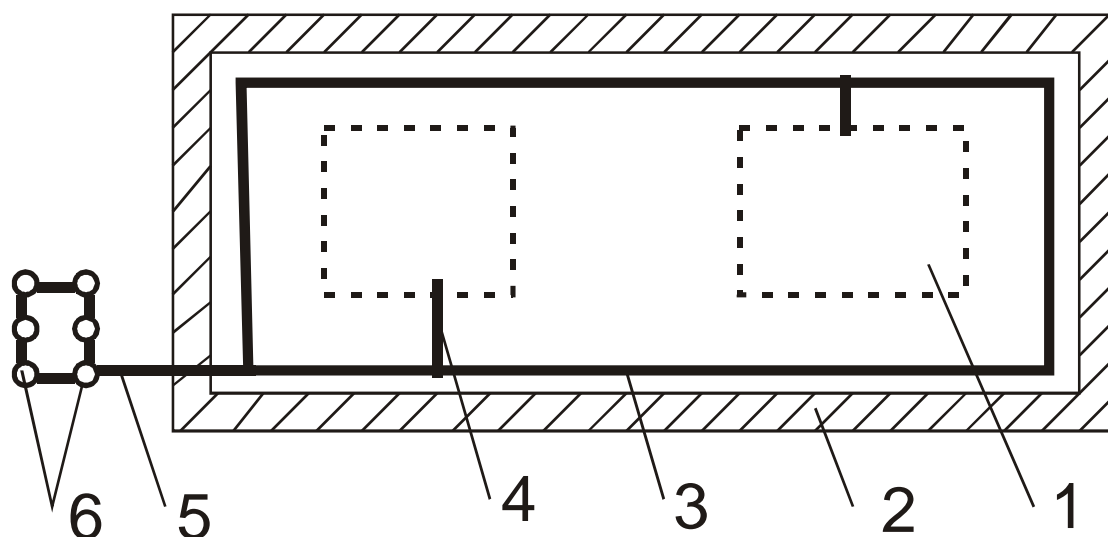


Рис. 2. Схема выносного очагового заземления электрооборудования:

1 – электрооборудование; 2 – здание; 3 – внутренний заземляющий контур; 4, 5 – заземляющие проводники; 6 – заземлитель

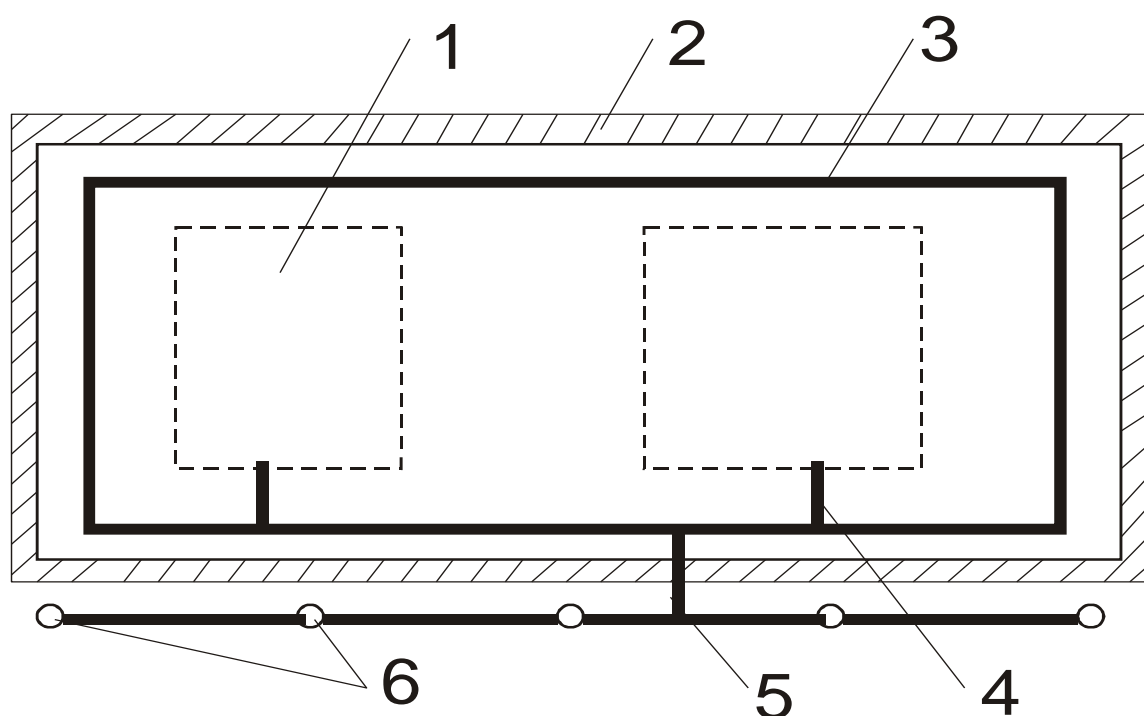


Рис. 3. Схема выносного заземления электрооборудования при расположении электродов в ряд:

1 – электрооборудование; 2 – здание; 3 – внутренний заземляющий контур; 4, 5 – заземляющие проводники; 6 – заземлитель

Для заземлителей из угловой стали предварительно определяют эквивалентный диаметр по формуле

$$d = 0,96C \quad (3)$$

где C – ширина полок уголка, м.

Необходимые для расчета значения удельных сопротивлений грунтов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вид грунта	Пределы колебаний величины удельных сопротивлений грунтов, Ом·м	Рекомендуемые для расчетов удельные сопротивления грунтов, Ом·м
Песок	400-700	500
Супесь	150-400	300
Суглинок	40-150	100
Глина	8-70	40
Садовая земля	40-60	50
Чернозем	9-530	200
Торф	20-60	40
Руда	2-20	10
Речная вода	10-80	50
Морская	0,2-1	0,6
Уголь	40000-45000	43000
Скала	$4 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$

Количество стержневых заземлителей, необходимых для достижения нормативного сопротивления заземляющего устройства, определяется по формуле

$$N = \frac{R_0}{R_D \eta_C \eta_I} \quad (4)$$

где R_D – допустимое (нормативное) сопротивление заземления, Ом; η_C – коэффициент сезонности; η_I – коэффициент использования (экранирования) в вертикальных заземлителях.

Забитые электроды соединяются металлической полосой сечением не менее 48 мм^2 . Длина полосы для контура равна

$$L_n = 1,05a(N - 1) \quad (5)$$

а при расположении электродов в ряд

$$L_P = aN \quad (6)$$

где a – расстояние между электродами, м; N – число электродов, шт.

Численные значения коэффициента сезонности в основном определяются колебанием влажности почвы в течение года и заданы в табл. 2.

Таблица 2

Месяц	Глубина размещения (заложения), м		Месяц	Глубина размещения (заложения), м	
	менее 0,8	более 0,8		менее 0,8	более 0,8
Январь	1,05	1,2	Июль	2,2	1,75
Февраль	1,05	1,1	Август	1,55	1,55
Март	1,0	1,1	Сентябрь	1,6	1,7
Апрель	1,6	1,2	Октябрь	1,55	1,5
Май	1,95	1,3	Ноябрь	1,65	1,35
Июнь	2,0	1,55	Декабрь	1,65	1,35

Численные значения коэффициента использования (экранирования) для вертикальных заземлителей (электродов) при их размещении по контуру и в ряд (выносная схема) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Число заземлителей	Отношение расстояния между электродами к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	размещение в ряд			размещение по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	–	–	–
4	0,73	0,83	0,89	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	0,57	0,76	0,47	0,63	0,71
40	–	–	–	0,41	0,58	0,66
60	–	–	–	0,39	0,55	0,64

Сопротивление растеканию электрического тока соединяющей полосы, уложенной в земле, определяется по формуле, Ом

$$R_P = 0,366 \frac{\rho}{L_i} \lg \frac{2L_i^2}{hb} \quad (7)$$

где L_i – длина полосы, м; b – ширина полосы, м; h – глубина заложения полосы от поверхности земли, м.

Результирующее сопротивление растеканию электрического тока всего заземляющего устройства определяется по формуле

$$R = \frac{R_O R_P}{R_O \eta_P + R_P \eta_I N} \quad (8)$$

где η_P – коэффициент использования (экранирования) горизонтальной соединительной полосы.

Численные значения коэффициента использования горизонтального полосового электрода в зависимости от числа вертикальных электродов, соединяемых им, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов						
	2	4	6	10	20	40	60
	размещение в ряд						
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	—	—
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56	—	—
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	—	—
	размещение по контуру						
1	—	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20
2	—	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27
3	—	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Для определения параметров заземляющего устройства, необходимых для получения допустимого электрического сопротивления заземления, обеспечивающего безопасность работающего персонала в случае нарушения изоляции токоведущих частей электроустановки, задается один из вариантов (табл. 5). В табл. 5 приведены вид грунта, порядок расположения вертикальных заземлителей, размеры электродов и расстояние между ними.

2. В соответствии с заданным вариантом выбирается значение удельного сопротивления грунта из табл. 1 и рассчитывается сопротивление одиночного электрода (R_O) по формуле (1). Расстояние от поверхности грунта до начала заземлителя (h_0) принимается равным 0,7 м. Результат заносится в табл. 6.

3. Для расчета необходимого количества вертикальных заземлителей (электродов) применяем метод последовательных приближений. На первом шаге определяют количество электродов по формуле

$$N = \frac{R_O}{R_D \eta_C} \quad (9)$$

где R_D – допустимое сопротивление заземления, принимается равным 4 Ом.

Коэффициент сезонности (η_C) определяется из табл. 2 для месяца, имеющего наименьшее численное значение этого параметра.

На втором шаге, исходя из предварительного числа необходимых электродов (полученных по формуле (9)), по табл. 3 определяют коэффициент использования в вертикальных заземлителях (η_I). Полученный коэффициент подставляют в формулу (4) и рассчитывают необходимое число электродов.

Таблица 5

Вариант	Грунт	Расположение заземлителей	Длина электрода, м	Диаметр труб или размер уголка, мм	Расстояние между электродами, м
1	2	3	4	5	6
1	Песок	по контуру	3,0	32	4,5
2	Супесь	по контуру	2,9	50×50	2,9
3	Суглинок	в ряд	2,8	32	4,2
4	Глина	в ряд	2,7	40×40	2,7
5	Садовая земля	по контуру	2,6	38	3,9
6	Чернозем	в ряд	2,5	45×45	2,5
7	Торф	в ряд	2,4	42	4,8
8	Песок	по контуру	2,3	32	3,6
9	Супесь	по контуру	2,2	50×50	4,4
10	Суглинок	в ряд	2,1	32	4,2
11	Глина	по контуру	3,0	40×40	4,5
12	Садовая земля	в ряд	2,9	38	2,9
13	Чернозем	по контуру	2,8	45×45	4,2
14	Торф	в ряд	2,7	42	2,7
15	Песок	по контуру	2,6	32	3,9
16	Супесь	по контуру	2,5	50×50	2,5
17	Суглинок	по контуру	2,4	32	4,6
18	Глина	в ряд	2,3	40×40	3,6
19	Садовая земля	по контуру	2,2	38	4,4
20	Чернозем	в ряд	2,1	45×45	4,2
21	Торф	в ряд	3,0	42	4,5

На третьем шаге, по полученному на втором шаге расчета числу вертикальных заземлителей, определяют по табл. 3 уточненный коэффициент использования и вновь рассчитывают требуемое число вертикальных заземлителей по формуле (4). Полученное количество вертикальных заземлителей округляется до целого числа. Коэффициенты сезонности, использования (экранирования) и рассчитанное количество электродов заносятся в табл. 6.

4. По формулам (5) или (6) рассчитывают длину горизонтальной металлической полосы, соединяющей вертикальные электроды. Затем вычисляют сопротивление растеканию тока соединяющей полосы, уложенной в земле, по формуле (7). Значе-

ние удельного сопротивления грунта определяют по табл. 1. Ширина стальной полосы равна 12 мм, толщина 4 мм. Глубина заложения полосы от поверхности земли равна 0,7 м. Полученные численные значения также заносят в табл. 6.

5. Результирующее сопротивление растеканию электрического тока всего заземляющего устройства вычисляют по формуле (8). Коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы определяют по табл. 4. Полученные значения заносятся в табл. 6.

6. Расчетное сопротивление заземляющего устройства сравнивают с допустимым. Если соблюдается условие $R \leq R_D$, то заземляющее устройство считается обеспечивающим безопасность эксплуатации электроустановок.

Таблица 6

Вариант	ρ , Ом·м	R_O , Ом	η_C	η_I	N	L , м	R_P , Ом	η_P	R Ом

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое действие на организм человека оказывает прохождение электрического тока?
2. Назовите основные причины электротравматизма?
3. Что называется защитным заземлением?
4. За счет чего достигается защитное действие заземления?
5. Когда применяют защитное заземление?
6. Что применяется в качестве естественных заземлителей?
7. Какие требования предъявляются к устройству заземляющих проводников?
8. От каких параметров зависит сопротивление заземляющих устройств?

ЛИТЕРАТУРА

1. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 216 с.

2. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. – Санкт-Петербург: ДЕАН, 2001. – 928 с.

3. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – Санкт-Петербург: ДЕАН, 2000. – 320 с.

4. Долина, П. А. Справочник по технике безопасности / П. А. Долина. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 825 с.

5. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для вузов / С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьков и др.; под общ. ред. С. В. Белова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Высш. шк., 1999 – 448 с.

Составители
Вячеслав Алексеевич Портола
Гэльсем Карамовна Яппарова
Елена Аркадьевна Волгина

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

**Методические указания к практическому занятию
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»
для обучающихся всех специальностей и направлений бакалавриата**

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 03.06.2019. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 0,8.
Тираж 25 экз. Заказ
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.