

Практическая работа 5

Расчет искусственного защитного заземления

Цель работы: на основе изучения Правил устройства электроустановок и теоретического материала провести расчет искусственного защитного заземления по выбранному варианту.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить положения Правил устройства электроустановок и теоретический материал.
2. На основе изученной информации оформить табл. 5.7 по расчету искусственного защитного заземления по выбранному варианту.

Теоретический материал

Расчет ведется на основе метода коэффициентов использования электродов (учитывает однородную структуру грунта и используется для расчета простых заземлителей).

Исходными данными для расчета заземляющих устройств являются:

- напряжение заземляемой установки;
- режим нейтрали установки;
- величина тока замыкания на землю (для установок с напряжением выше 1000 В);
- удельное сопротивление грунта;
- план размещения заземляемого оборудования;
- без учета естественных заземлителей.

Таблица 5.1.1

Выбор варианта

Первые две буквы фамилии	Вариант	Первые две буквы фамилии	Вариант
Аа – Ак		Ол – Оя	26
Ал – Ая		Па – Пк	27
Ба – Бк		Пл – Пя	28
Бл – Бя		Ра – Рк	29
Ва – Вк		Рл – Ря	30
Вл – Вя		Са – Ск	31

Первые две буквы фамилии	Вариант	Первые две буквы фамилии	Вариант
Га – Гк		Сл – Ся	32
Гл – Гя		Та – Тк	33
Да – Дк		Тл – Тя	34
Дл – Дя		Уа – Ук	35
Еа – Ея		Ул – Уя	36
Ёа – Ёя		Фа – Фя	37
Жа – Жя		Ха – Хя	38
За – Зя		Ца – Ця	39
Иа – Ик		Ча – Чя	40
Ил – Ия		Ша – Шл	41
Ка – Кк		Шм – Шя	42
Кл – Кя		Ща – Щл	43
Ла – Лк		Щм – Щя	44
Лл – Ля		Эа – Эк	45
Ма – Мк		Эл – Эя	46
Мл – Мя		Юа – Юк	47
На – Нк		Юл – Юя	48
Нл – Ня		Яа – Як	49
Оа – Ок		Ял – Яя	50

Таблица 5.1.2

Варианты заданий для установок напряжением до 1000 В

Вариант	Тип грунта	Длина одного вертикального электрода, l , м	Конфигурация заземлителя	Расстояние между вертикальными электродами, m , м	Диаметр вертикального электрода, d , мм	Глубина, t , м	Диаметр горизонтального электрода, d_1 , мм
1	Торф	2,5	В ряд	2	10	0	6
2	Чернозем	3	В ряд	2,5	12	1	8
3	Садовая земля	3,5	По контуру	3	14	2	10
4	Глина	4	В ряд	3,5	16	3	12
5	Суглинок	4,5	В ряд	4	18	0	14
6	Супесок	5	По контуру	2	10	1	6
7	Песок	2,5	В ряд	2,5	12	2	8

Вариант	Тип грунта	Длина одного вертикального электрода, l , м	Конфигурация заземлителя	Расстояние между вертикальными электродами, m , м	Диаметр вертикального электрода, d , мм	Глубина, t , м	Диаметр горизонтального электрода, d_1 , мм
8	Гравий	3	По контуру	3	14	3	10
9	Каменистый грунт	3,5	По контуру	3,5	16	0	12
10	Песок	4	По контуру	4	18	0	14
11	Торф	6	По контуру	10	14	0,5	10
12	Чернозем	7	По контуру	8	16	0,7	12
13	Садовая земля	8	По контуру	4	18	0,8	14
14	Глина	3	В ряд	6	10	1,5	10
15	Суглинок	4,5	В ряд	3	12	1,2	12
16	Супесок	5,5	По контуру	5	14	1,4	14
17	Песок	6,5	По контуру	10,5	16	2,5	16
18	Гравий	9	В ряд	12,5	18	2,6	6
19	Каменистый грунт	10	В ряд	15	10	3,5	8
20	Песок	7,5	По контуру	14,5	12	0	10
21	Торф	9	По контуру	8,5	14	0	12
22	Чернозем	4	В ряд	9,5	16	0	14
23	Садовая земля	2	В ряд	11	18	1	6
24	Глина	8	По контуру	13	10	2	8
25	Суглинок	1	По контуру	13,5	12	3	12
26	Супесок	3,5	В ряд	6,5	14	0	14
27	Песок	6,5	В ряд	9	16	1	16
28	Гравий	8,5	По контуру	8,5	18	2	10
29	Каменистый грунт	7,5	По контуру	10,5	10	3	10
30	Песок	10	В ряд	12,5	12	0	14
31	Торф	8,5	В ряд	15	14	0	10
32	Чернозем	4,5	По контуру	14,5	16	0,5	12
33	Садовая земля	4	По контуру	8,5	18	0,7	14
34	Глина	2	В ряд	9,5	14	0,8	16

Вариант	Тип грунта	Длина одного вертикального электрода, l , м	Конфигурация заземлителя	Расстояние между вертикальными электродами, m , м	Диаметр вертикального электрода, d , мм	Глубина, t , м	Диаметр горизонтального электрода, d_1 , мм
35	Суглинок	7,5	В ряд	11	16	1,5	6
36	Супесок	5	По контуру	13	18	1,2	8
37	Песок	2,5	По контуру	13,5	10	1,4	10
38	Гравий	8	В ряд	6,5	12	2,5	12
39	Каменистый грунт	4	В ряд	9	14	2,6	14
40	Песок	2	По контуру	8,5	16	3,5	6
41	Торф	4	По контуру	2	18	0	8
12	Чернозем	3	В ряд	2,5	10	0	12
43	Садовая земля	2	В ряд	3	12	1	14
44	Глина	8	По контуру	3,5	14	2	16
45	Суглинок	7	По контуру	4	16	3	10
46	Супесок	6	В ряд	2	18	0,5	10
47	Песок	9	В ряд	2,5	14	2,2	14
48	Гравий	10	По контуру	3	16	3	16
49	Каменистый грунт	5	По контуру	3,5	18	2,2	18
50	Песок	3	В ряд	14	10	1,8	10

Порядок расчета

1. Определяется допустимое сопротивление заземляющего устройства R_d по табл. 5.2 или по формуле

$$R_d \leq \frac{U_{\text{пр.доп}}}{I_3 \cdot \alpha_1},$$

где $U_{\text{пр.доп}}$ — допустимое напряжение прикосновения; α_1 — коэффициент напряжения прикосновения, равный 1,0 для ряда стержней, соединенных соединительным проводником.

Требуемое сопротивление искусственных заземлителей $R_{\text{и}}$ не должно превышать допустимое сопротивление заземляющего устройства $R_{\text{д}}$:

$$R_{\text{и}} \leq R_{\text{д}}.$$

Таблица 5.2

Наибольшие допустимые значения сопротивления защитных заземлений в электрических установках (ПУЭ)

Характеристика установок	Наибольшее допустимое сопротивление заземления, Ом
<i>Установки напряжением выше 1000 В:</i>	
Защитное заземление в установках с большими токами замыкания на землю ($I_3 > 500 \text{ A}$)	0,5
Защитное заземление с малыми токами замыкания на землю ($I_3 < 500 \text{ A}$)	10
<i>Установки напряжением до 1000 В в сетях с глухозаземленной нейтралью</i>	4

2. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта ρ , в котором предлагается размещать электроды заземления.

Таблица 5.3

Удельные электрические сопротивления грунтов

Грунт, вода	Удельное сопротивление, рекомендуемое для расчетов, Ом · м
Торф	20
Чернозем	30
Садовая земля	50
Глина	60
Суглинок	100
Супесок	300
Песок	500
Гравий, щебень	2 000
Каменистый грунт	4 000
Вода морская	0,2—1
Вода речная	10—100
Вода грунтовая	20—70

Примечание. Требуемое сопротивление искусственных заземлителей не должно превышать допустимое сопротивление заземляющего устройства.

3. Предварительно определяется конфигурация заземлителя (в ряд, по контуру и т. д.) с учетом возможности размещения его на отведенной территории (рис. 5.1 и 5.2).



Рис. 5.1. Ряд

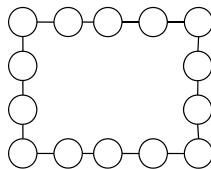


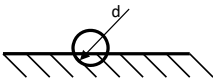
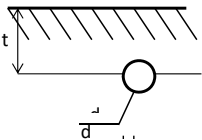
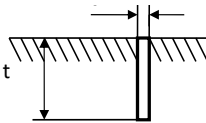
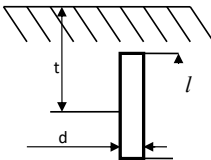
Рис. 5.2. Контур

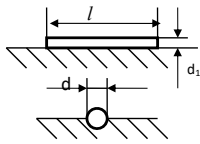
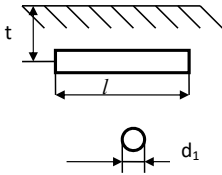
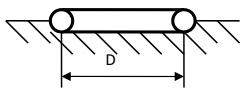
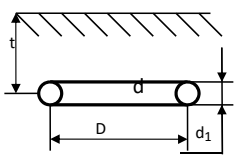
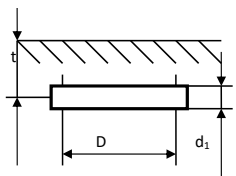
4. Выбираются тип и размеры заземлителей — вертикальных электродов и соединительной полосы из табл. 5.4.

5. Определяется сопротивление растеканию тока с одного заземлителя $R_{\text{г}}$ по соответствующим формулам из табл. 5.4.

Таблица 5.4

Определение сопротивления одиночных заземлителей
растеканию тока

Тип заземлителя	Эскиз заземлителя	Формула для определения $R_{\text{в}}$, Ом
Полушаровой у поверхности грунта		$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{\pi \cdot d}$
Шаровой в грунте		$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{\pi \cdot d} \cdot \left(1 + \frac{d}{4t}\right)$ $2t \gg d$
Трубчатый или стержневой у поверхности грунта		$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4t}{d}$ $l \gg d$
Трубчатый или стержневой в грунте		$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right)$

Тип заземлителя	Эскиз заземлителя	Формула для определения $R_{\text{в}}, \text{ Ом}$
Протяженный на поверхности земли (труба, полоса)		$R_{\text{г}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l}{d_1}$ $l \gg d_1$
Протяженный в грунте (стержень, труба, полоса)		$R_{\text{г}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{d_1 \cdot t}$ $l \gg 4t, l \gg d_1$
Кольцевой на поверхности земли		$R_{\text{г}} = \frac{\rho}{\pi \cdot D} \cdot \ln \frac{8D}{d_1}$
Кольцевой в земле		$R_{\text{г}} \approx \frac{\rho}{\pi \cdot D} \cdot \ln \frac{8D}{d_1}$
Кольцевой прямоугольного сечения в грунте		$R_{\text{г}} \approx \frac{\rho}{\pi \cdot D} \cdot \ln \frac{16D}{d_1}$ $0,5 < D > 2t$

6. Определяется необходимое количество параллельно соединенных заземлителей:

$$n = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}}}$$

7. Для связи вертикальных электродов применяются горизонтальные электроды – стальная полоса или пруток.

Длина горизонтального электрода при расположении заземлителей по контуру определяется по формуле

$$l = 1,05 \cdot m \cdot n,$$

где l — длина соединительного проводника; m — расстояние между заземлителями; n — количество заземлителей.

Длина соединительного электрода (проводника) при расположении заземлителей в ряд определяется по формуле

$$l = 1,05 \cdot m \cdot (n - 1).$$

8. Определяется сопротивление растеканию тока горизонтального электрода R_r по соответствующей формуле из табл. 5.4.

9. Определяется сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей:

$$R_u = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B \cdot \eta_r + R_r \cdot n \cdot \eta_B},$$

где η_r — коэффициент использования горизонтального электрода с учетом вертикальных электродов, определяется по табл. 5.6; η_B — коэффициент использования вертикальных электродов, учитывающий их взаимное экранирование, определяется по табл. 5.5.

Полученное сопротивление искусственных электродов не должно превышать требуемое сопротивление R_{σ} .

Таблица 5.5

Коэффициент использования η_B вертикальных электродов группового заземлителя

Число заземлителей	Электроды размещены в ряд			Электроды размещены по контуру		
	Отношение расстояния между электродами к их длине			Отношение расстояния между электродами к их длине		
	1	2	3	1	2	3
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	0,67	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

Таблица 5.6

Коэффициенты использования η_c горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды

Отношение расстояния между вер- тикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
	Вертикальные электроды размещены в ряд (рис. 5.1)							
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	—	—	—
	Вертикальные электроды размещены по контуру (рис. 5.2)							
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

Таблица 5.7

Результаты расчета искусственного защитного заземления
по заданному варианту

Наименование параметра	Значение параметра
Допустимое сопротивление заземляющего устройства	
Расчетное удельное сопротивление грунта	
Тип и размеры заземлителей — вертикальных электродов и соединительной полосы	
Сопротивление растеканию тока с одного вертикального заземлителя	
Количество параллельно соединенных заземлителей	
Длина горизонтального электрода	
Сопротивление растеканию тока горизонтального электрода	
Сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей	