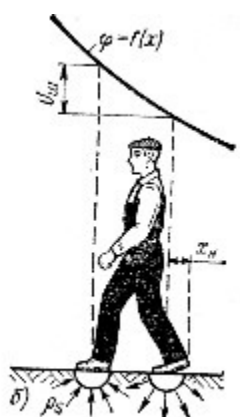


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»
федеральный опорный вуз

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

НАПРЯЖЕНИЕ ШАГА

Методические указания по выполнению практической работы
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»
для подготовки бакалавров всех направлений и форм обучения и



Нижегород, 2018

Составители: О.В. Маслеева, Т.И.Курагина, Т.В. Кирилловых
УДК 628.93:658.2 (075.5)

Напряжение шага: метод. указания по выполнению практической работы по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для подготовки бакалавров всех направлений и форм обучения /НГТУ им. Р.Е.Алексеева; сост.: Маслеева О.В. и др. Н.Новгород, 2018. 14 с.

Изложены краткие сведения из теории по явлению стекания тока в землю и напряжению шага. Дана методика расчета напряжения шага для различных форм заземлителей. Приведены варианты заданий к работе, порядок ее выполнения и указания к составлению отчета.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подп. к печ. 08.06.2018. Формат 60x84/16. Бумага газетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 2,25. Уч.-изд. л.1,5. Тираж 200 экз. Заказ 356.

Нижегородский государственный технический университет им.
Р.Е.Алексеева. Типография НГТУ. 603950. Н. Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский
государственный
технический
университет

им. Р. Е. Алексеева,
2018 г.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучить явления при растекании тока в земле;
- напряжение шага
- выполнить расчет напряжения шага в зависимости от расстояния до заземлителя.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В 1928 году в Ленинграде произошла авария, вошедшая в учебники под названием «лошадиной».

Посредине площади находился чугунный колодец, в котором помещался электрический воздушный выключатель. Колодец как металлическая бочка возвышался над мостовой.

Произошло повреждение фарфорового изолятора, на котором крепился разъединитель, и он повис на проводе, ещё не касаясь корпуса колодца. Электроустановка внутри колодца находилась под напряжением 2000 В. Пошел дождь. Под тяжестью проезжавшей телеги мостовая у колодца прогнулась и головка разъединителя, находившегося под напряжением, коснулась корпуса колодца.

Возникло короткое замыкание. Вблизи колодца на земле появилось шаговое напряжение, возникающее на поверхности земли, когда электрический ток протекает через землю от поврежденного участка сети. Находившиеся вблизи колодца люди почувствовали удар током, вызванный шаговым напряжением. Лошадь, обладающая из-за металлических подков хорошим контактом с мокрой мостовой и имеющая большее, чем у человека расстояние между ногами, оказалась под большим, чем люди, напряжением и была смертельно поражена.

Короткое замыкание продолжалось всего 2 с, после чего на электростанции защитный автомат разорвал цепь. Шаговые напряжения пропали. Неожиданная гибель лошади, удары током привлекли внимание прохожих. На площади собралось много людей. Вскоре прибыл конный патруль милиции.

В это время дежурный на электростанции инженер, обнаружив отключение автомата, проверил прибором изоляцию. Она оказалась в норме, так как телега уже отъехала, и головка разъединителя уже не касалась колодца, и вновь образовался воздушный промежуток. Полагая, что

защитный автомат отключился ошибочно, инженер вновь включил автомат защиты. Но при подаче напряжения в воздушном зазоре возникла электрическая дуга, что опять привело к короткому замыканию.

На мостовой вновь появилось шаговое напряжение. Две секунды – время действия автомата, отключающего кабель от источника питания. Этого времени оказалось достаточно, чтобы две лошади милицейского патруля погибли, а люди, находившиеся на площади, получили удар током.

Вскоре чугунные колодцы были ликвидированы, а торцовые мостовые заменены асфальтовыми.

2.1. Явления при стекании тока в землю

Электрическим замыканием на землю называется случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки непосредственно с землей или с металлическими нетоковедущими частями, имеющими контакт с землей. Замыкание на землю может произойти при замыкании токоведущих частей на корпус или при пробое изоляции, при падении провода на землю. Стеkanie тока на землю сопровождается появлением потенциала на поверхности грунта вокруг электрода, который осуществляет связь с землей, что представляет собой опасность для жизни человека.

Рассмотрим стекание тока в землю через одиночный электрод полусферической формы и характер распределения потенциала на поверхности земли (рис. 1).

Ток на земле будет растекаться во все стороны по радиусам полушара. В объеме земли, где проходит ток, возникает «поле растекания тока», которое характеризуется наличием потенциала грунта в любой точке, то есть в пределах поля растекания тока потенциал земли отличен от нуля. Теоретически оно простирается бесконечно. Однако в реальных условиях уже на расстоянии 20м от заземлителя площадь полусферы, по которой растекается ток, становится столь большой, что сопротивление земли можно считать близким к нулю. Следовательно, и потенциал земли на расстоянии 20 м практически равен нулю.

Потенциал заземлителя определяется выражением

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R, \quad (1)$$

где R -сопротивление заземлителя растеканию тока, которое определяется как суммарное сопротивление самого электрода, переходного сопротивления

от электрода к грунту и сопротивления грунта от заземлителя до точки с нулевым потенциалом.

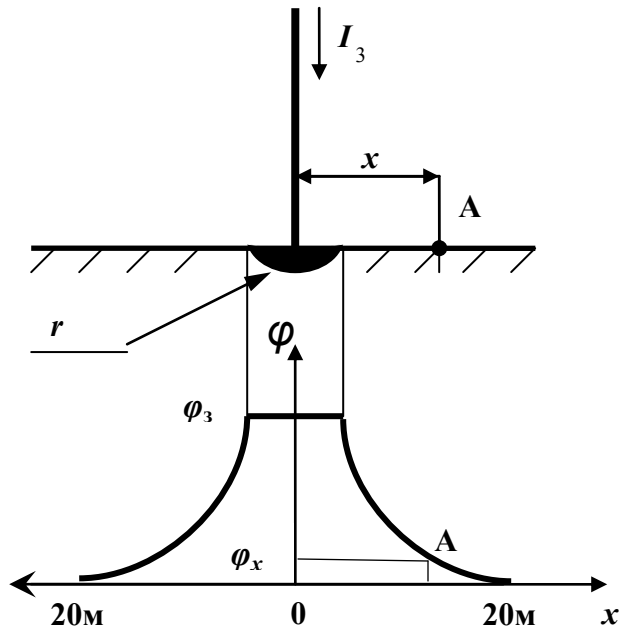


Рис. 1. Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полусферического заземлителя:

I_3 - ток, стекающий на землю,

r - радиус заземлителя,

φ_3 - потенциал заземлителя,

φ_x - потенциал в точке А, находящейся на расстоянии x от точки замыкания на земле.

Для полусферического заземлителя

$$R = \frac{\rho}{2\pi r}, \quad (2)$$

где ρ - удельное сопротивление, Ом·м.

Удельное сопротивление грунта - это сопротивление одного кубометра грунта с ребром в 1 метр.

Тогда формула (1) принимает вид

$$\varphi_3 = I_3 \frac{\rho}{2\pi r}. \quad (3)$$

Потенциал в грунте убывает по гиперболическому закону с увеличением расстояния от заземлителя за счет сопротивления грунта.

Потенциал в точке А, находящейся на расстоянии x от заземлителя, определяется

$$\varphi_x = I_z \frac{\rho}{2\pi x} . \quad (4)$$

2.2. Напряжение шага

Человек, находящийся в поле растекания тока заземлителя, оказывается под напряжением шага, если его ноги находятся в точках с разными потенциалами.

Поражение шаговым напряжением начинается с нижних конечностей человека. Так, человек может почувствовать, в зависимости от силы тока, легкое покалывание, спазмы, резкую боль. В особых случаях напряжение шага может вызвать паралич одной или обеих конечностей.

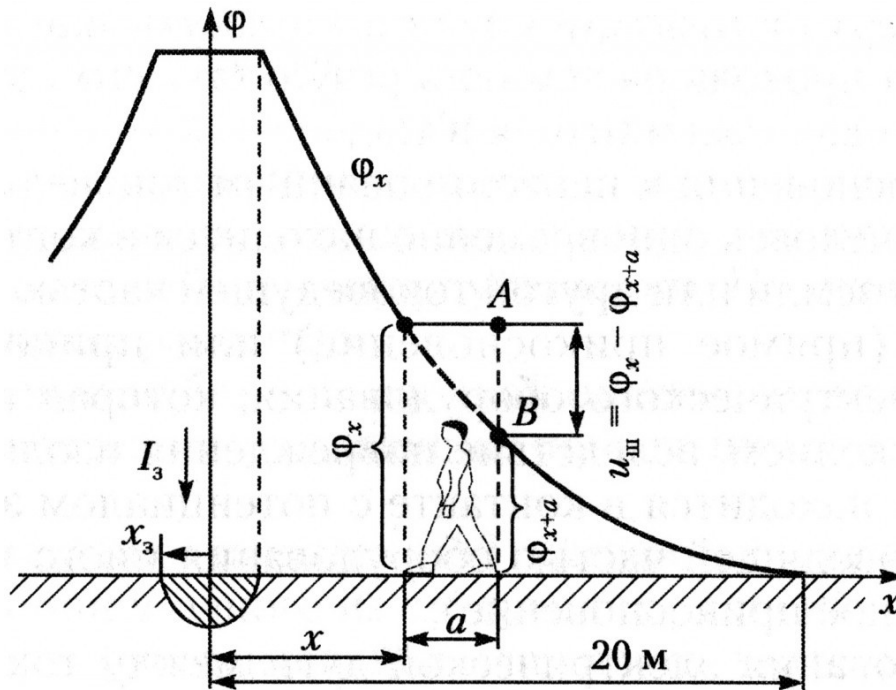


Рис. 2. Напряжение шага

Пусть человек находится на расстоянии « x » от заземлителя, а длина шага равна « a » (рис.2). Тогда напряжение шага определяется как разность потенциалов между правой и левой ногами, находящимися в точках с координатами (x) и ($x + a$).

$$U_{\text{ш}} = \varphi_x - \varphi_{x+a} . \quad (5)$$

Потенциал этих точек определяется как

$$\varphi_x = I_3 \frac{\rho}{2\pi x} , \quad (6)$$

$$\varphi_{x+a} = I_3 \frac{\rho}{2\pi(x+a)} . \quad (7)$$

Отсюда напряжение шага

$$U_{\text{ш}} = \frac{I_3 \rho a}{2\pi x(x+a)} . \quad (8)$$

При $x \rightarrow \infty$ (практически при $x > 20$ м) напряжение шага равно нулю, $U_{\text{ш}} = 0$.

Если ступни ног человека находятся рядом друг с другом ($a=0$), $\varphi_x = \varphi_{x+a}$, отсюда $U_{\text{ш}} = 0$.

В зависимости от напряжения сети и расстояния от заземлителя до человека шаговое напряжение может составлять от 10 до нескольких тысяч В. При этом безопасным для человека считается шаговоенапряжение – до 40 В.

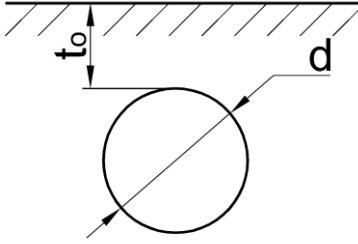
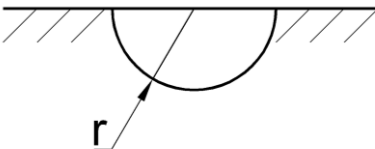
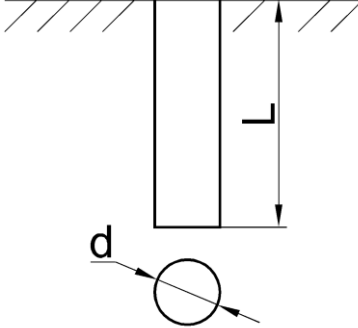
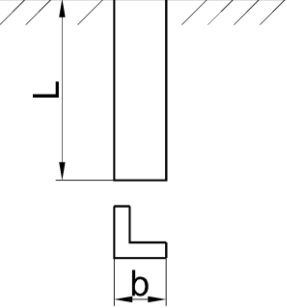
В радиус действия напряжения прикосновения могут попасть и животные. Особенно опасным попадание в зону напряжения шага может быть для крупных диких животных, рогатого скота, копытных. Так, сопротивление тела у таких животных ниже, чем у человека. Кроме того, крупные особи отличаются большой длиной шага. В соответствии с этим и напряжение, влияющее на них, будет большим, нежели влияющее на человека.

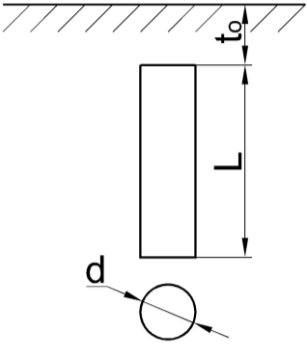
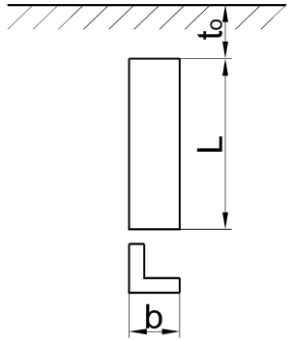
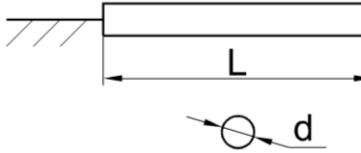
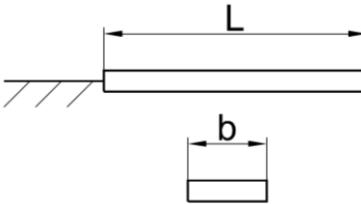
Полностью безопасное для животного считается напряжение переменного тока, не превышающее 2 В (при длительном воздействии). Смертельно опасным для животного, при длительном воздействии (более 3-4 с), считается напряжение, превышающее 16 В.

2.3. Расчетные формулы

В табл. 1 приведены формулы для расчета сопротивления растекания для различных видов заземлителей и потенциала в точке, находящейся на расстоянии « x » от заземлителя, схемы расположения заземлителя в грунте.

Таблица 1. Расчетные формулы и схема расположения заземлителя в грунте

	Расчетные формулы	Схема расположения заземлителя в грунте
1	2	3
1	<p>Шаровой в земле</p> $R = \frac{\rho}{2\pi d} \left(1 + \frac{d}{(4t_0 + 2d)} \right),$ $\varphi_x = \frac{I_3 * \rho}{2\pi \sqrt{x^2 + (t_0 + \frac{d}{2})^2}}$	
2	<p>Полушаровой у поверхности земли</p> $R = \frac{\rho}{\pi d},$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}$	
3	<p>Стержневой круглого сечения у поверхности земли</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d},$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \ln \frac{\sqrt{x^2 + L^2} + L}{x}$	
4	<p>Угловой у поверхности земли</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{0.95b},$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \ln \frac{\sqrt{x^2 + L^2} + L}{x}$	

1	2	3
5	<p>Стержневой круглого сечения в земле</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + 3L}{5t_0 + 1,5L} \right),$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{\sqrt{4x^2 + L^2} + L}{2x} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + 3L}{4t_0 + L} \right)$	
6	<p>Угловой в земле</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{0,95b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + 3L}{5t_0 + 1,5L} \right),$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{\sqrt{4x^2 + L^2} + L}{2x} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + 3L}{4t_0 + L} \right)$	
7	<p>Протяженный на поверхности земли (стержень)</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L^2}{d^2},$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \ln \frac{2x + 2L}{2x}$	
8	<p>Протяженный на поверхности земли (полоса)</p> $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L^2}{(0,95b)^2},$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \ln \frac{2x + 2L}{2x}$	

1	2	3
9	Протяженный в земле (стержень) $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{dt_0} ,$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{\sqrt{4x^2 + L^2} + L}{2x} + \ln \frac{\sqrt{16t_0^2 + L^2} + L}{4t_0} \right)$	
10	Протяженный в земле (полоса) $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0.95bt_0} ,$ $\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{\sqrt{4x^2 + L^2} + L}{2x} + \ln \frac{\sqrt{16t_0^2 + L^2} + L}{4t_0} \right)$	

В табл. 2 приведены примерные значения удельных сопротивлений грунтов.

Таблица 2. Значения удельных сопротивлений различных грунтов

Грунт	Удельное сопротивление ρ , Ом·м
Песок	500
Гравий	300
Супесь	300
Суглинок	100
Глина	70
Садовая земля	50
Чернозем	30
Торф	20

4. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Рассчитать напряжения шага для заданного варианта (табл.5) в зависимости от расстояния до заземлителя.

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- схему напряжения шага (рис. 2);
- исходные данные;
- схему расположения заземлителя в грунте;
- расчетные формулы;
- результаты расчетов представить в виде табл. 4;
- график: $U_{ш} = f(x)$.

5.ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3.Исходные данные

Ток $I_з, А$	Вид заземлителя (по табл.1)	Грунт	Диаметр, $d, м$	Ширина шага, $a, м$
5	полушаровый	супесь	0,6	0,8

Схема расположения электрода в грунте показаны на рис. 3.

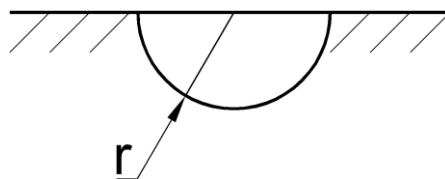


Рис. 3.Полушаровой электрод у поверхности земли

Удельное сопротивление супеси принимаем по табл. 2
 $\rho=300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Сопротивление полусферического заземлителя:

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} = \frac{300}{2\pi \cdot 0,3} = 59,24 \text{ Ом.}$$

Потенциал заземлителя :

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R = 5 \cdot 59,24 = 296,2 \text{ В.}$$

Для $x=0$

$$\varphi_x = \varphi_3 = 296,2 \text{ В,}$$

$$\varphi_{x+a} = \frac{I_3 \rho}{2\pi(x+a)} = \frac{5 \cdot 300}{2\pi(0+0,8)} = 298,6 \text{ В,}$$

$$U_{ш} = 296,2 - 298,6 = -2,4 \text{ В.}$$

Для $x = 1$

$$\varphi_x = \frac{5 \cdot 300}{2\pi} = 238,9 \text{ В,}$$

$$\varphi_{x+a} = \frac{5 \cdot 300}{2\pi(1+0,8)} = 132,7 \text{ В,}$$

$$U_{ш} = 238,9 - 132,7 = 106,2 \text{ В.}$$

Таблица 4. Зависимость напряжения шага от расстояния до заземлителя

Расстояние от заземлителя x , м	0	1	2	3	5	7	10	15	20
φ_x , В	296,2	238,9	119,4	79,6	47,8	34,1	23,9	15,92	11,94
φ_{x+a} , В	298,6	132,7	85,3	62,9	41,2	30,6	22,1	15,12	11,48
Напряжение шага $U_{ш}$, В	-2,4	106,2	34,1	16,8	6,6	3,5	1,8	0,81	0,46

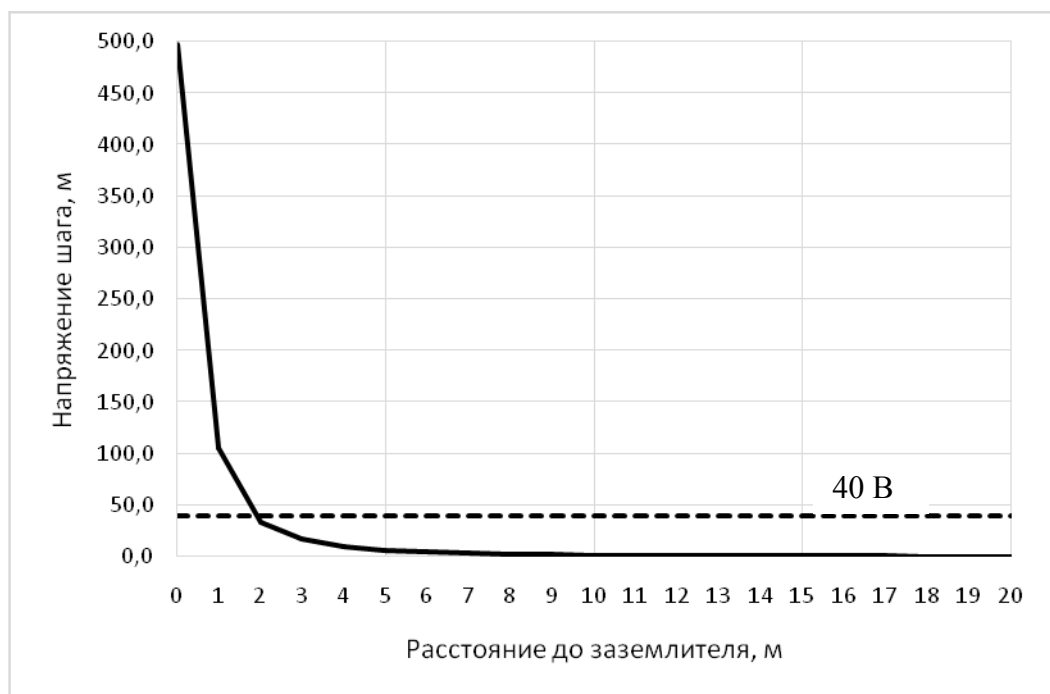


Рис.4.Зависимость напряжения шага от расстояния до заземлителя

Вывод:

Напряжение шага уменьшается до безопасной величины(40 В) на расстоянии 2м от заземлителя.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана труда в электроустановках /Под ред. Б. А. Князевского. М.:Энергоатомиздат, 1983. 336с.
2. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. Л.:Энергоатомиздат, 1985, 384 с.
3. Правила устройства электроустановок. ПУЭ. Новосибирск: Норматика, 2018, 462 с.
4. Охрана труда /Под ред. Б. А. Князевского. М.:Высш.шк., 1982, 311 с.
5. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов/П.А. Долин. -М.: Энергоатомиздат, 1984. - 448 с.
6. Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов / П.А.Долин[и др.]; под ред. В.Т.Медведева.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280с.

Таблица 5 - Варианты заданий

№	Ток <i>I</i> _з , А	Вид заземлителя по табл.1	Грунт	Длина, <i>L</i> , м	Диаметр, <i>d</i> , м	Ширина, <i>b</i> , м	Заглубление <i>t</i> ₀ , м	Ширина шага, <i>a</i> , м
1	3	1	Песок	-	0,4	-	0,6	0,6
2	4	2	Гравий	-	0,3	-	-	0,7
3	5	3	Супесь	3	0,02	-	-	0,8
4	6	4	Суглинок	4	-	0,004	-	0,9
5	7	5	Глина	5	0,03	-	0,7	1,0
6	8	6	Садовая земля	6	-	0,006	0,8	0,6
7	9	7	Чернозем	7	0,024	-	-	0,7
8	10	8	Торф	8	-	0,008	-	0,8
9	2	9	Песок	9	0,08	-	0,75	0,9
10	1	10	Гравий	9	-	0,010	0,65	1,0
11	3	1	Супесь	-	0,5	-	0,7	0,6
12	4	2	Суглинок	-	0,4	-	-	0,7
13	5	3	Глина	4	0,012	-	-	0,8
14	6	4	Садовая земля	6	-	0,006	-	0,9
15	4	5	Чернозем	5	0,016	-	0,8	1,0
16	5	6	Торф	8	-	0,008	0,9	0,6
17	6	7	Песок	7	0,018	-	-	0,7
18	7	8	Гравий	6	-	0,012	-	0,8
19	8	9	Супесь	5	0,020	-	0,6	0,9
20	9	10	Суглинок	4	-	0,014	0,7	1,0
21	10	1	Глина	-	0,6	-	0,8	0,6
22	3	2	Садовая земля	-	0,5	-	-	0,7
23	4	3	Чернозем	8	0,012	-	-	0,8
24	5	4	Торф	7	-	0,016	-	0,9
25	6	5	Песок	6	0,016	-	0,5	1,0
26	7	6	Гравий	5	-	0,012	0,6	0,6
27	4	7	Супесь	4	0,018	-	-	0,7
28	5	8	Суглинок	3	-	0,010	-	0,8
29	6	9	Глина	4	0,022	-	0,8	0,9
30	7	10	Садовая земля	5	-	0,008	0,9	1,0