

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ОХРАНЫ ТРУДА И АЭРОЛОГИИ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для проведения самостоятельных занятий по дисциплине базовой части
учебного плана по выбору вуза
"Охрана труда в отрасли"

для обучающихся уровня профессионального образования "магистр" по
направлениям подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех
форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
охраны труда и аэрологии
Протокол № 1 от 27 августа 2020 г

УТВЕРЖДЕНО
на заседании Учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № 8 от 15 декабря 2020 г.

Донецк
2020

УДК 331.45:621.31(076)
ББК 65.247:31.2я73
М54

Рецензенты:

Коломиец Валерий Сергеевич – кандидат технических наук, профессор кафедры энергомеханических систем ГОУВПО «ДОННТУ»;
Москвина Ирина Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ».

Составитель:

Овсянников Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ».

М54 Методические рекомендации для проведения самостоятельных занятий по дисциплине базовой части учебного плана по выбору вуза "Охрана труда в отрасли" [Электронный ресурс]: для обучающихся уровня профессионального образования "магистр" по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. охраны труда и аэрологии; сост. В.П. Овсянников. – Электрон. дан. (1 файл: 2 064 445 б). – Донецк: ДОННТУ, 2020. – Систем. требования: ZIP-архиватор.

Методические рекомендации для проведения самостоятельных занятий обучающихся разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Охрана труда в отрасли». Содержит задания и задачи для решения практических задач по курсу. Цель дисциплины – получение теоретических знаний и практических навыков по принятию действий направленных на решение вопросов охраны труда на предприятии, выполнение комплексных мер по оценке деятельности предприятия и осуществлению мероприятий по повышению безопасности хозяйственной деятельности на уровне предприятий.

УДК 331.45:621.31(076)
ББК 65.247:31.2я73

Содержание

Объект, цель и задачи освоения дисциплины.	4
Темы индивидуальных заданий (контрольных работ). Задачи.....	4
Содержание темы 1: Расчёт тока, проходящего через тело человека при однополюсном и двухполюсном прикосновении.....	4
Содержание темы 2: Расчёт эквивалентного удельного сопротивления земли	7
Содержание темы 3: Расчёт сопротивления заземлителя в двухслойном грунте.....	9
Содержание темы 4: Расчёт удельного сопротивления многослойного грунта.....	10
Содержание темы 5: Расчёт заземляющего устройства в однослойном грунте.....	14
Содержание темы 6: Расчёт контурного заземляющего устройства.....	17
Содержание темы 7: Расчёт зануления автономной электрической сети.....	19
Содержание темы 8: Расчёт напряжение, которое образуется на корпусе нагрузки при случайном обрыве нулевого проводника.....	22
Содержание темы 9: Расчёт УЗО, реагирующего на потенциал корпуса.....	24
Содержание темы 10: Расчёт тока, проходящий через тело человека, находящегося в электрическом поле	25
Содержание темы 11: Расчёт напряжения прикосновения.....	26
Содержание темы 12: Расчёт напряжения шага.....	30
Вопросы по для самопроверки.....	32
Самостоятельная работа.....	33
Контрольные задания.....	35
Литература.....	36
Приложения	36
Значения сопротивлений растеканию тока полов, выполненных из различных материалов.....	36
Влияние значения тока на исход поражения электрическим током	37
Значения сопротивлений обуви.....	39
Формулы для вычисления сопротивления наиболее распространенных одиночных заземлителей растеканию тока.....	40
Коэффициенты сезонности ψ для слоя сезонных изменений в многослойной земле.....	42
Минимальные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников, мм.....	43
Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя.....	43
Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя.....	44
Технические характеристики некоторых автоматических размыкателей.....	45
Длительно допустимый ток для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25°C и земли 15°C.....	46
Длительно допустимый ток для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с медными жилами при окружающей температуре воздуха 25°C и земли 15°C.....	47
Приближенные значения полных сопротивлений обмоток масляных трансформаторов с низшим напряжением 400/230 В.....	48
Значения коэффициентов α_1 и β_1 для некоторых видов заземлителей.....	48

Объект, цель и задачи освоения дисциплины.

Курс «Охрана труда в отрасли» является специальным курсом и технической дисциплиной, предназначенной для студентов специальности 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника дневной и заочной форм обучения Донецкого национального технического университета (ДОННТУ).

Задачи составлены в соответствии с требованиями учебного плана кафедры «Охраны труда и аэрологии» ДОННТУ. При выборе задач использованы литературные источники, законодательная нормативно-техническая документация по профилю знаний.

Темы индивидуальных заданий (контрольных работ). Задачи

Содержание темы 1 Расчёт тока, проходящего через тело человека при однополюсном и двухполюсном прикосновении

Рассчитать ток, проходящий через тело человека при однополюсном и двухполюсном прикосновении к трёхфазной сети переменного тока частотой 50 Гц. Рассмотреть случаи сети с заземлённой (380/220 В) и изолированной (380 В) нейтралью. Сопротивление изоляции проводов $R_{из} = 300$ кОм. Ёмкость сети незначительна ($C \approx 0$). Помещение влажное, человек находится на влажном бетонном полу. Его сопротивление $R_{чел} = 1,5$ кОм. Сопротивление заземления нейтрали $R_0 = 4$ Ом.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ Рассмотрим трёхфазную сеть с глухозаземленной нейтралью. При однополюсном прикосновении возможны два варианта: человек прикасается к нулевому проводу и человек прикасается к фазному проводу (однофазное прикосновение). Рассмотрим первый вариант (рисунок 01.1, а)

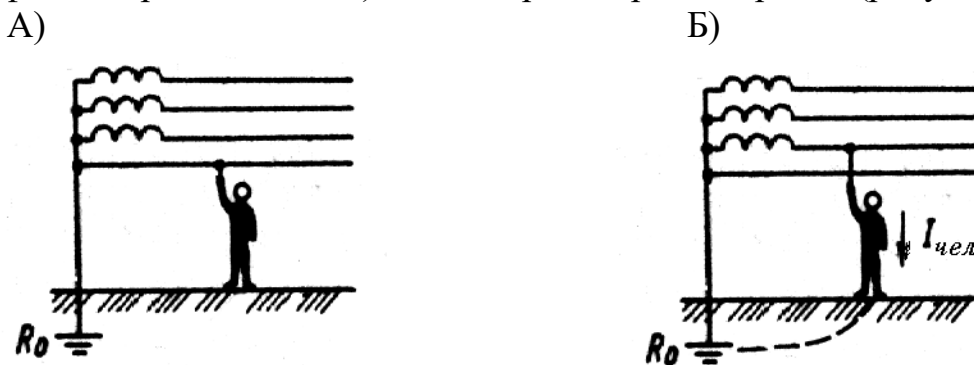


Рисунок 1.1 Однополюсное прикосновение к сети с глухозаземлённой нейтралью

Как видно из схемы, ток через тело человека не проходит ($I_{чел} = 0$) и такое прикосновение не опасно для человека. Теперь рассмотрим второй вариант

(рисунок 1 01, б). В этом случае ток через тело человека определяется по формуле:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_{\text{пола}} + R_{\text{обуви}} + R_{\text{чел}}} , \quad (1.1)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение (в нашем случае 220 В);

R_0 – сопротивление заземления нейтрали;

$R_{\text{пола}}$ – сопротивление пола,

$R_{\text{обуви}}$ – сопротивление обуви.

Для мокрого бетонного пола согласно приложению 1 сопротивление принимаем равным:

$$R_{\text{пола}} = 0,1 \text{ кОм} ;$$

Для кожаной подошвы во влажном помещении согласно приложению 2 сопротивление принимаем равным: $R_{\text{обуви}} = 0,5 \text{ кОм} .$

$$\text{Посчитаем значение тока: } I_{\text{чел}} = \frac{220}{4 + 0,1 \cdot 10^3 + 0,5 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot 10^3} = 0,105 \text{ А}$$

Такое значение тока (105 мА) частотой 50 Гц вызывает фибрилляцию сердца, что является смертельным для человека (согласно приложения 3).

Теперь рассмотрим двухполюсное прикосновение. При двухполюсном прикосновении также возможны два варианта: человек прикасается к нулевому проводу и к фазному проводу (рисунок 01.2, а) и человек прикасается к двум фазным проводам (двухфазное прикосновение, рисунок 01.2, б).

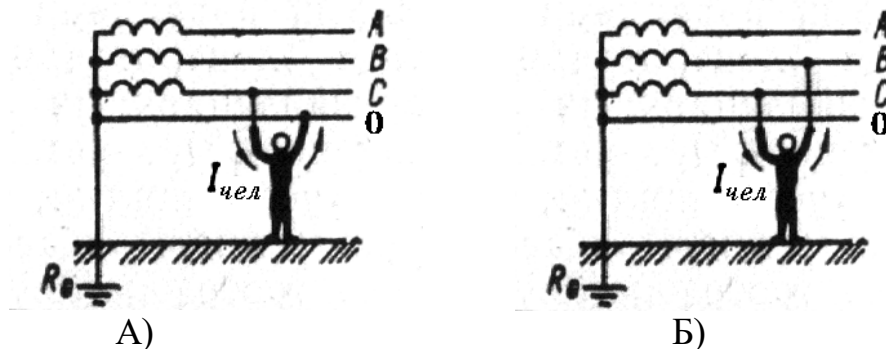


Рисунок 1.2 Двухполюсное прикосновение к сети с глухозаземлённой нейтралью

Рассмотрим первый вариант. В этом случае ток через тело человека находится по формуле:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{чел}}} = \frac{220}{1,5 \cdot 10^3} = 0,146 \text{ А} \quad (1.2)$$

Такое значение тока частотой 50 Гц тоже является смертельным для человека.

Рассмотрим теперь второй вариант (рисунок 1.2, б). В этом случае ток через тело человека находится по формуле:

$$I_{чел} = \frac{U_{лин}}{R_{чел}}, \quad (1.3)$$

где $U_{лин}$ – линейное напряжение (в нашем случае 380 В);

Посчитаем значение тока:

$$I_{чел} = \frac{380}{1,5 \cdot 10^3} = 0,253 \text{ А}$$

Такое значение тока частотой 50 Гц также является смертельным для человека.

Теперь рассмотрим трёхфазную сеть с изолированной нейтралью. При однополюсном (однофазном) прикосновении значение тока, проходящего через тело человека зависит от сопротивления изоляции $R_{из}$ и емкости фаз относительно земли C . Если емкость сети незначительна ($C \approx 0$), то формула для вычисления тока, проходящего через тело человека имеет следующий вид:

$$I_{чел} = \frac{3 \cdot U_{лин}}{3 \cdot (R_{пола} + R_{обуви} + R_{чел}) + R_{из}}, \quad (1.4)$$

где $R_{из}$ – сопротивление изоляции проводов (в нашем случае $R_{из} = 300 \text{ кОм}$)

Посчитаем значение тока:

$$I_{чел} = \frac{3 \cdot 380}{3 \cdot (0,1 \cdot 10^3 + 0,5 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot 10^3) + 300 \cdot 10^3} = 0,0037 \text{ А}.$$

Такое значение тока (3,7 мА) частотой 50 Гц является ощутимым для человека, но не опасным (согласно приложения 0).

А)

Б)

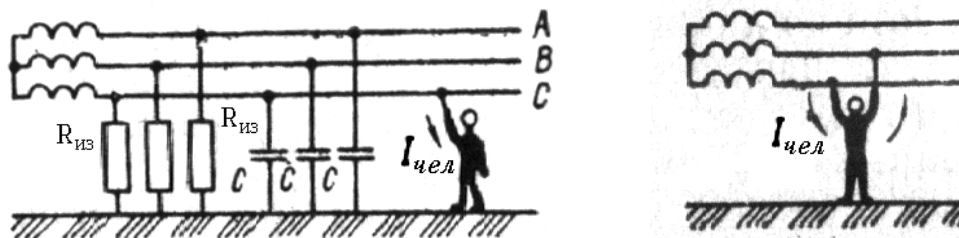


Рисунок 1.3 Однополюсное (А) и двухполюсное (Б) прикосновение к сети с изолированной нейтралью

При двухполюсном (двухфазном) прикосновении значение тока, проходящего через тело человека находится по формуле:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{лин}}}{R_{\text{чел}}}, \quad (1.5)$$

Находим значение тока:

$$I_{\text{чел}} = \frac{380}{1,5 \cdot 10^3} = 0,253 \text{ А}$$

Такое значение тока частотой 50 Гц является смертельным для человека

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_{\text{из}}$	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
$R_{\text{чел}}$	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
R_0	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5

Содержание темы 2 Расчёт эквивалентного удельного сопротивления земли

В двухслойной земле с удельным сопротивлением верхнего и нижнего слоев $\rho_1 = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и $\rho_2 = 40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ соответственно и мощностью (толщиной) верхнего слоя $h_1 = 3 \text{ м}$ размещены электроды – два вертикальных стержневых и один пластинчатый, показанные на рисунке 2.1. Размеры вертикального стержневого электрода у поверхности земли (рис.2.1, а) $l = 5 \text{ м}$, $\Delta l_1 = 3 \text{ м}$, $\Delta l_2 = 2 \text{ м}$; вертикального стержневого электрода в земле (рис.2.1, б) $l = 10 \text{ м}$, $\Delta l_1 = 2,5 \text{ м}$, $\Delta l_2 = 7,5 \text{ м}$; для пластинчатого электрода (рис. 0.1, в) $a = 2,5 \text{ м}$, $\Delta a_1 = 2 \text{ м}$, $\Delta a_2 = 0,5 \text{ м}$; $b = 3 \text{ м}$. Определить эквивалентные удельные сопротивления земли для этих электродов.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ Учёт неоднородности земли, т. е. наличия в ней горизонтальных слоев с разными удельными сопротивлениями, значительно повышает точность расчета заземлителей и, следовательно, удешевляет их сооружение. С другой стороны, учёт слоистости земли весьма усложняет сам расчёт, а также экспериментальное определение удельного сопротивления слоёв грунта.

Однако в последние годы все шире начинает внедряться в практику метод расчёта заземлителей, при котором условно принимается, что земля имеет два слоя – верхний и нижний, обладающих каждый своим удельным сопротивлением ρ_1 и ρ_2 . При этом толщина (или, как принято говорить, мощность) верхнего слоя h_1 может быть равной или больше мощности слоя сезонных измене-

ний h_c . Следовательно, верхний слой (весь или частично) подвержен непосредственному воздействию погодных условий и его удельное сопротивление имеет значительные сезонные колебания, которые подлежат учёту при расчетах заземлителей.

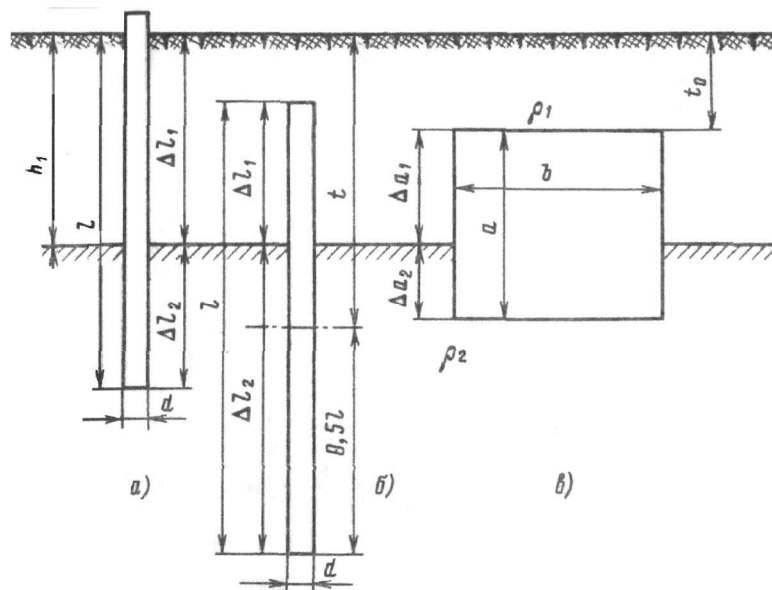


Рис.2.1 Одиночные заземлители, размещенные в двухслойной земле:

а – вертикальный стержневой у поверхности земли,

б – вертикальный стержневой в земле,

в – пластинчатый в земле

Эквивалентным удельным сопротивлением многослойной земли называется такое удельное сопротивление однородной земли, при котором сопротивление растеканию данного электрода имеет то же значение, что и в реальном многослойном грунте. Эквивалентное удельное сопротивление двухслойной земли для одиночных заземлителей может быть вычислено лишь в некоторых частных случаях, в том числе для вертикального стержневого электрода, а также для пластинчатого, поставленного на ребро, размещенных в обоих слоях земли. Приближенные значения ρ_3 , Ом·м, для этих электродов определяются из следующего выражения:

$$\rho_3 \approx \frac{l}{\frac{\Delta l_1}{\rho_1} + \frac{\Delta l_2}{\rho_2}} \quad (2.1)$$

где l – длина (высота) электрода, м; l_1 и l_2 – длина частей электрода, находящихся в верхнем и нижнем слоях земли соответственно, м.

Подставляя данные в формулу 2.1, получаем искомые эквивалентные удельные сопротивления для электродов:

вертикального у поверхности земли: $\rho_3 \approx \frac{5}{\frac{3}{200} + \frac{2}{40}} = 77 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

$$\text{вертикального в земле: } \rho_{\text{э}} \approx \frac{10}{\frac{2,5}{200} + \frac{7,5}{40}} = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

$$\text{пластинчатого в земле: } \rho_{\text{э}} \approx \frac{2,5}{\frac{2}{200} + \frac{0,5}{40}} = 111 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
а										
l =	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
Δl_1	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Δl_2	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
б										
l =	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5
Δl_1	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
Δl_2	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
в										
a	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Δa_1	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
Δa_2	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
b =	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
ρ_1	100	115	130	145	160	175	190	205	220	235
ρ_2	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
h_1	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
t_0	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25

Содержание темы 3: Расчёт сопротивления заземлителя в двухслойном грунте

Определить сопротивление $R_{\text{п}}$ пластинчатого электрода, поставленного на ребро и размещенного в обоих слоях двухслойной земли (рис.2.1, в). Размеры пластинчатого электрода $a = 2,5$ м, $b = 3$ м. Глубина залегания $t_0 = 1,5$ м, $\Delta a_1 = 2$ м, $\Delta a_2 = 0,5$ м. Эквивалентное удельное сопротивление $\rho_{\text{э}} = 110$ Ом·м (см. задачу 2).

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ. Сопротивление одиночного заземлителя растеканию тока в двухслойной земле вычисляется по соответствующей формуле из приложения 4, в которой ρ необходимо заменить на $\rho_{\text{э}}$.

Искомое сопротивление определяем по следующей формуле:

$$R_n = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot a}{b} + \frac{a}{t_0} \right) = \frac{111}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot 2,5}{3} + \frac{2,5}{1,5} \right) = 20,3 \text{ Ом}$$

Содержание темы 4 Расчёт удельного сопротивления многослойного грунта

Определить расчетные удельные сопротивления многослойной земли $\rho_{1\text{расч}}$ и $\rho_{2\text{расч}}$, приведя её к двухслойной. Участок находится в III климатической зоне. При сооружении заземлителя предполагается использовать вертикальные стержневые электроды длиной 5 м с заглублением в землю верхних концов на 0,8 – 0,9 м. Измерения сопротивлений земли проводились методом послойного зондирования с использованием зонда диаметром $d = 12$ мм. Во время измерений земля была сухая, количество осадков – ниже нормы.

В итоге измерений $R_{п\text{ изм}}$ получены следующие данные:

Порядковый номер измерения	n	1	2	3	4	5	6
Толщина ступени (слоя), т.е глубина очередного погружения, м	h_n	0,8	1	1	1	1	1,2
Глубина погружения зонда (длина части зонда, находящейся в земле), м	l_n	0,8	1,8	2,8	3,8	4,8	6,0
Измеренное сопротивление растеканию тока, Ом	$R_{п\text{ изм}}$	230	100	60	40	30	20

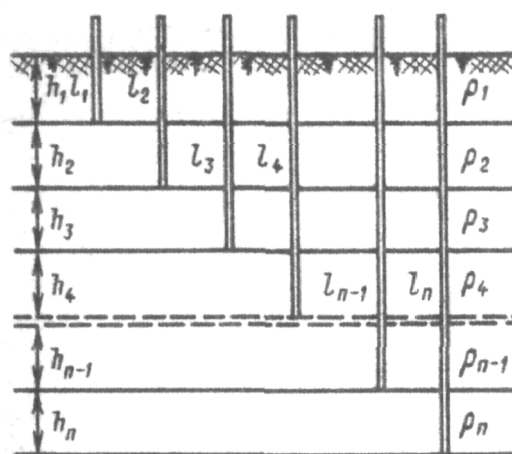


Рис.4.1 Схема размещения контрольного зонда в земле для измерения её удельного сопротивления методом послойного зондирования:

l_n – глубина погружения зонда, h_n — толщина (мощность) слоя земли
 ρ_n – удельное сопротивление данного слоя земли,

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ Земля, как известно, не является однородной, а имеет слоистое строение, хотя в большинстве случаев явно выраженных границ между слоями нет. Слои земли ρ_i положены практически горизонтально и представляют собой грунты различного рода, поэтому: удельные сопротивления различных слоёв земли могут значительно различаться. Кроме того, значение ρ верхних слоёв земли колеблется течение года, причем в значительных пределах, в связи с изменением погодных условий. Эти изменения принято

называть сезонными, а толщину слоя земли, подверженного сезонным изменениям, – слоем сезонных изменений и обозначать h_c .

Для наших условий находим величину h_c по приложению 0:

$$h_c = 1,8 \text{ м}$$

По приложению 4 находим сопротивление растеканию тока зонда, как одиночного вертикального электрода:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} \quad (4.1)$$

Находим из этой формулы ρ :

$$\rho = \frac{2 \cdot R \cdot \pi \cdot l}{\ln \frac{4 \cdot l}{d}} \quad (4.2)$$

Для каждого измеренного значения $R_{н_изм}$ вычисляем измеренное удельное сопротивление земли, соответствующее данной глубине погружения зонда:

$$\rho_{1\text{ изм}} = \frac{2 \cdot R_{1\text{ изм}} \cdot \pi \cdot l_1}{\ln \frac{4 \cdot l_1}{d}} = \frac{2 \cdot 230 \cdot 3,14 \cdot 0,8}{\ln \frac{4 \cdot 0,8}{0,012}} = 215 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{2\text{ изм}} = \frac{2 \cdot R_{2\text{ изм}} \cdot \pi \cdot l_2}{\ln \frac{4 \cdot l_2}{d}} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 3,14 \cdot 1,8}{\ln \frac{4 \cdot 1,8}{0,012}} = 177 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{3\text{ изм}} = \frac{2 \cdot R_{3\text{ изм}} \cdot \pi \cdot l_3}{\ln \frac{4 \cdot l_3}{d}} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 3,14 \cdot 2,8}{\ln \frac{4 \cdot 2,8}{0,012}} = 155 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{4\text{ изм}} = \frac{2 \cdot R_{4\text{ изм}} \cdot \pi \cdot l_4}{\ln \frac{4 \cdot l_4}{d}} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 3,14 \cdot 3,8}{\ln \frac{4 \cdot 3,8}{0,012}} = 133 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{5\text{ изм}} = \frac{2 \cdot R_{5\text{ изм}} \cdot \pi \cdot l_5}{\ln \frac{4 \cdot l_5}{d}} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 3,14 \cdot 4,8}{\ln \frac{4 \cdot 4,8}{0,012}} = 122 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{6\text{ изм}} = \frac{2 \cdot R_{6\text{ изм}} \cdot \pi \cdot l_6}{\ln \frac{4 \cdot l_6}{d}} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 3,14 \cdot 6}{\ln \frac{4 \cdot 6}{0,012}} = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

После этого вычисляем измеренные удельные сопротивления каждой ступени (слоя) земли, Ом·м, по выражению:

$$\rho_{n \text{ h изм}} = \frac{h_n}{\frac{l_n}{\rho_{n \text{ изм}}} - \frac{l_{n-1}}{\rho_{n-1 \text{ изм}}}} \quad (4.3)$$

Для 1 слоя $\rho_{1 \text{ h изм}} = \rho_{1 \text{ изм}}$ для остальных слоёв используем формулу 4.3:

$$\rho_{2 \text{ h изм}} = \frac{h_2}{\frac{l_2}{\rho_{2 \text{ изм}}} - \frac{l_1}{\rho_{1 \text{ изм}}}} = \frac{1}{\frac{1,8}{177} - \frac{0,8}{215}} = 155 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{3 \text{ h изм}} = \frac{h_3}{\frac{l_3}{\rho_{3 \text{ изм}}} - \frac{l_2}{\rho_{2 \text{ изм}}}} = \frac{1}{\frac{2,8}{155} - \frac{1,8}{177}} = 193 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{4 \text{ h изм}} = \frac{h_4}{\frac{l_4}{\rho_{4 \text{ изм}}} - \frac{l_3}{\rho_{3 \text{ изм}}}} = \frac{1}{\frac{3,8}{133} - \frac{2,8}{155}} = 95 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{5 \text{ h изм}} = \frac{h_5}{\frac{l_5}{\rho_{5 \text{ изм}}} - \frac{l_4}{\rho_{4 \text{ изм}}}} = \frac{1}{\frac{4,8}{122} - \frac{3,8}{133}} = 93 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{6 \text{ h изм}} = \frac{h_6}{\frac{l_6}{\rho_{6 \text{ изм}}} - \frac{l_5}{\rho_{5 \text{ изм}}}} = \frac{1}{\frac{6}{110} - \frac{4,8}{122}} = 65 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

По приложению 5 находим коэффициент сезонности:

$$\psi = 1,5$$

Сравнивая h_n и h_c видим, что лишь первые две ступени (слоя) оказываются в пределах h_c , и поэтому их $\rho_{n \text{ h изм}}$ умножаем на коэффициент сезонности и получаем расчётное значение ρ :

$$\rho_{1 \text{ h расч}} = \rho_{1 \text{ h изм}} \cdot \psi = 215 \cdot 1,5 = 322 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{2 \text{ h расч}} = \rho_{2 \text{ h изм}} \cdot \psi = 155 \cdot 1,5 = 232 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Все остальные ступени (слои) земли, лежащие ниже слоя сезонных изменений, как менее подверженные воздействию погодных условий имеют

обычно незначительные сезонные колебания удельного сопротивления, и поэтому считается, что удельные сопротивления этих слоёв в течение года неизменны, а их расчётные ρ оказываются равными измеренным:

$$\rho_{3_h_расч} = \rho_{3_h_изм} = 193 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{4_h_расч} = \rho_{4_h_изм} = 95 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{5_h_расч} = \rho_{5_h_изм} = 93 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{6_h_расч} = \rho_{6_h_изм} = 65 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Очевидно, что в данном случае первые три ступени (слоя), имеющие значительно большие ρ , следует отнести к верхнему слою двухслойной земли, а другие три – к нижнему.

Искомые расчётные удельные сопротивления верхнего и нижнего слоёв двухслойной земли вычисляются по формулам:

$$\rho_{1расч} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{\frac{h_1}{\rho_{1_h_расч}} + \frac{h_2}{\rho_{2_h_расч}} + \frac{h_3}{\rho_{3_h_расч}}} = \frac{0,8 + 1 + 1}{\frac{0,8}{322} + \frac{1}{232} + \frac{1}{193}} \approx 230 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.4)$$

$$\rho_{2расч} = \frac{h_4 + h_5 + h_6}{\frac{h_4}{\rho_{4_h_расч}} + \frac{h_5}{\rho_{5_h_расч}} + \frac{h_6}{\rho_{6_h_расч}}} = \frac{1 + 1 + 1,2}{\frac{1}{95} + \frac{1}{93} + \frac{1,2}{65}} \approx 80 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.5)$$

Номер варианта		1						2						3						4						5					
Порядковый номер измерения	n	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Толщина ступени (слоя), т.е. глубина очередного погружения, м	h _n	0,8	1	1	1	1	1,2	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4
Глубина погружения зонда	l _n	0,8	1,8	2,8	3,8	4,8	6	0,9	1,9	2,9	3,9	4,9	6,1	0,9	1,9	2,9	3,9	4,9	6,1	1	2	3	4	5	6,2	1	2	3	4	5	6,2
Измеренное сопротивление растеканию тока, Ом	R _n изм	230	100	60	40	30	20	230	100	60	40	30	20	230	100	60	40	30	20	230	100	60	40	30	20	230	100	60	40	30	20
Номер варианта		6						7						8						9						10					
Порядковый номер измерения	n	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Толщина ступени (слоя), т.е. глубина очередного погружения, м	h _n	1	1	1	1	1	1,2	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4
Глубина погружения зонда	l _n	0,9	1,9	2,8	3,8	4,8	6	1	1,9	2,9	3,9	4,9	6,1	1	2	2,9	3,9	4,9	6,1	1,1	2	3	4	5	6,2	1,1	2,1	3	4	5	6,2
Измеренное сопротивление растеканию тока, Ом	R _n изм	235	105	65	43	31	22	236	106	66	44	32	23	237	107	67	45	33	24	238	108	68	46	34	25	239	109	69	47	35	26

Содержание темы 5 Расчёт заземляющего устройства в однослойном грунте

Рассчитать защитное заземление в однослойном грунте. Сопротивление естественного заземлителя составляет $R_e = 10$ Ом, допустимое сопротивление заземлителя $R_d = 4$ Ом, удельное сопротивление грунта $\rho = 87$ Ом·м. Коэффициент сезонности $\psi = 1,3$. Глубина залегания электрода $h = 0,5$ м.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ. Контур заземления выполняют из стальных стержней, уголков, некondиционных труб и др. В траншее глубиной до 0,7 м вертикально забиваются стержни (трубы, уголки и др.), а выступающие из земли верхние концы соединяются сваркой внахлест стальной полосой или прутком.

При этом необходимо соблюдать следующие условия (приложение 6):

Сечение соединительной полосы должно быть не менее 48 мм², толщина – не менее 4 мм;

Минимальный диаметр прутка - 10 мм;

Длина стержня должна быть не менее 1,5...2 м, чтобы достичь незамерзающего слоя почвы.

Поэтому в качестве вертикальных электродов принимаем прутки диаметром $d = 0,02$ м и длиной $l = 3,5$ м.

Находим допустимое сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_u = \frac{R_e \cdot R_\partial}{R_e - R_\partial} = \frac{10 \cdot 4}{10 - 4} = 6,67 \text{ Ом}$$

Находим расстояние от поверхности земли до середины вертикального электрода:

$$t = h + \frac{l_\epsilon}{2} = 0,5 + 1,75 = 2,25 \text{ м}$$

Принимаем расстояние между вертикальными электродами $a = 3,5 \text{ м}$

Находим сопротивление одиночного вертикального заземлителя по приложению 4:

$$R_\epsilon = \frac{\rho \cdot \psi}{2 \cdot \pi \cdot l_\epsilon} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_\epsilon}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l_\epsilon}{4 \cdot t - l_\epsilon} \right)$$

$$R_\epsilon = \frac{87 \cdot 1,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3,5}{0,02} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,25 + 3,5}{4 \cdot 2,25 - 3,5} \right) = 31 \text{ Ом}$$

Находим ориентировочное число вертикальных заземлителей:

$$n_{\text{ориент}} = \frac{R}{R_\epsilon} = \frac{31}{6,67} = 4,6 \text{ шт}$$

Находим по приложению **Ошибка! Источник ссылки не найден.** ориентировочный коэффициент использования вертикальных электродов:

$$\eta_\epsilon^{\text{ориент}} = 0,7$$

Находим число вертикальных заземлителей

$$n = \frac{R_\epsilon}{R_u \cdot \eta_\epsilon} = \frac{31}{6,67 \cdot 0,7} = 6,63$$

Округляем число электродов до 7 и находим коэффициент использования вертикальных электродов

$$\eta_\epsilon = 0,73$$

Находим длину горизонтального электрода. При расположении электродов в ряд длина горизонтального электрода:

$$l_z = a \cdot (n - 1) = 3,5 \cdot (7 - 1) = 21 \text{ м}$$

Принимаем толщину горизонтального электрода $b = 0,005 \text{ м}$.

Находим сопротивление горизонтального электрода:

$$R_z = \frac{\rho \cdot \psi}{2 \cdot \pi \cdot l_z} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot h}$$

$$R_z = \frac{87 \cdot 1,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 21} \cdot \ln \frac{2 \cdot 21^2}{0,005 \cdot 0,5} = 11,0 \text{ Ом}$$

Находим по приложению 7 коэффициент использования горизонтального электрода:

$$\eta_r = 0,65$$

Находим сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_u = \frac{R_g \cdot R_z}{R_g \cdot \eta_z + n_g \cdot R_z \cdot \eta_g} = \frac{31 \cdot 11}{31 \cdot 0,73 + 7 \cdot 11 \cdot 0,65} = 4,69 \text{ Ом}$$

Находим общее сопротивление заземлителя:

$$R = \frac{R_e \cdot R_u}{R_e + R_u} = \frac{10 \cdot 4,69}{10 + 4,69} = 3,19 \text{ Ом}$$

Поскольку сопротивление заземлителя менее $R_d = 4 \text{ Ом}$ расчёт выполнен верно.

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_e	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ρ	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87
ψ	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
h	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65

Содержание темы 6 Расчёт контурного заземляющего устройства

Заземлению подлежит оборудование, работающее под напряжением 380/220 В. Грунт – чернозём, с удельным сопротивлением $\rho_{изм} = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Заземляющее устройство расположено вдоль периметра здания со сторонами $A = 10 \text{ м}$ и $B = 20 \text{ м}$. В качестве вертикальных электродов предполагается применять уголок с шириной полки $S = 40 \times 40 \text{ мм}$ и длиной 3 м . В качестве соединительной полосы — стальную шину сечением $a \times b = 40 \times 4 \text{ мм}$. Естественным заземлением является арматура железобетонных конструкций с сопротивлением растеканию тока $R_e = 8,5 \text{ Ом}$. Расстояние от поверхности грунта до стержня $h = 0,8 \text{ м}$.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ В соответствии с требованием ПУЭ в электроустановках напряжением до 1000 В сопротивлением заземляющего устройства $R_d = 4 \text{ Ом}$.

Определяем расчётное удельное сопротивление грунта

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \cdot \psi \quad (6.1)$$

где $\psi = 1,5$ – коэффициент сезонности для однородной земли

$$\rho_{расч} = 200 \cdot 1,5 = 300 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Определяем сопротивление искусственного заземления с учетом выполнения условия $R_d = 4 \text{ Ом}$:

$$R_u = \frac{R_e \cdot R_d}{R_e - R_d} = \frac{8,5 \cdot 4}{8,5 - 4} = 7,5 \text{ Ом} \quad (6.2)$$

Находим расстояние от поверхности земли до середины вертикального электрода:

$$t = h + \frac{l_e}{2} = 0,8 + 1,5 = 2,3 \text{ м} \quad (6.3)$$

Определяем сопротивление одиночного вертикального заземления по формуле (приложение 4):

$$R_e = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot l_e} \cdot \left(\ln \frac{2,1 \cdot l_e}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2 \cdot t + l_e}{4,2 \cdot t - l_e} \right) \quad (6.4)$$

$$R_e = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2,1 \cdot 3}{0,04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2 \cdot 2,3 + 3}{4,2 \cdot 2,3 - 3} \right) = 85,6 \text{ Ом}$$

Находим длину горизонтального электрода. При расположении электродов по периметру длина горизонтального электрода:

$$l_z = A + B + A + B = 10 + 20 + 10 + 20 = 60 \text{ м} \quad (6.5)$$

Определяем сопротивление соединительной полосы по следующей формуле (приложение 4):

$$R_z = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot l_z} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot h} \quad (6.6)$$

где l_z – длина соединительной полосы (шины);

$h = 0,8 \text{ м}$ – расстояние от поверхности грунта до центра стальной шины

$$R_z = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} \cdot \ln \frac{2 \cdot 60^2}{0,004 \cdot 0,8} = 11,6 \text{ Ом}$$

Ориентировочное число вертикальных заземлителей при контурном групповом заземлителе определяется по формуле:

$$n^{ориент} = \frac{2 \cdot R_{\theta}}{R_u} - \frac{R_{\theta}}{2 \cdot R_z} \quad (6.7)$$

Расстояние между вертикальными стержнями в контурном заземлителе вычисляются по формуле:

$$a = \frac{l_z}{n} \quad (6.8)$$

Из формул 6.7 и 6.8 мы можем найти формулу для вычисления ориентировочного расстояния между вертикальными заземлителями:

$$a^{ориент} = \frac{2 \cdot R_u \cdot R_z \cdot l_z}{4 \cdot R_{\theta} \cdot R_z - R_u \cdot R_{\theta}} = \frac{2 \cdot 7,5 \cdot 11,6 \cdot 60}{4 \cdot 85,6 \cdot 11,6 - 7,5 \cdot 85,6} = 3,1 \text{ м} \quad (6.9)$$

при этом отношение

$$\frac{a^{ориент}}{l_{\text{в}}} = \frac{3,1}{3} = 1,03$$

Для уменьшения явления экранирования и уменьшения шагового напряжения отношение ($a^{\text{ориент}}/l_B$) должно быть в пределах от 1 до 3. Примем ($a^{\text{ориент}}/l_B$) = 1. После этого разместим заземлители на плане контура заземления, определяем число вертикальных заземлителей.

По плану число вертикальных электродов $n = 20$ шт. Принимаем из приложений 7 и 8 коэффициенты использования вертикальных электродов и соединительной полосы $\eta_B = 0,47$ и $\eta_r = 0,27$

Находим сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_u = \frac{R_e \cdot R_z}{R_e \cdot \eta_z + n \cdot R_z \cdot \eta_e} = \frac{85,6 \cdot 11,6}{85,6 \cdot 0,27 + 20 \cdot 11,6 \cdot 0,47} = 7,51 \text{ Ом} \quad (6.10)$$

Находим общее сопротивление заземлителя:

$$R = \frac{R_e \cdot R_u}{R_e + R_u} = \frac{8,5 \cdot 7,51}{8,5 + 7,51} = 3,9 \text{ Ом} \quad (6.11)$$

Поскольку сопротивление заземлителя менее $R_d = 4$ Ом расчёт выполнен верно. Если же это условие не выполняется, то необходимо увеличит число заземлителей на плане и пересчитать две последние формулы

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\rho_{\text{изм}}$	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
A	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
B	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
R_e	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
h	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4

Содержание темы 7 Расчёт зануления автономной электрической сети

Рассчитать зануление автономной электрической сети напряжением 380/220 В, которая питает потребителей общей мощностью 21 кВт. Воздушная линия длиной 30 м, которая соединяет питающий трансформатор с общим электрическим щитом выполнена из алюминиевого провода. В помещении проложена кабельная линия из медного провода длиной 40 м. Мощность питающего трансформатора $P_{\text{тр}} = 160$ кВт (соединение обмоток треугольник – звезда).

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ Расчёт зануления складывается из трех частей: расчёт на отключающую способность, определение максимального напряжения на корпусе относительно земли при замыкании токоведущих частей на корпус и расчёт рабочего и повторного заземлений. Предварительно выбирается вид автоматической защиты электроустановки: - плавкие предохранители или автоматы, установленные для защиты от токов короткого замыкания, автоматы с

комбинированными расцепителями. Выбрать элемент автоматической защиты можно из приложения 9.

Определяем номинальный ток потребления:

$$I_{ном} = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{21 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 32,3 \text{ А} \quad (7.1)$$

С учётом запаса выбираем по приложению 9 автоматический выключатель типа АЗ114/1 с током срабатывания теплового размыкателя $I_3^{тепл} = 40 \text{ А}$ (защита от перегрузок) и с током срабатывания электромагнитного размыкателя $I_3^{эм} = 400 \text{ А}$ (токовая защита для зануления). Время его срабатывания не превышает 0,2 с.

Определяем ожидаемое значение тока короткого замыкания:

$$I_{кз}^{ожс} \geq K \cdot I_3^H = 1,1 \cdot 400 = 440 \text{ А}, \quad (7.2)$$

где K – коэффициент кратности тока; для автоматических выключателей $K = 1,1$.

По приложениям 10, 11 принимаем сечение алюминиевых проводов $S_b = 10 \text{ мм}^2$, медных проводов $S_b = 6 \text{ мм}^2$.

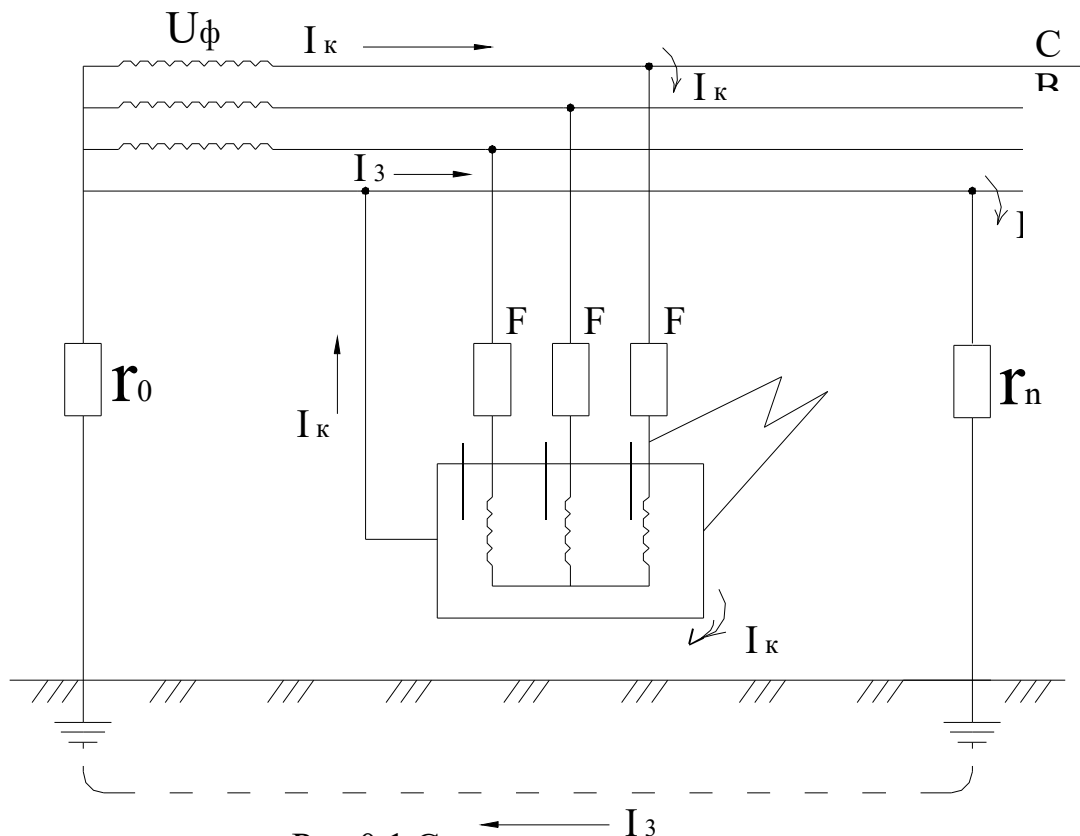


Рис 0.1 Схема защитного зануления

Находим активное сопротивление воздушной линии из алюминиевых проводов:

$$R_{\phi}^{\text{алюм}} = R_{\text{н}}^{\text{алюм}} = \rho_{\text{алюм}} \cdot \frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 0,028 \frac{30}{10} = 0,084 \text{ Ом}, \quad (7.3)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, которое для меди равно 0,018, а для алюминия 0,028 Ом·мм²/м;

l – длина проводника, м;

S – сечение проводника, мм².

Находим активное сопротивление кабельной линии из медных проводов:

$$R_{\phi}^{\text{мед}} = R_{\text{н}}^{\text{мед}} = \rho_{\text{мед}} \cdot \frac{l_{\kappa}}{S_{\kappa}} = 0,018 \frac{40}{6} = 0,12 \text{ Ом}. \quad (7.4)$$

Индуктивные сопротивления медных и алюминиевых проводов $X_{\text{н}}$ и X_{ϕ} очень малы и ими можно пренебречь. Сопротивление взаимной индукции зависит от расстояния между проводами D и их диаметра d . Обычно при отдельно проложенных нулевых защитных проводах принимают $X_{\phi\text{н}} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot l$, при кабельных линиях, значением $X_{\phi\text{н}}$ можно пренебречь.

Находим длину петли «фаза-нуль»:

$$l_{\text{н}} = l_{\phi}^{\text{алюм}} + l_{\phi}^{\text{мед}} + l_{\text{н}}^{\text{мед}} + l_{\text{н}}^{\text{алюм}} = 30 + 40 + 40 + 30 = 140 \text{ м} \quad (7.5)$$

Определяем сопротивление петли фаза-нуль:

$$X_{\phi\text{н}} = X_{\text{н}} l_{\text{н}}, \quad (7.6)$$

где $X_{\text{н}}$ – удельное сопротивление петли фаза-нуль; $X_{\text{н}} = 6 \cdot 10^{-4}$ Ом/м;

$$X_{\phi\text{н}} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot 140 = 0,084 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление петли «фаза-нуль»:

$$Z_{\text{н}} = \sqrt{(R_{\phi}^{\text{алюм}} + R_{\text{н}}^{\text{алюм}} + R_{\phi}^{\text{мед}} + R_{\text{н}}^{\text{мед}})^2 + (X_{\phi\text{н}} + X_{\phi} + X_{\text{н}})^2} \quad (7.7)$$

$$Z_{\text{н}} = \sqrt{(0,084 + 0,084 + 0,12 + 0,12)^2 + (0,084 + 0 + 0)^2} = 0,42 \text{ Ом}$$

Находим по приложению 12 значение сопротивления трансформатора. При мощности питающего трансформатора $P_{тр} = 160$ кВт его сопротивление

$$Z_{тр} = 0,047 \text{ Ом.}$$

Ток однофазного короткого замыкания будет равен:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{\left(\frac{Z_{mp}}{3}\right) + Z_n} = \frac{220}{\frac{0,047}{3} + 0,42} = 504,9 \text{ А} \quad (7.8)$$

Проверяем условие токовой защиты: $I_{кз}^{ож} \leq I_{кз}$ $440 \leq 504,9$ – условие выполняется

Находим напряжение на корпусе нагрузки:

$$U_n = I_{кз} \cdot (R_n^{алюм} + R_n^{мед}) = 504,9 \cdot (0,084 + 0,12) = 103 \text{ В,} \quad (7.9)$$

что меньше допускаемого (по приложению 3) при времени срабатывания 0,2 с допускаемое напряжение $U_{доп} = 160 \text{ В}$). Вычисляем напряжение на корпусе при наличии повторного заземлителя ($R_n = 6 \text{ Ом}$):

$$U_n = I_{кз} \cdot (R_n^{алюм} + R_n^{мед}) \cdot \frac{R_n}{R_0 + R_n} \quad (7.10)$$

$$U_n = 504,9 \cdot (0,084 + 0,12) \cdot \frac{6}{4 + 6} = 62 \text{ В.}$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
la	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
lm	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
P _{тр}	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210

Содержание темы 8 Расчёт напряжение, которое образуется на корпусе нагрузки при случайном обрыве нулевого проводника

Определить напряжение, которое образуется на корпусе нагрузки (по условию задачи 7) при случайном обрыве нулевого проводника. Рассмотреть варианты с повторным заземлителем и при его отсутствии.

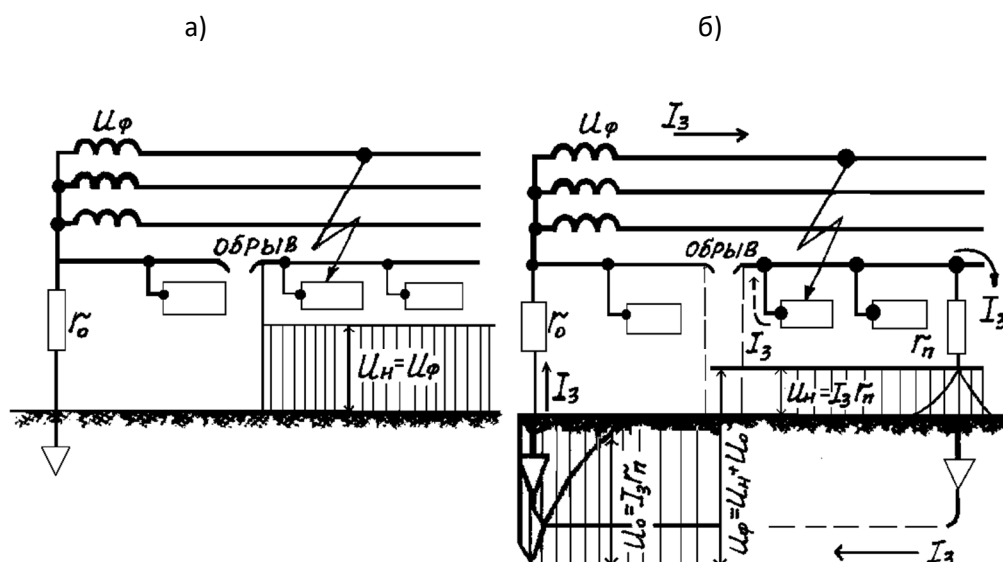


Рис.8.1 Замыкание на корпус при обрыве нулевого защитного проводника

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ При случайном обрыве нулевого защитного проводника и замыкании фазы на корпус за местом обрыва (при отсутствии повторного заземления) напряжение относительно земли на участке нулевого защитного проводника за местом обрыва и всех присоединенных к нему корпусов, в том числе корпусов исправных установок, окажется близким по значению фазному напряжению сети (рис.8.1, а).

$$U_n \approx U_\phi = 220 \text{ В}$$

Это напряжение будет существовать длительно, поскольку поврежденная установка автоматически не отключится и её будет трудно обнаружить среди исправных установок, чтобы отключить вручную.

Если же нулевой защитный проводник имеет повторное заземление, то при обрыве его сохранится цепь тока I_3 через землю (рис.8.1, б), благодаря чему напряжение зануленных корпусов, находящихся за местом обрыва, снизится:

$$U_n = I_3 \cdot r_n = U_\phi \cdot \frac{r_n}{r_0 + r_n} = 220 \cdot \frac{6}{4 + 6} = 132 \text{ В}$$

Следовательно, повторное заземление нулевого защитного проводника уменьшает опасность поражения током, возникающую в результате обрыва нулевого защитного проводника и замыкания фазы на корпус за местом обрыва, но не может устранить ее полностью, т. е. не может обеспечить тех условий безопасности, которые существовали до обрыва. В связи с этим требуется тщательная прокладка нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва; в нулевом защитном проводнике запрещается ставить выключатели, предохранители и другие приборы, способные нарушить его целостность.

Содержание темы 9 Расчёт УЗО, реагирующего на потенциал корпуса

В конце линии 380/220В имеется зануленный потребитель энергии. Вследствие удаленности его от питающего трансформатора возможны случаи отказа зануления. Вместе с тем по условиям безопасности требуется безусловное отключение установки при замыкании фазы на корпус, причем напряжение прикосновения $U_{\text{доп}}$ не должно превышать длительно 36 В. Для выполнения этих условий снабжаем установку устройством защитного отключения, реагирующим на потенциал корпуса (рис.9.1). При этом используем реле напряжения, у которого напряжение срабатывания $U_{\text{ср}} = 24$ В, активное сопротивление обмотки $R_p = 400$ Ом, индуктивное $X_p = 100$ Ом. Принимаем, что человек, касающийся корпуса, стоит на сырой земле вне зоны растекания тока с заземлителем, т.е. считаем, что $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$. Рассчитать допустимое сопротивление вспомогательного заземления.

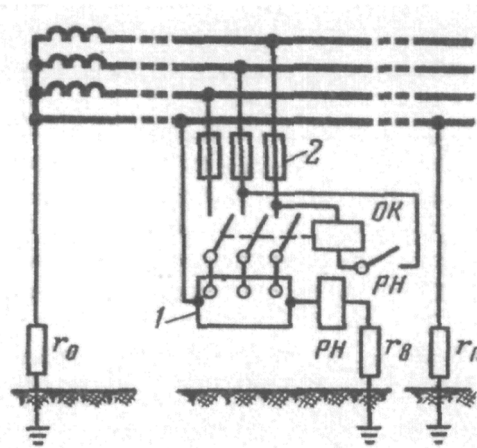


Рис. 0.1 Схема УЗО, реагирующее на потенциал корпуса

1 – корпус электроприёмника, 2 – предохранители,

r_0 - сопротивление заземления нейтрали.

$r_в$ – сопротивление вспомогательного заземления.

$r_п$ – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ. Напряжение срабатывания УЗО, реагирующего на потенциал корпуса, определяется по формуле:

$$U_{\text{ср}} = U_{\text{доп}} \cdot \frac{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \sqrt{(R_p + r_в)^2 + X_p^2}} \quad (9.1)$$

Подставляем в эту формулу известные значения и решаем уравнение:

$$24 = 36 \cdot \frac{\sqrt{400^2 + 100^2}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{(400 + r_в)^2 + 100^2}}$$

$$\sqrt{(400 + r_6)^2 + 10^4} = 618,5$$

$$r_6 = 210,4 \text{ Ом}$$

Сопротивление вспомогательного заземления не должно превышать 210 Ом, при этом УЗО будет срабатывать, если напряжение прикосновения достигнет напряжения, меньшего 36 В.

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{cp} = 24 \text{ В}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$R_p = 400 \text{ Ом}$	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
$X_p = 100 \text{ Ом}$	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140

Содержание темы 10 Расчёт тока, проходящий через тело человека, находящегося в электрическом поле.

Человек стоит на земле на сухой деревянной доске и касается рукой заземленной конструкции. Определить ток, проходящий через него в землю, если напряженность электрического поля на высоте роста человека $l_{чел} = 1,7 \text{ м}$ составляет $E = 9000 \text{ В/м}$.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ. Заменим тело человека равной ему по высоте и объёму половиной вытянутого эллипсоида вращения (овоида) с полуосями a и b , стоящего на земле так, что большая полуось его перпендикулярна поверхности земли (рис.10.1).

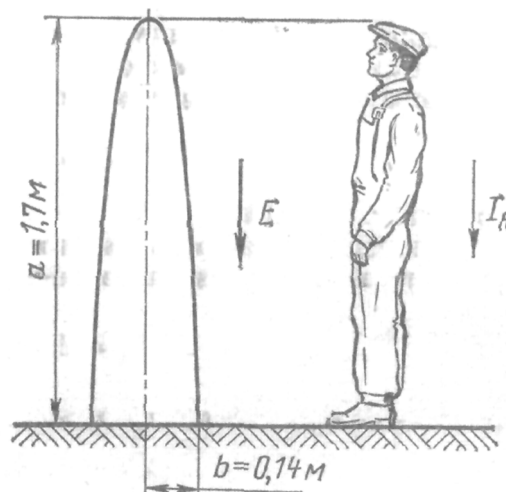


Рис.10.1 Размещение на земле в электрическом поле половины эллипсоида вращения, эквивалентной по объёму и высоте телу человека среднего роста.

Принимая, что человек имеет средний рост 1,7 м, что соответствующий этому росту объём тела $V_{\text{чел}} = 0,068 \text{ м}^3$. Длина малой полуоси b определяется из формулы для объема половины эллипсоида вращения, м^3 :

$$V_{\text{чел}} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot a \cdot b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{3 \cdot V_{\text{чел}}}{2 \cdot \pi \cdot a}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,068}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,7}} = 0,14 \text{ м}$$

Ток, проходящий через тело человека, определяется по формуле:

$$I_{\text{чел}} = E \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot a^2 \cdot f}{\ln\left(\frac{2 \cdot a}{b}\right) - 1},$$

где E – напряжённость электрического поля, В/м;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Ф/м

f – частота электрического поля, Гц.

Подставляем значения в формулу:

$$I_{\text{чел}} = 9000 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{2 \cdot 3,14^2 \cdot 1,7^2 \cdot 50}{\ln\left(\frac{2 \cdot 1,7}{0,14}\right) - 1} = 1 \cdot 10^{-4}$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{\text{чел}}$	1,65	1,68	1,71	1,74	1,77	1,8	1,83	1,86	1,89	1,92
E	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500

Содержание темы 11 Расчёт напряжения прикосновения

Человек коснулся оборванного и лежащего на земле провода воздушной линии, находящейся под напряжением (рис 110.1). Определить напряжение прикосновения $U_{\text{пр}}$, если длина участка провода, лежащего на земле, $l = 10 \text{ м}$; расстояние от человека до этого участка $s = 2 \text{ м}$; сечение провода $S = 120 \text{ мм}^2$; ток замыкания на землю $I_3 = 40 \text{ А}$; удельное сопротивление грунта $\rho = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; сопротивление тела человека $R_{\text{чел}} = 10^3 \text{ Ом}$. Рассмотреть варианты, когда ступни ног находятся на расстоянии шага и когда ступни ног находятся вместе.

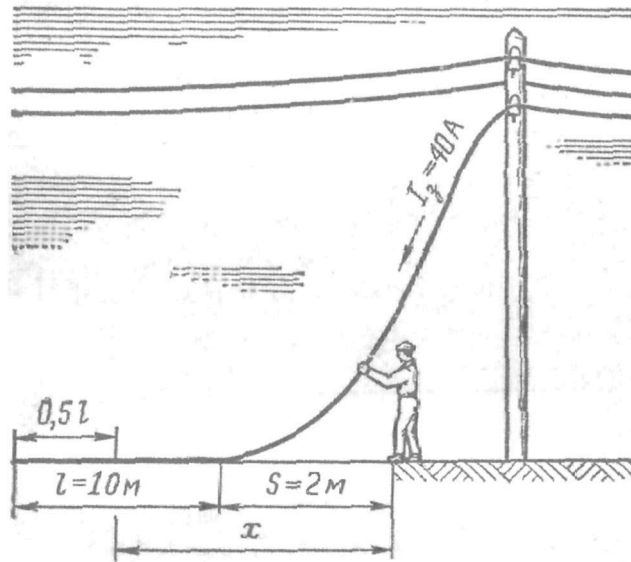


Рис 11.1 Прикосновение человека к лежащему проводу

РЕШЕНИЕ. Находим диаметр провода по формуле :

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 120}{3,14}} = 12,4 \text{ мм} \quad (11.1)$$

Рассматривая провод, лежащий на земле, как протяженный заземлитель круглого сечения, по приложению 9 определяем потенциал провода:

$$\varphi_z = I_z \cdot R_z = \frac{I_z \cdot \rho}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{d} = \frac{40 \cdot 80}{3,14 \cdot 10} \cdot \ln \frac{2 \cdot 10}{0,0124} = 753 \text{ В} \quad (11.2)$$

Находим расстояние от середины электрода до места, где стоит человек:

$$x = \frac{l}{2} + s = \frac{10}{2} + 2 = 7 \text{ м} \quad (11.3)$$

Находим α_1 – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой (приложение 13):

$$\alpha_1 = 1 - \frac{\ln(2 \cdot x + l) - \ln(2 \cdot x - l)}{2 \cdot \ln(2 \cdot l) - 2 \cdot \ln d} = 1 - \frac{\ln(2 \cdot 7 + 10) - \ln(2 \cdot 7 - 10)}{2 \cdot \ln(2 \cdot 10) - 2 \cdot \ln 0,0124} = 0,88 \quad (11.4)$$

Находим α_2 – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек:

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \frac{R_{oc}}{R_{чел}}} \quad (11.5)$$

где R_{oc} – сопротивление растеканию тока основания, на котором стоит человек

Сопротивление растеканию тока основания, на котором стоит человек, находится следующим образом. Подошвы обуви человека, создающие контакт с основанием, можно уподобить дисковому заземлителю, лежащему на поверхности земли. Если площадь подошвы одной ноги принять равной 225 см^2 , то диаметр эквивалентного ей диска будет равен $D = 0,17 \text{ м}$, а сопротивление растеканию тока составит по приложению 9:

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot D} \quad (11.6)$$

Полагая, что ступни ног отстоят одна от другой на расстоянии шага, и считая поэтому, что их поля растекания токов не влияют одно на другое, получим искомое сопротивление растеканию основания, т.е. сопротивление растеканию обеих ног человека:

$$R_{oc} = \frac{R_n}{2} = \frac{\rho}{4 \cdot D} \quad (11.7)$$

Подставляем это значение в формулу 11.5, получим окончательное выражение для коэффициента напряжения прикосновения, учитывающего падение напряжения в сопротивлении растеканию ног человека:

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{4 \cdot D \cdot R_{чел}}} \quad (11.8)$$

Подставляем значения в формулу:

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \frac{80}{4 \cdot 0,17 \cdot 1000}} = 0,89$$

Искомое напряжение прикосновения находится по формуле:

$$U_{np} = \varphi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 = 753 \cdot 0,88 \cdot 0,89 = 590 \text{ В} \quad (11.9)$$

Находим ток, проходящий через тело человека:

$$I_{чел} = \frac{U_{np}}{R_{чел}} = \frac{590}{1000} = 0,59 \text{ А} \quad (11.10)$$

То есть в данном случае человек подвергнут смертельной опасности поражения электрическим током (приложение 2).

В случае, если ступни ног стоят рядом, то их можно уподобить дисковому заземлителю, лежащему на поверхности земли, диаметром 0,25 м. При этом сопротивление растеканию тока составит по приложению 9:

$$R_{oc} = \frac{\rho}{2 \cdot D} \quad (11.11)$$

Подставляем это значение в формулу 11.5, получим формулу для коэффициента напряжения прикосновения α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{2 \cdot D \cdot R_{чел}}} = \frac{1}{1 + \frac{80}{2 \cdot 0,25 \cdot 1000}} = 0,86 \quad (11.12)$$

В этом случае напряжение прикосновения составит:

$$U_{np} = \varphi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 = 753 \cdot 0,88 \cdot 0,86 = 570 \text{ В} \quad (11.13)$$

Находим ток, проходящий через тело человека:

$$I_{чел} = \frac{U_{np}}{R_{чел}} = \frac{570}{1000} = 0,57 \text{ А} \quad (11.14)$$

Хотя напряжение прикосновения меньше, чем в предыдущем случае, но его уровень очень высокий и опасность поражения электрическим током сохраняется.

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5
s	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25
S	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
I _з	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
ρ	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
R _{чел}	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250

Содержание темы 12 Расчёт напряжения шага

Определить напряжение шага в случае, если человек стоит рядом с лежащим на земле оборванным проводом воздушной линии, находящимся под напряжением, но не касается его (рис 0.1). Длина участка провода, лежащего на земле, $l = 10$ м; расстояние от человека до этого участка $s = 2$ м; сечение провода $S = 120$ мм²; ток замыкания на землю $I_3 = 40$ А; удельное сопротивление грунта $\rho = 800$ Ом·м; сопротивление тела человека $R_{\text{чел}} = 10^3$ Ом. Расстояние между ногами человека $a = 0,8$ м.

- РЕШЕНИЕ. Находим диаметр провода по формуле:
-

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 120}{3,14}} = 12,4 \text{ мм} \quad (12.1)$$

Рассматривая провод, лежащий на земле, как протяженный заземлитель круглого сечения, по приложению 9 определяем потенциал провода:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3 = \frac{I_3 \cdot \rho}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{d} = \frac{40 \cdot 80}{3,14 \cdot 10} \cdot \ln \frac{2 \cdot 10}{0,0124} = 753 \text{ В} \quad (12.2)$$

Находим расстояние от середины электрода до места, где стоит человек:

$$x = \frac{l}{2} + s = \frac{10}{2} + 2 = 7 \text{ м} \quad (12.3)$$

Находим β_1 – коэффициент напряжения шага, учитывающий форму потенциальной кривой (приложение 13):

$$\beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{2 \cdot a}{2 \cdot x - l} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \cdot a}{2 \cdot x + l} + 1\right)}{2 \cdot \ln(2 \cdot l) - 2 \cdot \ln d} \quad (12.4)$$

$$\beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{2 \cdot 0,8}{2 \cdot 7 - 10} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \cdot 0,8}{2 \cdot 7 + 10} + 1\right)}{2 \cdot \ln(2 \cdot 10) - 2 \cdot \ln 0,0124} = 0,02$$

Найдём сопротивление растеканию тока основания, на котором стоит человек. Подошвы обуви человека, создающие контакт с основанием, можно уподобить дисковому заземлителю, лежащему на поверхности земли. Если

площадь подошвы одной ноги принять равной 225 см^2 , то диаметр эквивалентного ей диска будет равен $D = 0,17 \text{ м}$, а сопротивление растеканию тока составит по приложению 0:

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot D} \quad (120.5)$$

Находим коэффициент напряжения шага, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию ног человека:

$$\beta_2 = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot R_n}{R_{\text{чел}}}} = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{D \cdot R_{\text{чел}}}} \quad (12.6)$$

Подставляем значения в формулу:

$$\beta_2 = \frac{1}{1 + \frac{80}{0,17 \cdot 1000}} = 0,68$$

Искомое напряжение прикосновения находится по формуле:

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 = 753 \cdot 0,02 \cdot 0,68 = 10,2 \text{ В} \quad (12.7)$$

Находим ток, проходящий через тело человека:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{чел}}} = \frac{10,2}{1000} = 10,2 \cdot 10^{-3} \text{ А} \quad (120.8)$$

Напряжение шага невелико, однако такой ток, проходящий через тело человека, может вызвать судорожное сокращение мышц и падение человека на землю, в результате чего ток, проходящий через тело человека, может вырасти многократно.

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5
s	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25
S	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
I _з	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
ρ	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
R _{чел}	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
a	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4

Вопросы по для самопроверки

1. **Вопрос:** Область и порядок применения правил ПТЭ и ПТБ.
2. **Вопрос:** Что означает термин «электробезопасность»?
3. **Вопрос:** Что означает термин электроустановка?
4. **Вопрос:** Какие электроустановки считаются действующими? Классификация электроустановок по напряжению?
5. **Вопрос:** Дайте характеристику электропомещениям.
6. **Вопрос:** На какие категории подразделяются помещения в отношении опасности поражения людей электрическим током?
7. **Вопрос:** Зануление, назначение и принцип действия.
8. **Вопрос:** Какой проводник называется защитным?
9. **Вопрос:** Какой проводник называется нулевым рабочим?
10. **Вопрос:** Для какой цели должны быть сооружены заземляющие устройства и заземлены металлические части электрооборудования?
11. **Вопрос:** Какие части электроустановок и электрооборудования подлежат заземлению или занулению?
12. **Вопрос:** Защитное заземление, назначение и область применения?
13. **Вопрос:** Какие правила установки заземлений?
14. **Вопрос:** Как осуществляется присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников?
15. **Вопрос:** Как осуществляется заземление или зануление переносных электроприёмников?
16. **Вопрос:** Что относится к электрозащитным средствам?
17. **Вопрос:** Что называется основным электрозащитным средством?
18. **Вопрос:** Что относится к основным электрозащитным средствам в электроустановках до 1000 В?
19. **Вопрос:** Что называется дополнительным электрозащитным средством?
20. **Вопрос:** Что относится к дополнительным электрозащитным средствам в электроустановках Выше 1000 В?
21. **Вопрос:** Что относится к дополнительным электрозащитным средствам в электроустановках до 1000 В?
22. **Вопрос:** Как подразделяются плакаты и знаки безопасности?
23. **Вопрос:** Какой порядок содержания и хранения электрозащитных средств в электроустановках напряжением до и выше 1000 В?
24. **Вопрос:** Какие общие правила пользования электрозащитными средствами, применяемыми в электроустановках напряжением до и выше 1000 В?
25. **Вопрос:** В чем заключается поражающее действие электрического тока на организм человека?
26. **Вопрос:** Какое напряжение считается опасным для жизни человека? Какая величина тока считается смертельной для человека?
27. **Вопрос:** Какие бывают ожоги?
28. **Вопрос:** Чем определяется опасность для человека при прохождении через него электрического тока?

29. **Вопрос:** Какова последовательность оказания первой помощи пострадавшим от электрического тока?
30. **Вопрос:** Какие существуют виды поражения электрическим током?
31. **Вопрос:** Каковы правила освобождения пострадавшего от электрического тока?
32. **Вопрос:** Как оказывается первая помощь пострадавшему от электрического тока?
33. **Вопрос:** Как проводится искусственное дыхание (вентиляция легких)?
34. **Вопрос:** Как выполняется наружный массаж сердца?
35. **Вопрос:** Какие условия применения переносного электроинструмента и ручных электрических машин в различных помещениях?
36. **Вопрос:** При каком напряжении должен использоваться переносной электроинструмент?
37. **Вопрос:** Что запрещается делать лицам, пользующимся электроинструментом?
38. **Вопрос:** Что необходимо проверить перед началом работ с ручным электроинструментом?
39. **Вопрос:** Как располагать провода или кабели переносного электроинструмента?
40. **Вопрос:** Квалификационные группы для лиц, обслуживающих электроустановки.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Известно, что никакая самая блестящая лекция не может научить. Научиться чему-либо человек может только сам. Источником творческих знаний являются только личные упражнения, во время которых студент может проделать сам то, чему его учили во время лекции.

Поэтому кроме посещения всех видов аудиторных занятий и ведения конспекта лекций самостоятельная работа студентов предусматривает:

- своевременное изучение лекционного (программного) материала и изучение соответствующих разделов литературы, рекомендованной настоящей программой;
- качественную подготовку к практическим занятиям;
- самостоятельное решение студентами задач и выполнение индивидуальных заданий на практических занятиях, включая самостоятельное (лишь с помощью указаний преподавателя) разрешение возникающих при этом неясностей;
- своевременное и качественное выполнение домашних индивидуальных задач и защита отчетов по ним на практических занятиях;
- качественную подготовку к письменным опросам по законченным разделам курса, предусмотренным в учебно-методической карте дисциплины;
- периодическое получение консультаций у преподавателей по самостоятельно прорабатываемому материалу;
- осмысливание и систематизацию полученной

по дисциплине информации при подготовке к зачету.

Самостоятельная работа не должна сводиться к изучению разделов дисциплины по учебнику или конспекту лекций. Изучение теории не самоцель, а средство приобретения умений в решении инженерных задач. В процессе изучения программного материала дисциплины этот материал необходимо усвоить, т. е. в процессе проработки материала он должен быть полностью понят.

Усвоение новой информации путем чтения является глубоко индивидуальным, однако, при этом могут быть даны общие рекомендации: - началу усвоения материала должно предшествовать общее ознакомление со всем текстом соответствующей темы, так как разъяснение неясных при первом чтении мест может содержаться в последующих абзацах; - настоящее усвоение изучаемого материала начинается при повторном (возможно многократно повторном) чтении текста и основано на предшествующих знаниях, умении сопоставлять, выдвигать предположения и т. д., т. е. на умении логически мыслить; - всегда следует пытаться осознать новую информацию как добавку к ранее известному; - изучать материал следует только с ручкой в руке

. Записи в процессе изучения не только способствуют пониманию материала, но и способствуют его запоминанию; - в целях наглядности и облегчения запоминания целесообразно делать простые поясняющие рисунки, графики, если даже их нет в книге или конспекте.

Для текущего контроля за самостоятельной работой студентов и качеством усвоения программного материала применяются следующие формы контроля: - защита студентами индивидуальных заданий, выполненных самостоятельно на практических занятиях и при подготовке к ним; - проверка преподавателями домашних индивидуальных контрольных заданий, выполненных студентами по самостоятельно изученному материалу; - периодические письменные опросы студентов по законченным разделам курса, сроки проведения которых на практических занятиях планируются в учебнометодической карте дисциплины; - отчеты студентов на консультациях по материалу пропущенных без уважительной причины лекций; - межсессионный контроль: положительно аттестуются студенты, выполнившие и защитившие предусмотренные в оцениваемый период индивидуальные задания и получившие положительные оценки по запланированным письменным опросам.

В соответствии с рабочим учебным планом по окончании изучения дисциплины «Охрана труда в отрасли» студенты сдают зачет либо экзамен.

Студенты, не выполнившие индивидуальные задания по практическим занятиям и не защитившие их, а также не выполнившие домашние индивидуальные контрольные задания, к зачету (экзамену) не допускаются.

Студенты, не явившиеся на экзамен или зачет без уважительной причины, приравниваются к студентам, получившим неудовлетворительную оценку.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Общие методические указания Контрольные задания следует выполнять после изучения соответствующих тем дисциплины. Решение задач является важнейшим средством для глубокого усвоения изучаемого вопроса, а поэтому студентам настоятельно рекомендуется изучение каждой темы заканчивать решением задач.

Студенты специальности 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника заочной формы обучения выполняют контрольную работу, состоящую из ответа на вопрос и задачи. Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к студенческим работам и должна содержать:

- вопрос и ответ;
- условия задач;
- решения задач (при этом даже простые задачи должны быть решены методически правильно: сначала должны быть аргументированно записаны необходимые соотношения, затем в них подставлены численные величины для последующего вычисления, далее окончательный результат и единица измерения);
- графики, если их выполнение требуется по условию задачи, должны быть построены по точкам с указанием на осях координат единиц измерения и цены деления; - краткий анализ полученных результатов.

Все принятые студентом в процессе выполнения работы решения должны быть достаточно обоснованы и содержать краткие, но исчерпывающие объяснения. Задачи должны быть решены с использованием Международной системы единиц СИ. Выполненную контрольную работу студент сдает на проверку. Если контрольная работа не зачтена, то студент должен исправить все ошибки и вернуть ее с исправлениями для повторного рецензирования.

Студенты заочной подготовки номера индивидуальной задачи определяют по числу А, получаемому при написании последних двух цифр номера зачетной книжки.

Номер задачи определяется как остаток от деления числа А на 12.

Например, студент, у которого номер зачетной книжки 302834 ($A = 34$), решает задачу 10 ($34/12=2*12+10$).

Номер варианта задачи – третья справа цифра номера зачетной книжки. Например, студент, у которого номер зачетной книжки 302834 выполняет задачу 10 вариант 8.

Правильность выбора номеров задачи контролируется преподавателем, поэтому на титульном листе контрольной работы должен быть указан номер зачетной книжки студента.

Номер вопроса определяется аналогично, то есть номер вопроса определяется как остаток от деления числа А на 40.

Например, студент, у которого номер зачетной книжки 302834 ($A = 34$),

отвечает на вопрос 34 ($34/40=0*40+34$).

Литература

Основная литература

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Серия 17. Выпуск 53. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. — 192 с.

Дополнительная литература

2 Тесленко И.И., Баракин Н.С., Потешин М.И. Электробезопасность при эксплуатации электрооборудования/ , Учебное пособие. Краснодар: — Краснодар: КубГАУ, 2019. — 131 с.

3 Петров Г.М. — Электробезопасность на горных предприятиях: учеб. пособие /Г.М. Петров. М. - Изд. Дом МИСиС, 2016. 188.198 ISBN 978-557623-087.7

4 Долин П.А. Справочник по технике безопасности.6-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат,1985. – 639

Электронно-информационные ресурсы

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.org/library>

Приложения

Приложение 1 Значения сопротивлений растеканию тока полов, выполненных из различных материалов

Материал пола	Состояние пола	Относительная влажность помещения в %	Сопротивление растеканию тока, кОм
Дерево	Сухой	50 – 65	30
	Влажный	65 – 75	3
	Мокрый	75 – 100	0,3
Кирпич	Сухой	50 – 65	10
	Влажный	65 – 75	1,5
	Мокрый	75 – 100	0,8
Линолеум	Сухой	50 – 65	1500
	Влажный	65 – 75	50
	Мокрый	75 – 100	4
Ксилолит	Сухой	60 – 70	100
	Влажный	65 – 80	10
	Мокрый	80 – 100	0,5
	Сухой	60 – 65	25

Метлахская плитка	Влажный	65 – 70	2
	Мокрый	75 – 100	0,3
Бетон	Сухой	65 – 70	2000
	Влажный	70 – 80	0,9
	Мокрый	80 – 100	0,1
Асфальт	Сухой	65 – 70	2000
	Влажный	70 – 80	10
	Мокрый	80 – 100	0,8
Земля	Сухой	65 – 70	20
	Влажный	70 – 80	0,8
	Мокрый	80 – 100	0,3
Металл	Сухой	65 – 70	0,01
	Влажный	70 – 80	0
	Мокрый	80 – 100	0

Приложение 2 Влияние значения тока на исход поражения электрическим током

Название тока	Характеристика		Значение переменного тока частотой 50 Гц	Значение постоянного тока
Безопасный ток	Ток, который длительно (в течении нескольких часов) может проходить через человека, не нанося ему вреда и не вызывая никаких ощущений		50 - 75 мкА	100 - 125 мкА
Пороговый ощутимый ток ¹	Воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и легким покалыванием (покалыванием), а при постоянном токе – ощущением нагрева кожи на участке, касающемся токоведущей части.		1,1 мА	6 мА
—	Резкое усиление боли, сопровождается непроизвольными сокращениями мышц		6 – 10 мА	30 – 50 мА
Пороговый неотпускающий ток ²	Боль становится едва переносимой, а судороги мышц рук оказываются настолько значительными, что человек не в состоянии их преодолеть.	мужчины	16 мА	80 мА
		женщины	11 мА	50 мА
		дети	8 мА	40 мА
—	Дыхательные движения грудной клетки сильно затрудняются. В случае длительного воздействия этого тока дыхание		25 — 50 мА	100 – 150 мА


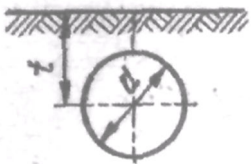
Название тока	Характеристика		Значение переменного тока частотой 50 Гц	Значение постоянного тока
	может оказаться невозможным, после чего через несколько минут наступит смерть от удушья. Этот ток одновременно вызывает сужение кровеносных сосудов, что приводит к повышению артериального давления крови и затруднению работы сердца.			
Фибрилляционный ток ^{3, 4}	Через малый промежуток времени, обычно через 1 - 3 с с момента замыкания цепи тока через человека, может наступить фибрилляция или остановка сердца. При этом прекращается кровообращение и, следовательно, в организме возникает недостаток кислорода; это в свою очередь быстро приводит к прекращению дыхания, т. е. наступает смерть	пределы	50 мА – 5 А	200 мА – 5 А
		среднее значение	100 мА	300 мА
Смертельный ток ⁵	Вызывает немедленную остановку сердца, минуя состояние фибрилляции. Если действие тока было кратковременным (1–2 с) и не вызвало повреждения сердца (в результате нагрева, ожога и т. п.), после отключения тока оно, как правило, самостоятельно возобновляет нормальную деятельность. Происходит паралич дыхания даже в случае кратковременного воздействия, причем после отключения тока дыхание, как правило, самостоятельно не восстанавливается		более 5 А	более 5 А

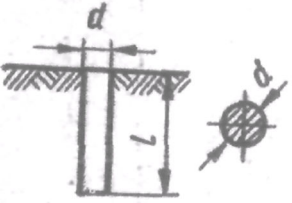
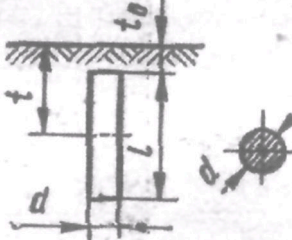

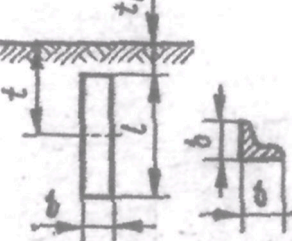
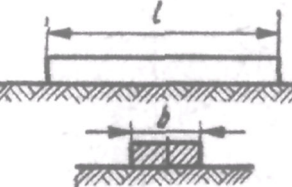
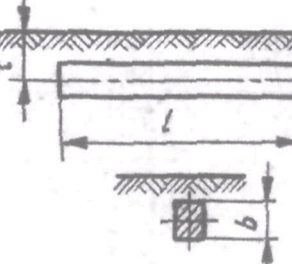
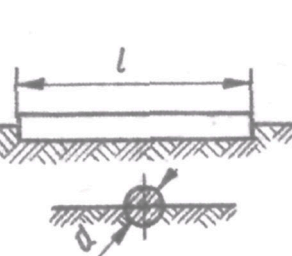
-
- Примечания 1. Указанные значения пороговых ощутимых токов справедливы лишь при прохождении тока по пути рука – рука или рука – ноги. Если же контакт создается другими частями тела, имеющими более нежный кожный покров, в том числе тыльной стороной руки, лицом и т. п., то человек начинает ощущать еще меньший ток. Наименьший ток 40 мкА при постоянном напряжении ощущается языком.

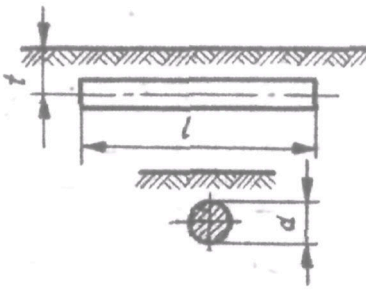
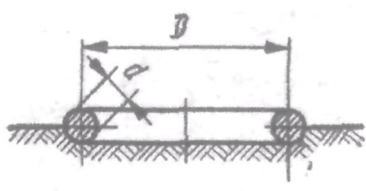
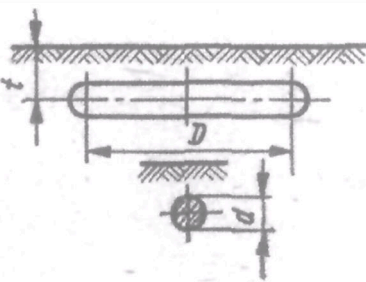
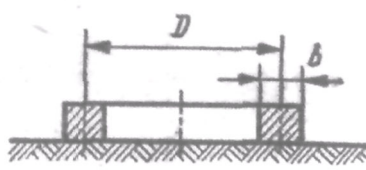
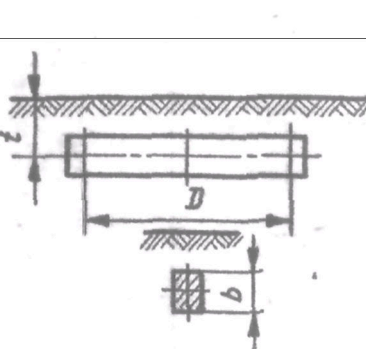
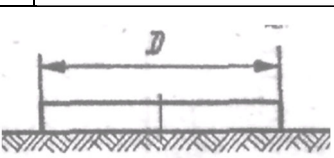
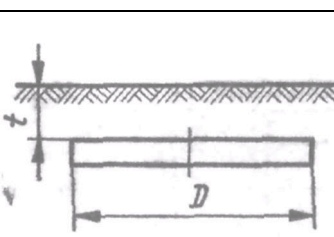
- 2. При постоянном токе неотпускающих токов, строго говоря, нет, т.е. человек при любых значениях тока может самостоятельно разжать руку, в которой зажат проводник, и таким образом оторваться от токоведущей части. Однако в момент отрыва возникают болезненные сокращения мышц, аналогичные по характеру и болевым ощущениям тем, которые наблюдаются примерно при таком же значении переменного (50 Гц) тока
- 3. Значение порогового фибрилляционного тока колеблется в широких пределах, поскольку оно зависит от ряда факторов и в первую очередь от массы тела человека, рода и частоты тока, а также длительности его воздействия.
- 4. Указанные значения пороговых фибрилляционных токов справедливы при условии длительного прохождения тока через человека (не менее 1 – 3 с) по пути рука – рука или рука – ноги.
- 5. Длительное (несколько секунд) действие большого тока сопровождается не только остановкой сердца и прекращением дыхания, но и обширными и глубокими ожогами тела, разрушением внутренней структуры тканей организма и другими тяжелыми повреждениями отдельных органов, в том числе сердца, которые, как правило, приводят к гибели организма.
-
- Приложение 3 Значения сопротивлений обуви
-

Материал подошвы	Сопротивление обуви, кОм, при напряжении сети, В			
	До 65	127	220	Выше 220
Помещение сухое				
Кожа	200	150	100	50
Кожимит	150	100	50	25
Резина	500	500	500	500
Помещение сырое и влажное				
Кожа	1,6	0,8	0,5	0,2
Кожимит	2	1	0,7	0,5
Резина	2	1,8	1,5	1

Приложение 4 Формулы для вычисления сопротивления наиболее распространенных одиночных заземлителей растеканию тока

Тип заземлителя	Схема	Формула определения R
Полусферический у поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi \cdot d}$
Шаровой в грунте $2 \cdot t \gg d$		$R = \frac{\rho}{\pi \cdot d} \cdot \left(1 + \frac{d}{4 \cdot t}\right)$

Стержневой или трубчатый у по- верхности грунта $l \gg d$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{4 \cdot l}{d}$
Стержневой или трубчатый в грунте $l \gg d$ $t_0 \geq 0,5 \text{ м}$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right)$
Угловой у поверхности грунта $l \gg b$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{4,2 \cdot l}{b}$
Угловой в грунте $l \gg b$ $t_0 \geq 0,5 \text{ м}$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2,1 \cdot l}{b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2 \cdot t + l}{4,2 \cdot t - l} \right)$
Протяженный полосовой на поверхности грунта $l \gg b$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{4 \cdot l}{b}$
Протяженный полосовой в грунте $l \geq 4 \cdot t$ $l \gg b$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}$
Протяженный круглого сече- ния (стержень, труба, оболочка кабеля) на по- верхности грунта $l \gg d$		$R = \frac{\rho}{\pi \cdot l} \ln \frac{2 \cdot l}{d}$

Протяженный круглого сечения (стержень, труба, оболочка кабеля) в грунте $l \geq 4 \cdot t$, $l \gg d$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{l^2}{d \cdot t}$
Кольцевой круглого сечения на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi^2 \cdot D} \ln \frac{8 \cdot D}{d}$
Кольцевой круглого сечения в грунте $D \gg d$, $D < 2 \cdot t$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi^2 \cdot D} \ln \frac{4 \cdot \pi \cdot D^2}{d \cdot t}$
Кольцевой прямоугольного сечения на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi^2 \cdot D} \ln \frac{16 \cdot D}{b}$
Кольцевой прямоугольного сечения в грунте $D \gg 0,5 \cdot b$, $D < 2 \cdot t$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi^2 \cdot D} \ln \frac{8 \cdot \pi \cdot D^2}{b \cdot t}$
Круглая пластина на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{2 \cdot D}$
Круглая пластина в грунте $D < 2 \cdot t$		$R = \frac{\rho}{4 \cdot D} \cdot \left(1 + \frac{2}{\pi} \cdot \arcsin \frac{D}{\sqrt{16 \cdot t^2 + D}} \right)$

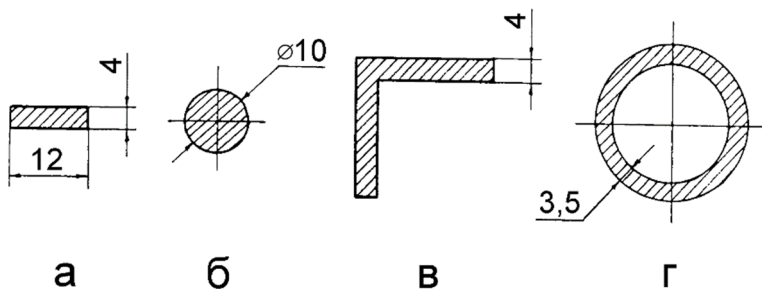
Пластина- тый в грунте (пластина по- ставлена на ребро) $t > a$		$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot a}{b} + \frac{a}{4 \cdot t - 2 \cdot a} \right)$
--	--	---

Приложение 5 Коэффициенты сезонности ψ для слоя сезонных изменений в многослойной земле

Климатическая зона	Условная толщина слоя сезонных изменений h_c , м	Состояние земли во время измерения ее сопротивления при влажности		
		повышенной	нормальной	малой
I	2,2	7,0	4,0	2,7
II	2,0	5,0	2,7	1,9
III	1,8	4,0	2,0	1,5
IV	1,6	2,5	1,4	1,1

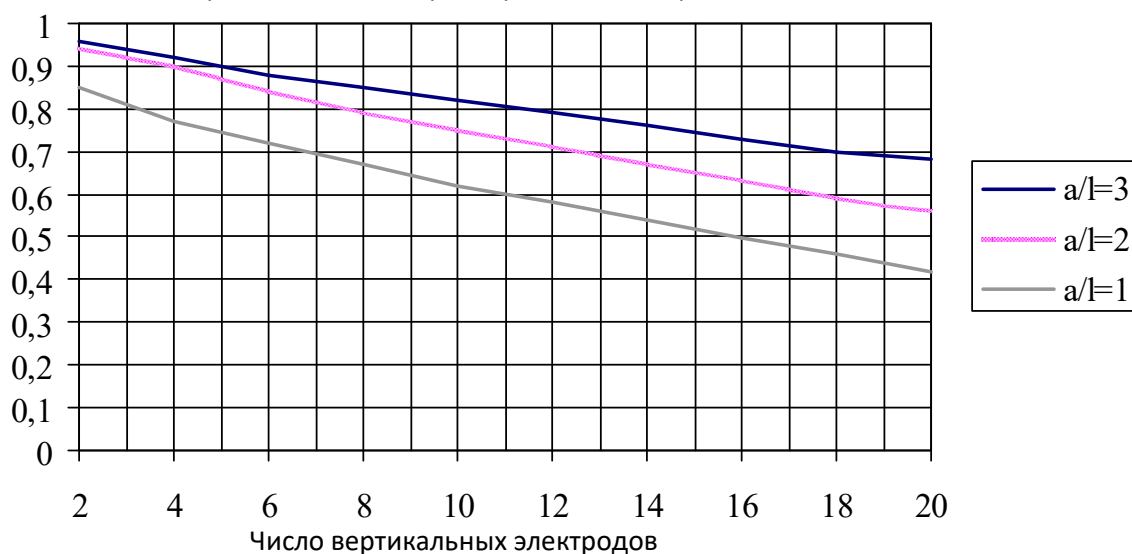
Приложение 6 Минимальные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников, мм (Правила устройства электроустановок ПУЭ)

			Место расположения		
			В зданиях	В наружных установках	В земле
а	Прямоугольные	сечением, мм ²	24	48	48
		толщиной, м	3	4	4
б	Круглые, диаметром, мм		5	6	10
в	Угловая сталь с толщиной полос, мм		2	2,5	4
г	Стальные водогазопроводные (некондиционные) трубы с толщиной стенок, мм		2,5	2,5	3,5

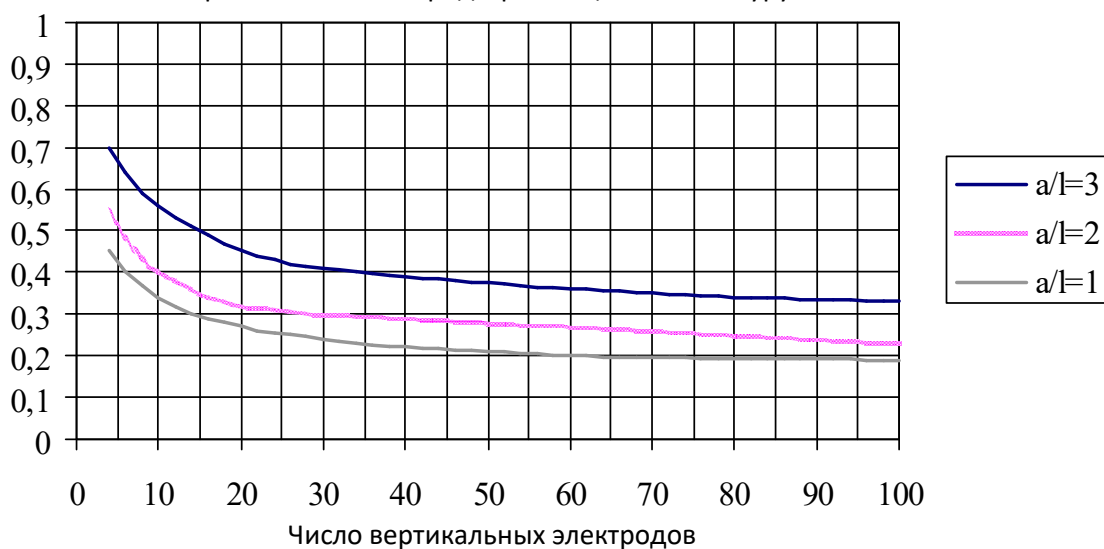


Приложение 7 Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя

Вертикальные электроды размещены в ряд



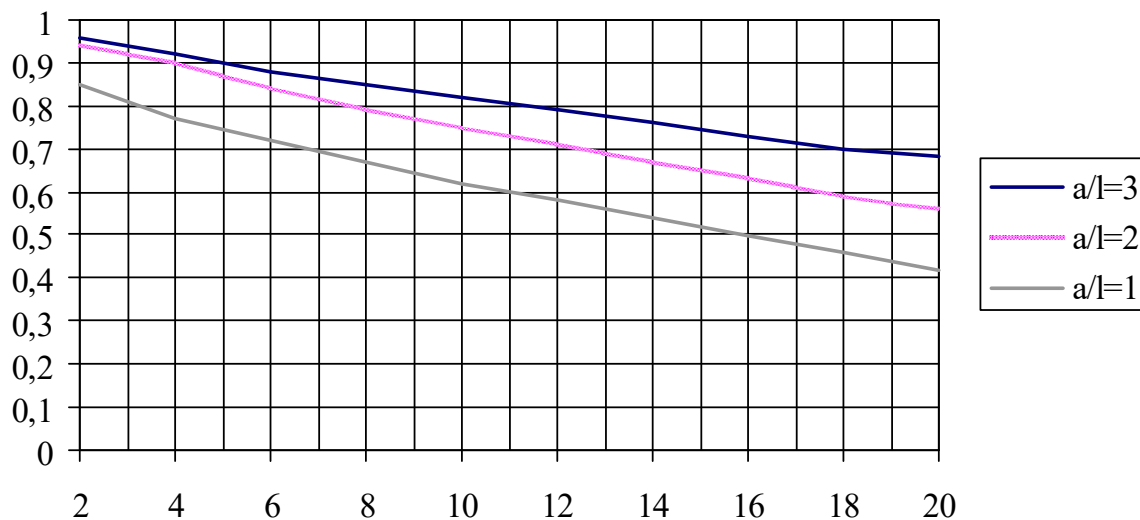
Вертикальные электроды размещены по контуру



Расположение вертикальных электродов	Приближённые формулы для вычисления коэффициента использования горизонтального электрода η_r при отношении расстояния между вертикальными электродами к их длине a/l		
	3	2	1
в ряд	$\eta_B = 0,99 \cdot e^{-0,019 n}$	$\eta_B = 0,96 \cdot e^{-0,027 n}$	$\eta_B = 0,91 \cdot e^{-0,0386 n}$
по контуру	$\eta_{\hat{a}} = \frac{2,33}{n} + 0,313$	$\eta_{\hat{a}} = \frac{1,914}{n} + 0,22$	$\eta_{\hat{a}} = \frac{1,5}{n} + 0,176$

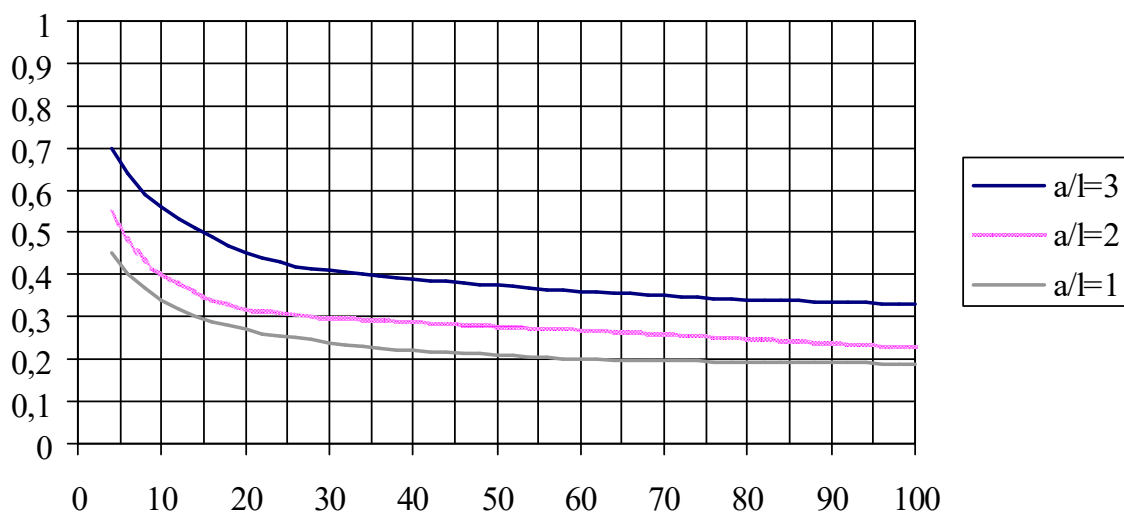
Приложение 8 Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя

Вертикальные электроды размещены в ряд



Число вертикальных электродов

Вертикальные электроды размещены по контуру



Число вертикальных электродов

Расположение вертикальных электродов	Приближённые формулы для вычисления коэффициента использования горизонтального электрода η_r при отношении расстояния между вертикальными электродами к их длине a/l		
	3	2	1
в ряд	$\eta_B = 0,99 \cdot e^{-0,019 n}$	$\eta_B = 0,96 \cdot e^{-0,027 n}$	$\eta_B = 0,91 \cdot e^{-0,0386 n}$
по контуру	$\eta_{\hat{a}} = \frac{2,33}{n} + 0,313$	$\eta_{\hat{a}} = \frac{1,914}{n} + 0,22$	$\eta_{\hat{a}} = \frac{1,5}{n} + 0,176$

Приложение 9 Технические характеристики некоторых автоматических размыкателей

Тип предохранителя	Напряжение в сети, В	Расцепитель	Номинальный ток срабатывания размыкателя, А	Установочный ток срабатывания электромагнитного элемента
А3114/1	380 220	Комбинированный	15 20	150 200
	380		25 30 40 50	250 300 400 500
	380/220 220 220		60 80 100	600 800 1000
Ф3124/144	380 220		60 100	600 1000
АЕ1036-10РУЗ	380	Электромагнитный и тепловой	12,5 16 20	144 192 240
АЕ2046-10РУЗ	220/380 220 220/380 380		25 32 40 50	300 382 480 600
	380 220 220		50 63 80	600 760 960
АК50-2МГ(2М) АК50-3МГ(3М)	380 380	Электромагнитный	0,6-30	6-300
АП50Б	500	Электромагнитный и тепловой	1,6-63	16-630
А3790	600	Электромагнитный и полупроводниковый	250-630	2400-6300

Приложение 10 Длительно допустимый ток для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25°C и земли 15°C

Сечение, мм ²	Способ прокладки	Группа проводов		Провод с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабель и защищенный провод с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабель с бумажной пропитанной изоляцией						Голые провода	
				открыто	в трубах						в воздухе			в земле			в воздухе			в земле			
					Ток, А, при числе жил, равном																		
		Ток, А																			открыто/в помещениях		
		-	2	3	4	5-6	7-9	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4				
2,5	24	20	19	19	15	14	21	19	17	34	29	26	23	22	-	35	31	-	-				
4	32	28	28	23	22	21	29	27	24	42	38	35	31	29	27	46	42	38	-				
6	39	36	32	30	26	24	38	32	29	55	46	42	42	35	35	60	55	46	-				
10	60	50	47	39	38	35	55	42	38	80	70	63	55	46	45	80	75	65	-				
16	75	60	60	55	48	45	70	60	54	105	90	81	75	60	60	110	90	90	105/75				
25	105	85	80	70	65	60	90	75	68	135	115	104	100	80	75	140	125	115	135/105				
35	130	100	95	85	75	70	105	90	81	160	140	126	115	95	95	175	145	135	170/130				
50	165	140	130	120	105	95	135	110	100	205	175	158	140	120	110	210	150	165	215/165				
70	210	175	165	140	130	125	165	140	126	245	210	190	175	155	140	250	220	200	265/210				
95	255	215	200	175	-	-	200	170	153	295	255	230	210	190	165	290	260	240	320/255				
120	295	245	220	200	-	-	230	200	190	340	295	266	245	220	200	335	300	270	375/300				
150	340	275	255	-	-	-	270	235	212	390	335	302	290	255	230	385	335	305	440/355				
185	390	-	-	-	-	-	310	270	243	440	385	347	-	290	260	-	380	345	500/410				

Приложение 11 Длительно допустимый ток для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с медными жилами при окружающей температуре воздуха 25°С и земли 15°С

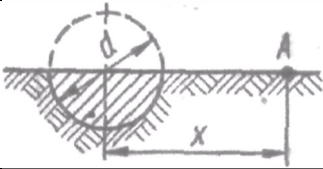
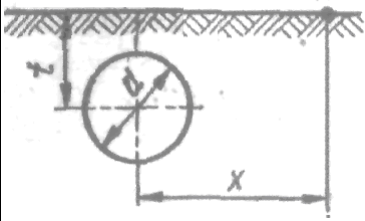
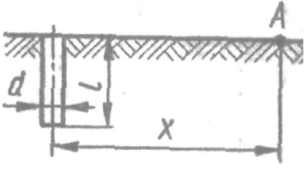
Сечение, мм ²	Способ прокладки	Группа проводов		Провод с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабель и защищенный провод с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабель с бумажной пропитанной изоляцией						Голые провода
Ток, А	открыто	в трубах						в воздухе			в земле			в воздухе			в земле			открыто/в помещениях		
Ток, А, при числе жил, равном																						
-	2	3	4	5-6	7-9	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4					
1,5	23	19	17	16	15	14	19	19	17	33	27	24	-	-	-	-	-	-	-			
2,5	30	27	25	25	20	19	27	25	22	44	38	34	30	28	-	45	40	-	-			
4	41	38	35	30	28	26	38	35	31	55	49	44	40	37	35	60	55	50	50/25			
6	50	46	42	40	34	31	50	42	38	70	60	54	55	45	45	80	70	60	70/35			
10	80	70	60	50	48	45	70	55	50	105	90	81	75	60	60	105	95	85	95/60			
16	100	85	80	75	64	60	90	75	68	135	115	103	95	80	80	140	120	115	130/100			
25	140	115	100	90	80	75	115	95	85	175	150	135	130	105	100	185	160	150	180/135			
35	170	135	125	115	100	95	140	120	108	210	180	162	150	125	120	225	190	175	220/170			
50	215	185	170	150	135	125	175	145	130	265	225	202	185	155	145	270	235	215	270/215			
70	270	225	210	185	165	155	215	180	162	320	275	247	225	200	185	325	285	265	340/270			
95	330	275	255	225	-	-	260	220	200	385	330	300	275	245	215	380	340	310	415/335			
120	385	315	290	260	-	-	300	260	234	445	385	347	320	285	260	435	390	350	485/395			
150	440	360	330	300	-	-	350	305	275	505	435	392	375	330	300	500	435	395	570/465			

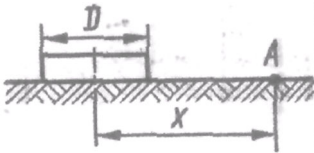
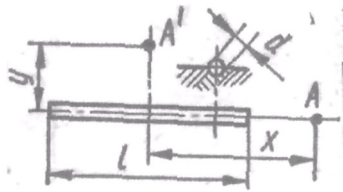
Приложение 12 Приближенные значения полных сопротивлений обмоток масляных трансформаторов с низшим напряжением 400/230 В

Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмотки высшего напряжения, кВ	Расчётное сопротивление Z_T в схеме соединения обмоток	
		Y/Y	Δ/Y и Y/Z
25	6 – 10	1,037	0,302
40	6 – 10	0,649	0,187

63	6 – 10	0,412	0,120
	20 – 35	0,379	0,135
100	6 – 10	0,259	0,075
	20 – 35	0,254	0,109
160	6 – 10	0,162	0,047
	20 – 35	0,159	0,068
250	6 – 10	0,104	0,03
	20 – 35	0,102	0,043
400	6 – 10	0,065	0,019
	20 – 35	0,064	–
630	6 – 10	0,043	0,014
	20 – 35	0,04	–
1000	6 – 10	0,027	0,009
	20 – 35	0,026	0,011
1600	6 – 10	0,018	0,006
	20 – 35	0,017	0,007

Приложение 13 Значения коэффициентов α_1 и β_1 для некоторых видов заземлителей

Тип заземлителя и схема	Значения коэффициентов α_1 и β_1
Полусферический 	$\alpha_1 = 1 - \frac{2}{d \cdot x}$ $\beta_1 = \frac{d \cdot a}{2 \cdot x \cdot (x + a)}$
Шаровой в грунте $8 \cdot t^2 \gg d$ 	$\alpha_1 = 1 - \frac{4 \cdot d \cdot t}{(4 \cdot t + d) \cdot \sqrt{x^2 + t^2}}$ $\beta_1 = \frac{4 \cdot d \cdot t}{4 \cdot t + d} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + t^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x + a)^2 + t^2}} \right)$
Стержневой 	$\alpha_1 = 1 - \frac{\ln(\sqrt{x^2 + l^2} + 1) - \ln x}{\ln(4 \cdot l) - \ln d}$ $\beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{x + a}{x}\right) + \ln\left(\sqrt{\frac{x^2}{l^2} + 1} + 1\right) - \ln\left(\sqrt{\frac{(x + a)^2}{l^2} + 1} + 1\right)}{\ln(4 \cdot l) - \ln d}$
Дисковый	

	$\alpha_1 = 1 - \arcsin \frac{D}{2 \cdot x}$ $\beta_1 = \arcsin \frac{D}{2 \cdot x} - \arcsin \frac{D}{2 \cdot (x + a)}$
<p>Протяженный заземлитель круглого сечения $l^2 \gg d^2$</p>	<p>Вдоль оси X:</p> $\alpha_1 = 1 - \frac{\ln(2 \cdot x + 1) - \ln(2 \cdot x - 1)}{2 \cdot \ln(2 \cdot l) - 2 \cdot \ln d}$ $\beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{2 \cdot a}{2 \cdot x - 1} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \cdot a}{2 \cdot x + 1} + 1\right)}{2 \cdot \ln(2 \cdot l) - 2 \cdot \ln d}$
	<p>Поперек оси X (вдоль оси Y):</p> $\alpha_1 = 1 - \frac{\ln(\sqrt{4 \cdot y^2 + l^2} + 1) - \ln(2 \cdot y)}{\ln(2 \cdot l) - \ln d}$ $\beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{a}{y} + 1\right) + \ln\left(\frac{\sqrt{4 \cdot y^2 + l^2} + 1}{\sqrt{4 \cdot (y + a)^2 + l^2} + 1}\right)}{\ln(2 \cdot l) - \ln d}$

- Примечание. В таблице приняты следующие обозначения:
- I_z – ток замыкания на землю, т. е. ток, проходящий через место замыкания на землю;
- ρ – удельное сопротивление грунта;
- a – расстояние между ногами человека (обычно 0,8 м);
- x и y – текущие координаты.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ОХРАНЫ ТРУДА И АЭРОЛОГИИ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для проведения самостоятельных занятий по дисциплине базовой части
учебного плана по выбору вуза
"Охрана труда в отрасли"

для обучающихся уровня профессионального образования "магистр" по
направлениям подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех
форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
охраны труда и аэрологии
Протокол № 1 от 27 августа 2020 г

УТВЕРЖДЕНО
на заседании Учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № 8 от 15 декабря 2020 г.

Донецк
2020