

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 практических (семинарских) занятий по дисциплине ба-
зовой 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 практических (семинарских) 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: 2 025 719 б). – Донецк: ДОННТУ, 2020. – Систем. требования: ZIP-архиватор.

Методические рекомендации для проведения практических (семинарских) занятий обучающихся разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Охрана труда в отрасли». Содержит задания для проведения семинаров и 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 |
| Рекомендации по подготовке к практическим (семинарским) занятиям..... | 4 |
| Требования к качеству подготовки студентов к практическим (семинарским) занятиям..... | 4 |
| Рекомендации по подготовке доклада..... | 5 |
| Практическое (семинарское) занятие №1 Расчёт тока, проходящего через тело человека при однополюсном и двухполюсном прикосновении | 5 |
| Практическое (семинарское) занятие №2 Расчёт эквивалентного удельного сопротивления земли | 8 |
| Практическое (семинарское) занятие №3 Расчёт сопротивления заземлителя в двухслойном грунте..... | 11 |
| Практическое (семинарское) занятие №4 Расчёт удельного сопротивления многослойного грунта..... | 11 |
| Практическое (семинарское) занятие №5 Расчёт заземляющего устройства в однослойном грунте..... | 15 |
| Практическое (семинарское) занятие №6 Расчёт контурного заземляющего устройства..... | 17 |
| Практическое (семинарское) занятие №7 Расчёт зануления автономной электрической сети..... | 21 |
| Практическое (семинарское) занятие №8 Расчёт напряжение, которое образуется на корпусе нагрузки при случайном обрыве нулевого проводника..... | 24 |
| Практическое (семинарское) занятие №9 Расчёт УЗО, реагирующего на потенциал корпуса..... | 25 |
| Практическое (семинарское) занятие №10 Расчёт тока, проходящий через тело человека, находящегося в электрическом поле | 27 |
| Практическое (семинарское) занятие №11 Расчёт напряжения прикосновения | 28 |
| Практическое (семинарское) занятие №12 Расчёт напряжения шага..... | 32 |
| Список литературы | 34 |
| Значения сопротивлений растеканию тока полов, выполненных из различных материалов..... | 34 |
| Влияние значения тока на исход поражения электрическим током | 35 |
| Значения сопротивлений обуви..... | 37 |
| Формулы для вычисления сопротивления наиболее распространенных одиночных заземлителей растеканию тока..... | 40 |
| Коэффициенты сезонности ψ для слоя сезонных изменений в многослойной земле..... | 40 |
| Минимальные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников, мм..... | 40 |
| Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя..... | 41 |
| Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя..... | 42 |
| Технические характеристики некоторых автоматических размыкателей..... | 43 |
| 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..... | 44 |
| Длительно допустимый ток для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с медными жилами при окружающей температуре воздуха 25°C и земли 15°..... | 45 |
| Приближенные значения полных сопротивлений обмоток масляных трансформаторов с низшим напряжением 400/230 В..... | 46 |
| Значения коэффициентов α_1 и β_1 для некоторых видов заземлителей..... | 46 |

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» Донецкого национального технического университета. При выборе задач использованы литературные источники и законодательная нормативно-техническая документация по профилю знаний.

Рекомендации по подготовке к практическим (семинарским) занятиям

Семинар - важная и обязательная форма дидактического процесса, дополняющая лекционную форму обучения и ее углубление.

На семинарах поднимаются наиболее важные и сложные вопросы курса, требующие специальной подготовки студента с использованием рекомендованной учебной литературы и лекций.

Подготовку к семинару нужно проводить в следующем порядке:

- 1) Внимательно ознакомьтесь с планом семинара по заданной теме.
- 2) Прочитать конспекты лекций по теме семинара, отмечая материал, необходимый для изучения поставленных вопросов.
- 3) Ознакомиться с рекомендованной учебной литературе по данной теме: в первую очередь - с основной, при необходимости углубленного изучения - с дополнительной.
- 4) Обратите особое внимание на основные понятия изучаемого предмета, знание которых способствует эффективному усвоению курса.
- 5) Разберитесь в доступных в теме формулах и в том, как они используются для выполнения необходимых расчетов.
- 6) Освоить приемы построения графических моделей, если они используются в изучаемом предмете.
- 7) В процессе изучения темы следует подготовить тезисы или небольшие заметки в записной книжке семинара. Особенно это актуально для вопросов, предназначенных для самостоятельного изучения. Эти заметки можно использовать на семинаре для публичных выступлений, а также для работы во время семестровой работы и при подготовке к экзамену.

Требования к качеству подготовки студентов практическим (семинарским) занятиям

1. Подготовка к семинару является обязательной частью работы студента и охватывает все темы в плане занятия, а не выборочно по конкретным темам.

2. Работа студента на семинаре предполагает его высокую активность и соответствие следующим требованиям к публичным выступлениям:

- а) свободное устное воспроизведение подготовленного выступления по темам с использованием заметок в качестве помощников. Это требование распространяется также на отображение графических моделей и формул на доске;
- б) готовность и способность отвечать на вопросы и делать выводы из сказанного;
- в) знание терминологии темы доклада;
- г) регламент выступления - 10 минут.

Рекомендации по подготовке доклада

Доклад готовится по вопросу, выбранному из тем, предложенных для каждого семинара, согласованному с преподавателем. Доклад готовится с использованием как основной, так и дополнительной литературы, выбранной студентом самостоятельно. Как правило, на чтение доклада на семинаре отводится 10 минут. После прочтения доклада студентам предлагается обсудить проблемные вопросы, поднятые в выступлении. При чтении доклада студент должен представить материал в доступной и понятной форме.

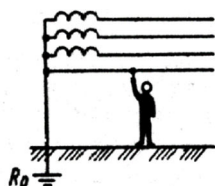
Практическое (семинарское) занятие №1

Задача 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)

А)



Б)

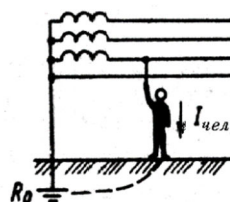


Рисунок 1.1 Однополюсное прикосновение к сети с глухозаземлённой нейтралью

Как видно из схемы, ток через тело человека не проходит ($I_{\text{чел}} = 0$) 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: $R_{\text{обуви}} = 0,5 \text{ кОм}$.

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).

А)

Б)

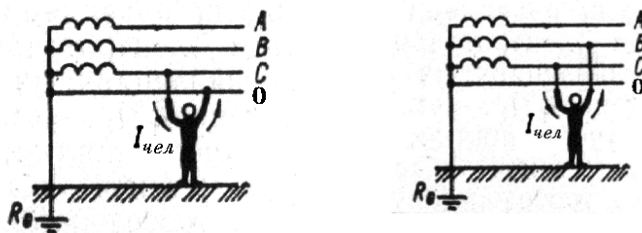


Рисунок 1.2 Двухполюсное прикосновение к сети с глухозаземлённой нейтралью

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

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

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).

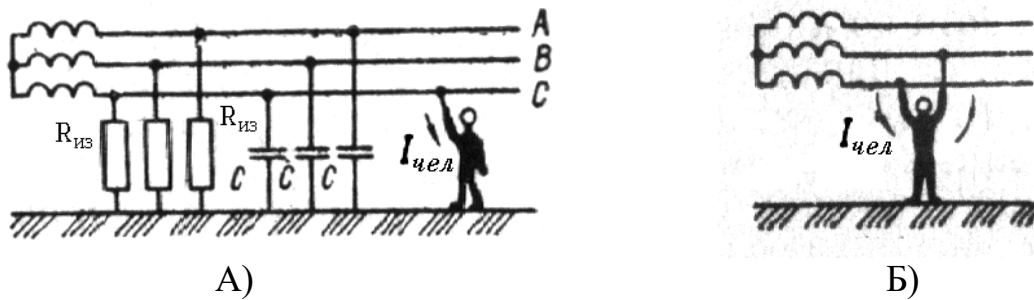


Рисунок 1.3 Однополюсное (А) и двухполюсное (Б) прикосновение к сети с изолированной нейтралью

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 |

Практическое (семинарское) занятие №2

Задача 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) $a = 2,5 \text{ м}$, $\Delta a_1 = 2 \text{ м}$,

$\Delta a_2 = 0,5$ м; $b = 3$ 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 изменений 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.

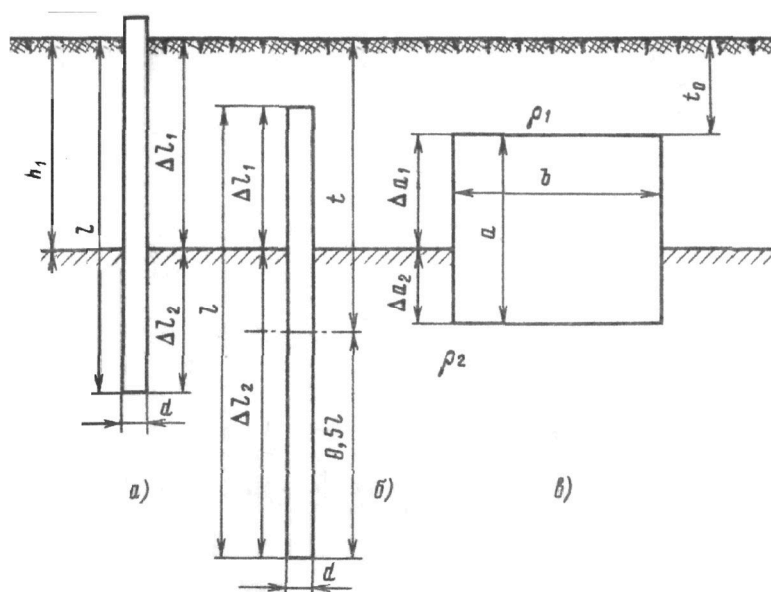


Рис.2.1 Одиночные заземлители, размещенные в двухслойной земле:

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_z , Ом·м, для этих электродов определяются из следующего выражения:

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

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: $\rho_z \approx \frac{5}{\frac{3}{200} + \frac{2}{40}} = 77 \text{ Ом·м}$

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

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

| 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 |

Практическое (семинарское) занятие №3

Задача 3 Расчёт сопротивления заземлителя в двухслойном грунте

Определить сопротивление R_n 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:

$$R_n = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot a}{b} + \frac{a}{t_0} \right) = \frac{110}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot 2,5}{3} + \frac{2,5}{1,5} \right) = 20,3 \text{ Ом}$$

Практическое (семинарское) занятие №4

Задача 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 $R_{n\text{изм}}$ 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 | $R_{n\text{изм}}$ | 230 | 100 | 60 | 40 | 30 | 20 |

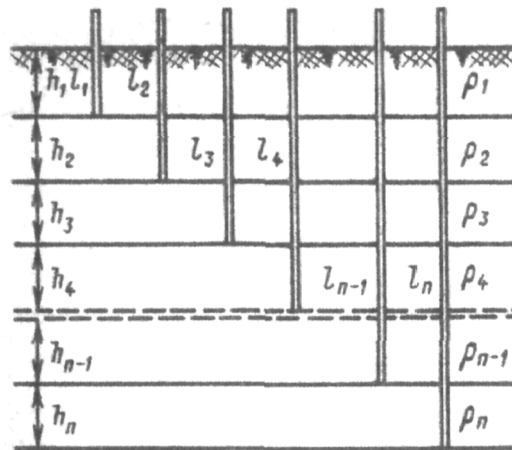


Рис.4.1 Схема размещения контрольного зонда в земле для измерения её удельного сопротивления методом послойного зондирования:

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 ; 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 $R_{n_изм}$ вычисляем измеренное удельное сопротивление земли, соответствующее данной глубине погружения зонда:

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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 $\rho_{n\ h\ изм}$ умножаем на коэффициент сезонности и получаем расчётное значение ρ :

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

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

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:

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

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

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 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 | hn | 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 | ln | 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 | Rn 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 | hn | 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 | ln | 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 | Rn 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 |

Практическое (семинарское) занятие №5

Задача 5 Расчёт заземляющего устройства в однослойном грунте

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

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ. Контур заземления выполняют из стальных стержней, уголков, некondиционных труб и др. В траншее глубиной до $0,7 \text{ м}$ 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 мм^2 , 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 $d = 0,02 \text{ м}$ и длиной $l = 3,5 \text{ м}$.

Находим допустимое сопротивление искусственного заземлителя:

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

Находим расстояние от поверхности земли до середины вертикального электрода:

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

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

Находим сопротивление одиночного вертикального заземлителя по приложению 4:

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

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

Находим ориентировочное число вертикальных заземлителей:

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

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

$$\eta_e^{\text{ориент}} = 0,7$$

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:

$$R_u = \frac{R_{\epsilon} \cdot R_z}{R_{\epsilon} \cdot \eta_z + n_{\epsilon} \cdot R_z \cdot \eta_{\epsilon}} = \frac{31 \cdot 11}{31 \cdot 0,73 + 7 \cdot 11 \cdot 0,65} = 4,69 \text{ Ом}$$

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 |

Практическое (семинарское) занятие №6

Задача 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 полок $S = 40 \times 40 \text{ мм}$ 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:

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

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

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

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

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

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

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

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\epsilon}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_{\epsilon}^2}{b \cdot h} \quad (6.6)$$

где l_{ϵ} – длина соединительной полосы (шины);

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

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

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

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

Расстояние между вертикальными стержнями в контурном заземлителе вычисляются по формуле:

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

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

$$a_{\text{ориент}} = \frac{2 \cdot R_u \cdot R_e \cdot l_e}{4 \cdot R_e \cdot R_e - R_u \cdot R_e} = \frac{2 \cdot 7,5 \cdot 11,6 \cdot 60}{4 \cdot 85,6 \cdot 11,6 - 7,5 \cdot 85,6} = 3,1 \text{ м} \quad (6.9)$$

при этом отношение

$$\frac{a_{\text{ориент}}}{l_B} = \frac{3,1}{3} = 1,03$$

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:

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

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 |

Практическое (семинарское) занятие №7

Задача 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:

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

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

Определяем ожидаемое значение тока короткого замыкания:

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

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 $S_B = 6 \text{ мм}^2$.

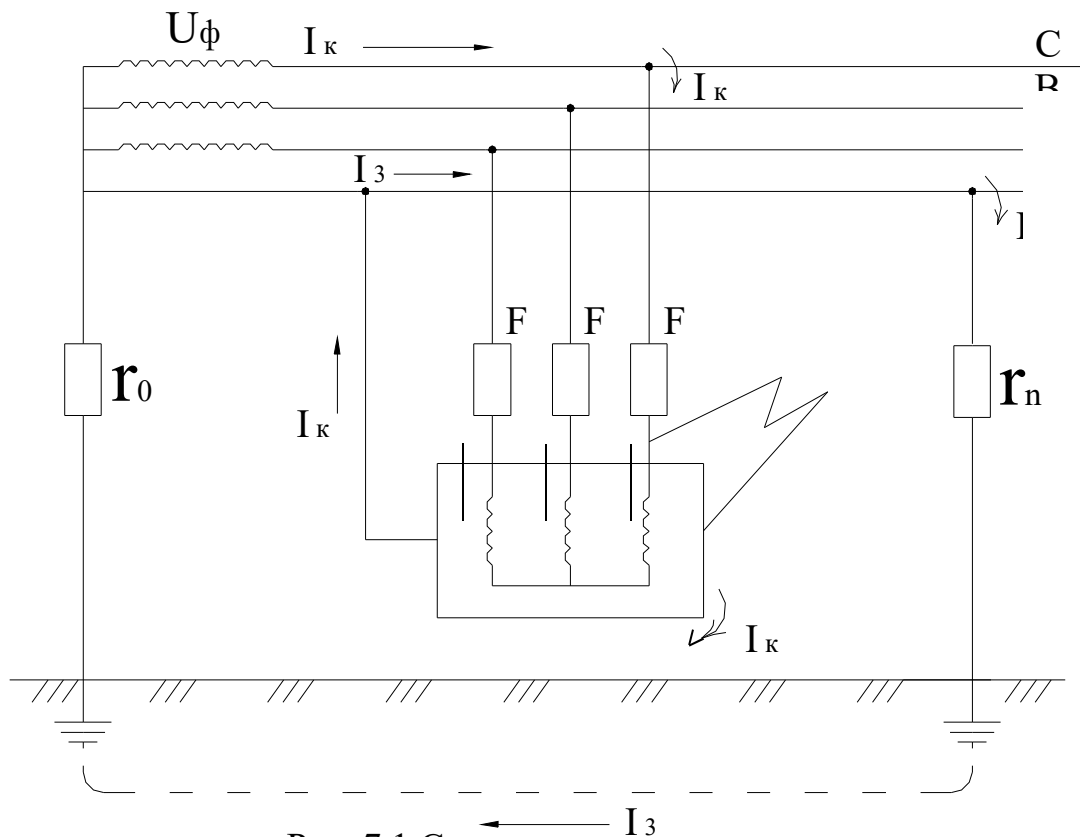


Рис. 7.1 Схема защитного зануления

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 проводников:

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

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

Находим длину петли «фаза-нуль»:

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

Определяем сопротивление петли фаза-нуль:

$$X_{\phi n} = X_n l_n, \quad (7.6)$$

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

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

Полное сопротивление петли «фаза-нуль»:

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi^{\text{алюм}} + R_n^{\text{алюм}} + R_\phi^{\text{мед}} + R_n^{\text{мед}})^2 + (X_{\phi n} + X_\phi + X_n)^2} \quad (7.7)$$

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

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

$$Z_{\text{тр}} = 0,047 \text{ Ом}.$$

Ток однофазного короткого замыкания будет равен:

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

Проверяем условие токовой защиты:

$$I_{\text{кз}}^{\text{ож}} \leq I_{\text{кз}} \quad 440 \leq 504,9 - \text{условие выполняется}$$

Находим напряжение на корпусе нагрузки:

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

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

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

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

| 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 |

Практическое (семинарское) занятие №8

Задача 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.

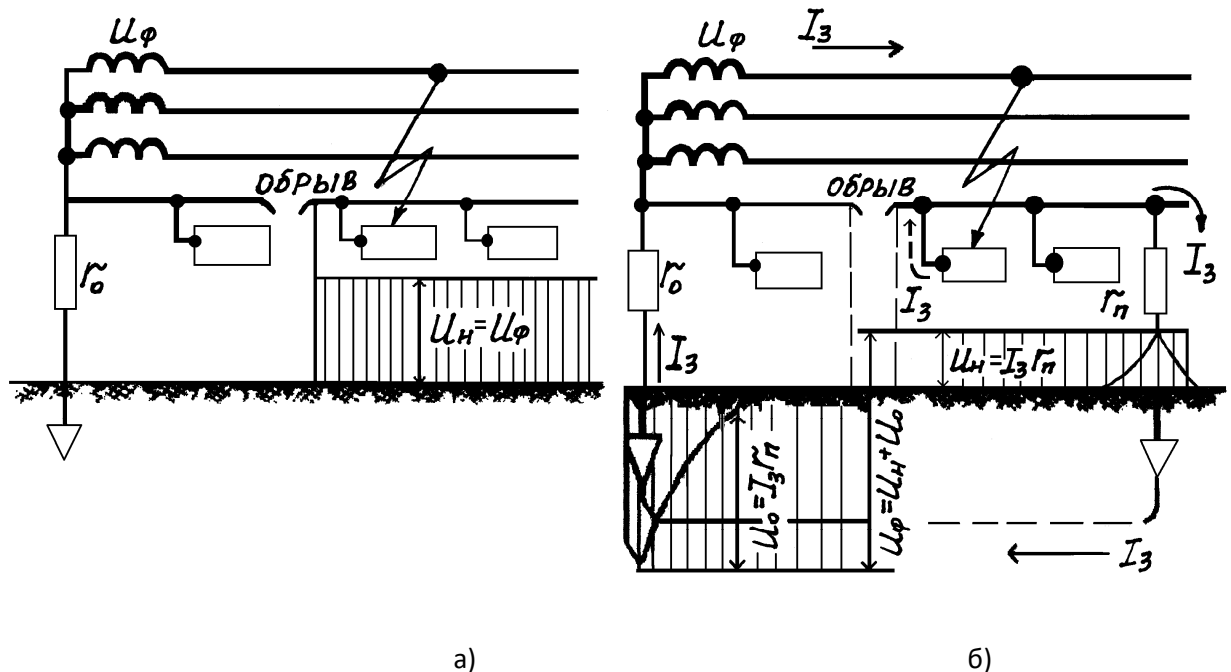


Рис.8.1 Замыкание на корпус при обрыве нулевого защитного проводника

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_z через землю (рис.8.1, б), благодаря чему напряжение зануленных корпусов, находящихся за местом обрыва, снизится:

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

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.

Практическое (семинарское) занятие №9

Задача 9 Расчёт УЗО, реагирующего на потенциал корпуса

В конце линии 380/220 В 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 $U_{\text{ср}} = 24 \text{ В}$, активное сопротивление обмотки $R_p = 400 \text{ Ом}$, индуктивное $X_p = 100 \text{ Ом}$. Принимаем, что человек, касающийся корпуса, стоит на сырой земле вне зоны растекания тока с

заземлителей, т.е. считаем, что $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$. Рассчитать допустимое сопротивление вспомогательного заземления.

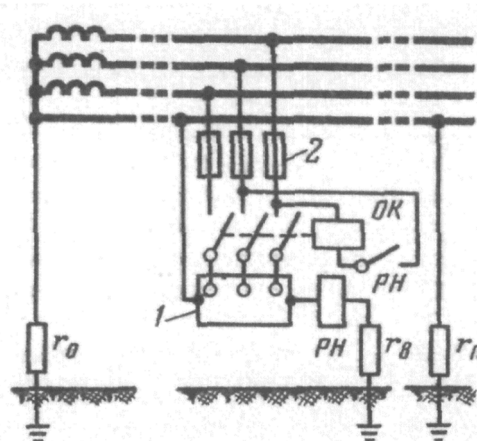


Рис. 0.1 Схема УЗО, реагирующее на потенциал корпуса

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:

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

Подставляем в эту формулу известные значения и решаем уравнение:

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

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

$$r_в = 210,4 \text{ Ом}$$

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 |
| $U_{\text{ср}} = 24 \text{ В}$ | 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 |

Практическое (семинарское) занятие №10

Задача 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 $l_{\text{чел}} = 1,7 \text{ м}$ 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).

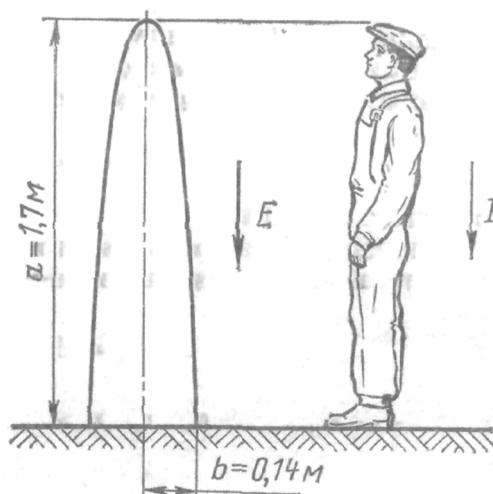


Рис.10.1 Размещение на земле в электрическом поле половины эллипсоида вращения, эквивалентной по объёму и высоте телу человека среднего роста.

Принимая, что человек имеет средний рост $1,7 \text{ м}$, что соответствующий этому росту объём тела $V_{\text{чел}} = 0,068 \text{ м}^3$ [3Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Длина малой полуоси b определяется из формулы для объёма 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 |

Практическое (семинарское) занятие №11

Задача 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, $l = 10$ м; расстояние от человека до этого участка $s = 2$ 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.

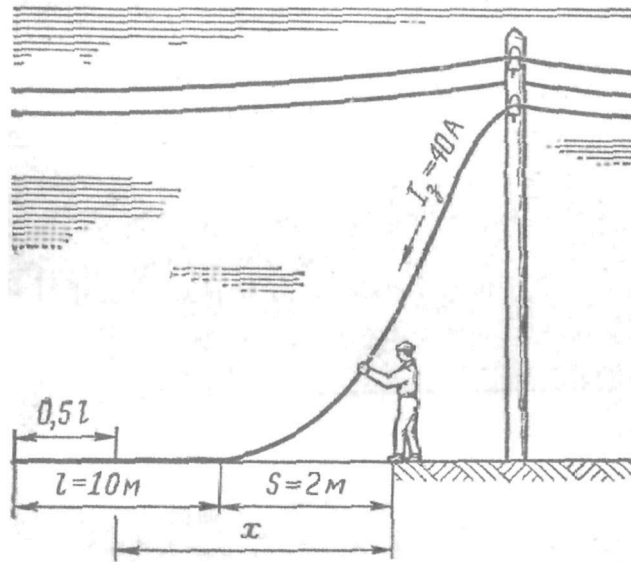


Рис 11.1 Прикосновение человека к лежащему проводу

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 |

Практическое (семинарское) занятие №12

Задача 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 $S = 120 \text{ мм}^2$; ток замыкания на землю $I_3 = 40$ А; удельное сопротивление грунта $\rho = 800 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; сопротивление тела человека $R_{\text{чел}} = 10^3 \text{ Ом}$. 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:

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot D} \quad (12.5)$$

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:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{чел}}} = \frac{10,2}{1000} = 10,2 \cdot 10^{-3} \text{ А} \quad (12.8)$$

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 |

Список литературы

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>

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 |
| Метлахская плитка | Сухой | 60 – 65 | 25 |
| | 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 осязаемый 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 может оказаться невозможным, после чего через несколько минут наступит смерть от удушья. Этот ток одновременно вызывает сужение кровеносных | | 25 — 50 мА | 100 – 150 мА |

| Название тока | Характеристика | | Значение переменного тока частотой 50 Гц | Значение постоянного тока |
|-------------------------------------|---|------------------|--|---------------------------|
| | 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 не отпускающих 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


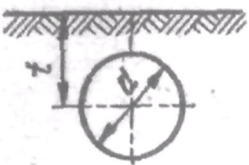
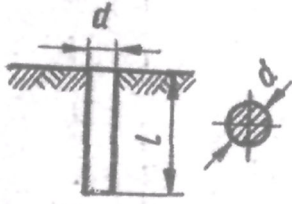
- 3. Значение порогового фибрилляционного тока колеблется в широких пределах, поскольку оно зависит от ряда факторов и в первую очередь от массы тела человека, рода и частоты тока, а также длительности его воздействия.
- 4. Указанные значения пороговых фибрилляционных токов справедливы при условии длительного 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.

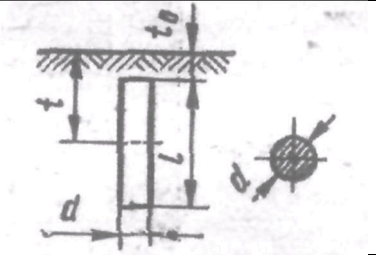
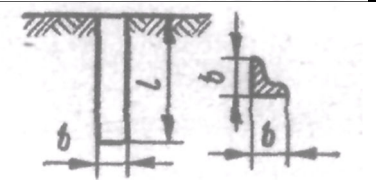
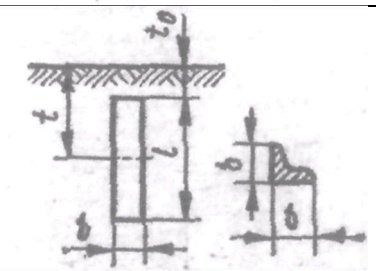
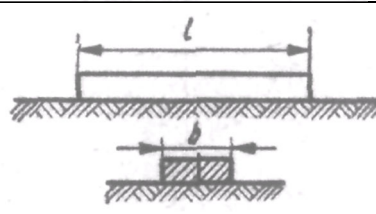
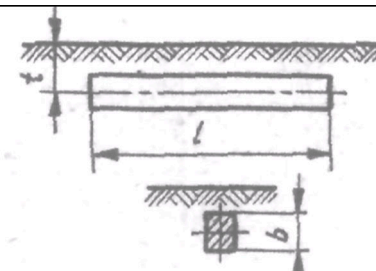
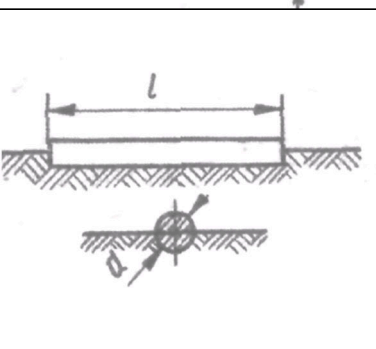
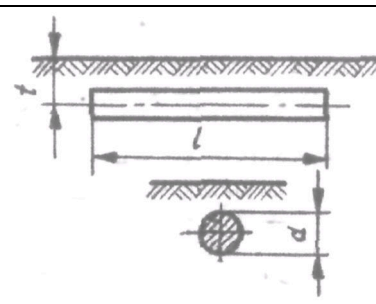
•

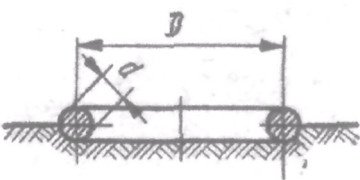
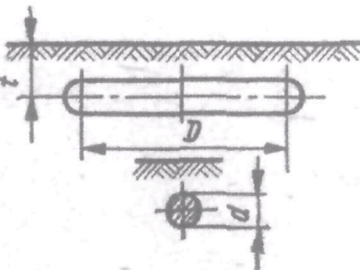
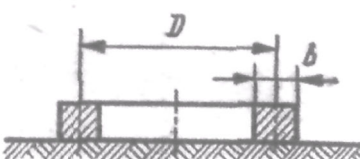
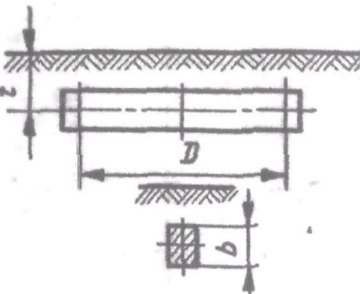
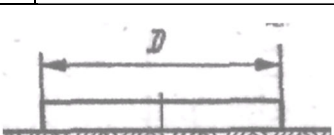
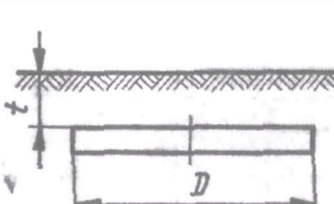
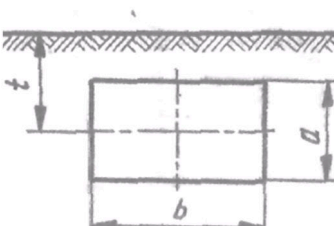
• Приложение 3 Значения сопротивлений обуви

| 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 поверхности 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 сече- ния (стержень, труба, оболочка кабеля) в грунте $l \geq 4 \cdot t$, $l \gg d$ |  | $R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{l^2}{d \cdot t}$ |

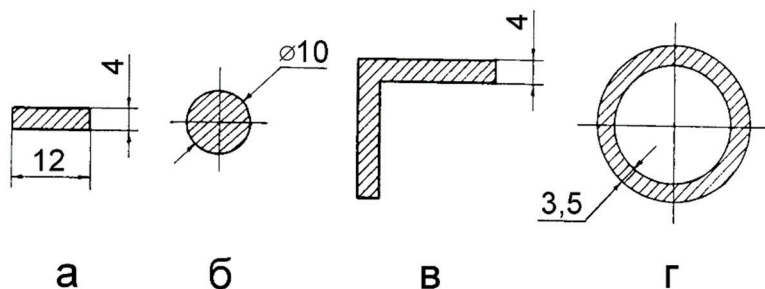
| | | |
|---|---|---|
| Кольцевой круглого сечения на поверхности грунта |  | $R = \frac{\rho}{\pi^2 \cdot D} \ln \frac{8 \cdot D}{d}$ |
| Кольцевой круглого сечения в грунте $D \gg d$, $D < 2 \cdot t$ |  | $R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi^2 \cdot D} \ln \frac{4 \cdot \pi \cdot D^2}{d \cdot t}$ |
| Кольцевой 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 $D < 2 \cdot t$ |  | $R = \frac{\rho}{4 \cdot D} \cdot \left(1 + \frac{2}{\pi} \cdot \arcsin \frac{D}{\sqrt{16 \cdot t^2 + D}} \right)$ |
| Пластиначатый в грунте (пластина поставлена 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 |
| | | | | |

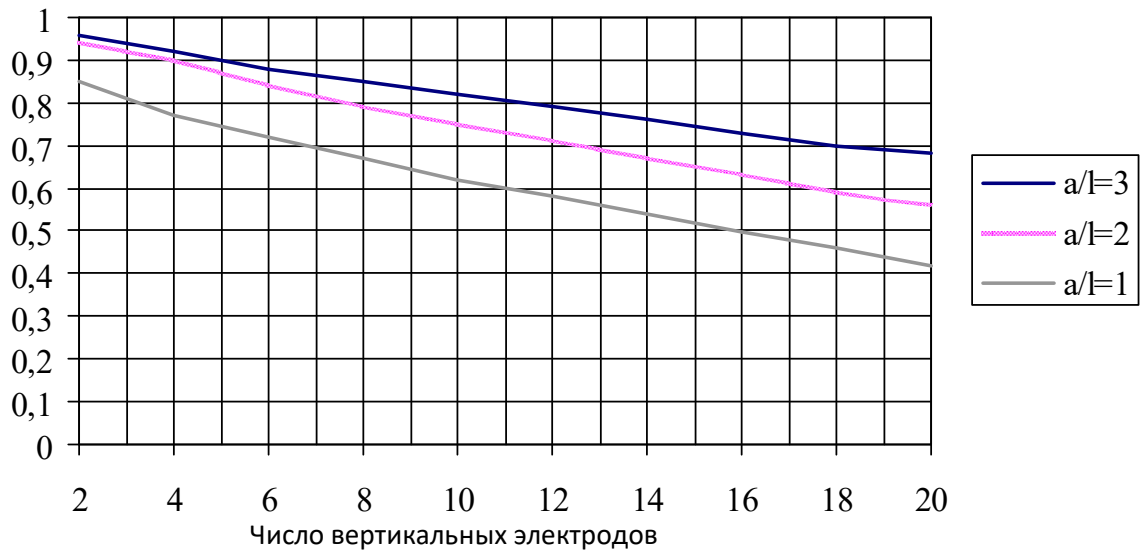
Приложение 6 Минимальные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников, мм (Правила устройства электроустановок ПУЭ)

| | | | 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 водопроводные (некондиционные) трубы с толщиной стенок, мм | | 2,5 | 2,5 | 3,5 |

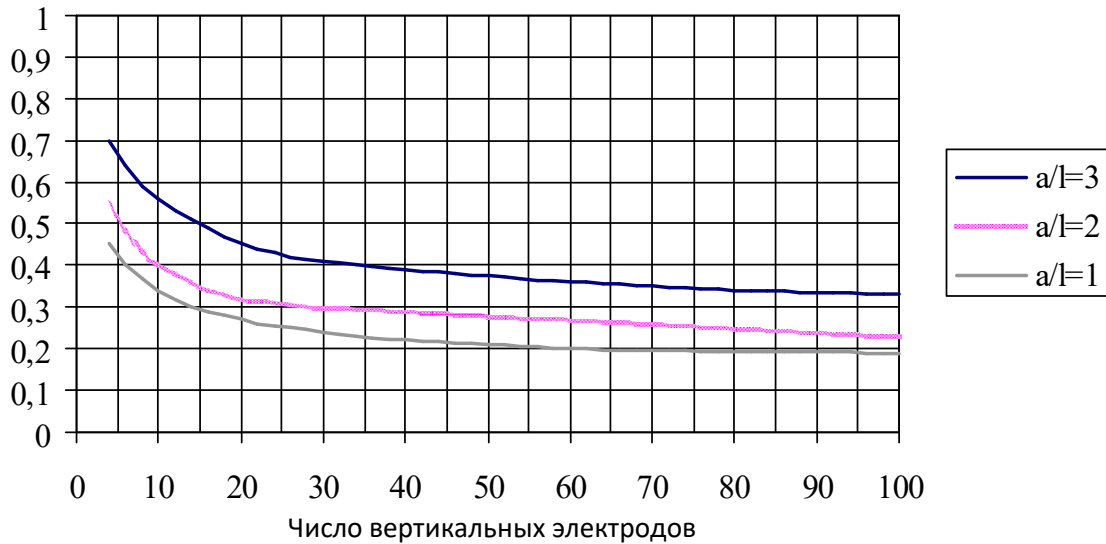


Приложение 7 Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя

Вертикальные электроды размещены в ряд



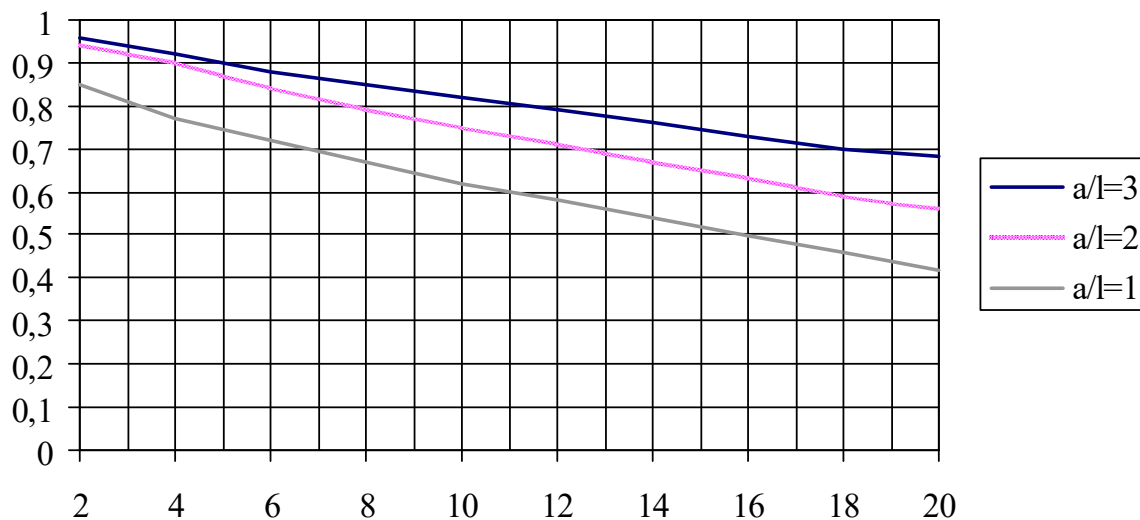
Вертикальные электроды размещены по контуру



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

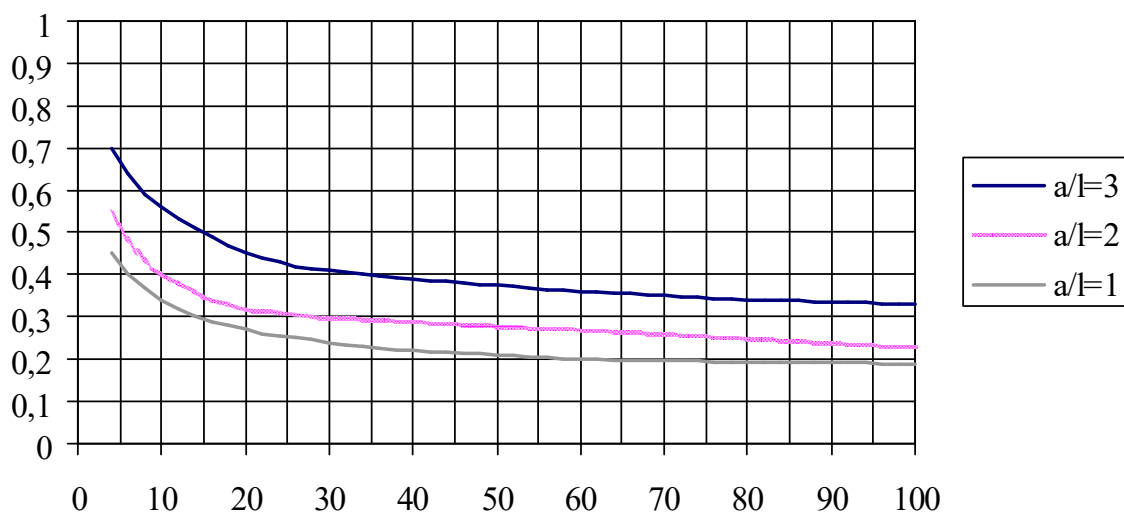
Приложение 8 Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя

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

| | | | |
|------------|---|---|--|
| в ряд | $\eta_r = 0,99 \cdot e^{-0,019 n}$ | $\eta_r = 0,96 \cdot e^{-0,027 n}$ | $\eta_r = 0,91 \cdot e^{-0,0386 n}$ |
| 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 | Комбинированный | 15 | 150 |
| | 220 | | 20 | 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 |
| | | | | |
| АЕ20-5610-РУЗ | 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

| Группа проводов | Провод с резиновой и пластмассовой изоляцией | | | | | | Кабель и защищенный провод с резиновой и пластмассовой изоляцией | | | | | | Кабель с бумажной пропитанной изоляцией | | | | | | Голые провода | | |
|-----------------|--|-------------------------------|----------|-----|-----|-----|--|-----------|-----|-----|---------|-----|---|-----------|-----|-----|---------|-----|---------------|----------------------|--|
| | Способ прокладки | открыто | в трубах | | | | | в воздухе | | | в земле | | | в воздухе | | | в земле | | | открыто/в помещениях | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Сечение, мм² | Ток, А | 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 | | | |
| 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

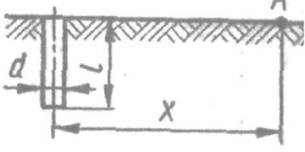
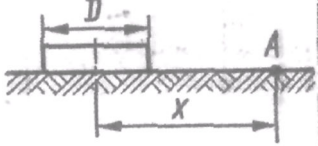
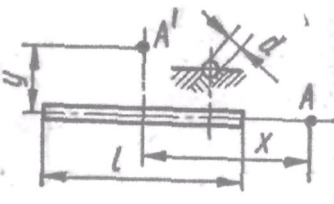
| Группа проводов | Провод с резиновой и пластмассовой изоляцией | | | | | | Кабель и защищенный провод с резиновой и пластмассовой изоляцией | | | | | | Кабель с бумажной пропитанной изоляцией | | | | | | Голые провода | |
|------------------|--|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|--|-----------|-----|-----|---------|-----|---|-----------|-----|-----|---------|-----|---------------|----------------------|
| Способ прокладки | открыто | в трубах | | | | | | в воздухе | | | в земле | | | в воздухе | | | в земле | | | открыто/в помещениях |
| | | Ток, А, при числе жил, равном | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Сечение, мм² | Ток, А | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - | 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 |
|---|--|
| <p>Полусферический</p>  | $\alpha_1 = 1 - \frac{2}{d \cdot x} \quad \beta_1 = \frac{d \cdot a}{2 \cdot x \cdot (x + a)}$ |
| <p>Шаровой в грунте</p> <p>$8 \cdot t^2 \gg d$</p>  | $\alpha_1 = 1 - \frac{4 \cdot d \cdot t}{(4 \cdot t + d) \cdot \sqrt{x^2 + t^2}}$ $\beta_1 = \frac{4 \cdot d \cdot t}{4 \cdot t + d} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + t^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x + a)^2 + t^2}} \right)$ |
| | |

| | |
|--|--|
| 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 | |
|  | $\alpha_1 = 1 - \arcsin \frac{D}{2 \cdot x} \quad \beta_1 = \arcsin \frac{D}{2 \cdot x} - \arcsin \frac{D}{2 \cdot (x+a)}$ |
| Протяженный заземлитель круглого сечения $l^2 \gg d^2$ | <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_3 – 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 практических (семинарских) занятий по дисциплине ба-
зовой 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