

КОНТРОЛЬ

ЗАЩИТНОГО

ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Хабаровск 2010

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тихоокеанский государственный университет»

КОНТРОЛЬ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
для студентов всех специальностей

Хабаровск 2010

УДК 771.88 (69.05:658.382 (075))

Контроль защитного заземления: Методические указания к лабораторной работе для студентов всех специальностей /Сост. Л.Ф. Юрасова, Л.П. Майорова, Т.В. Тупицына,. - Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2010. - 28 с.

Указания разработаны на кафедре «Экология, ресурсопользование и безопасность жизнедеятельности».

В данной работе изложены общие сведения о назначении, принципе действия, конструктивных особенностях и оценке эффективности защитного заземления. Изложена методика измерения сопротивления заземляющих устройств и обработки экспериментальных данных. Приведена методика расчета заземляющих устройств согласно требованиям ПУЭ (по состоянию на 1 Февраля 2008 года).

Печатается в соответствии с решением кафедры «Э, Р и БЖД» и методического совета ДВЛТИ.

Цель работы:

1. Освоение методики измерения сопротивления заземляющего устройства.
2. Оценка соответствия заземляющего устройства требованиям Правил устройства электроустановок.
3. Расчет заземляющего устройства.

1. Общие сведения

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (ГОСТ 12.1.009-76). Схема заземления показана на рис 1.

Назначение защитного заземления - устранение опасности поражения людей электрическим током при замыкании на корпус. Действие заземления основано на снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага. Напряжение прикосновения $U_{\text{пк}}$ (по ГОСТ 12.1.009-76) - это напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек (рис 2.)

Как следует из рис.2,

$$U_{\text{пк}} = \varphi_3 - \varphi_{\text{осн}} = \varphi_3 \cdot \alpha = I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha = I_{\text{ч}} \cdot R_{\text{ч}}, \text{В}$$

где φ_3 , $\varphi_{\text{осн}}$ - соответственно потенциал заземлителя и основания, В;

$I_{\text{ч}}$ - ток, проходящий через человека, А;

$R_{\text{ч}}$ - сопротивление тела человека, Ом. В расчетах $R_{\text{ч}}$ принимается равным 1000 Ом;

I_3 - величина тока замыкания, протекающего через заземление, А;

R_3 - сопротивление заземлителя, Ом;

α - коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий выравнивание потенциалов заземленного оборудования и основания, на котором стоит человек.

Величина тока, проходящего через тело человека, находящегося под действием напряжения прикосновения $I_{\text{ч}}$, составит $I_{\text{ч}} = (\alpha I_3 R_3) / R_{\text{ч}}$

Таким образом, безопасность обеспечивается путем: уменьшения потенциала заземления оборудования при применении заземлителей с малым сопротивлением

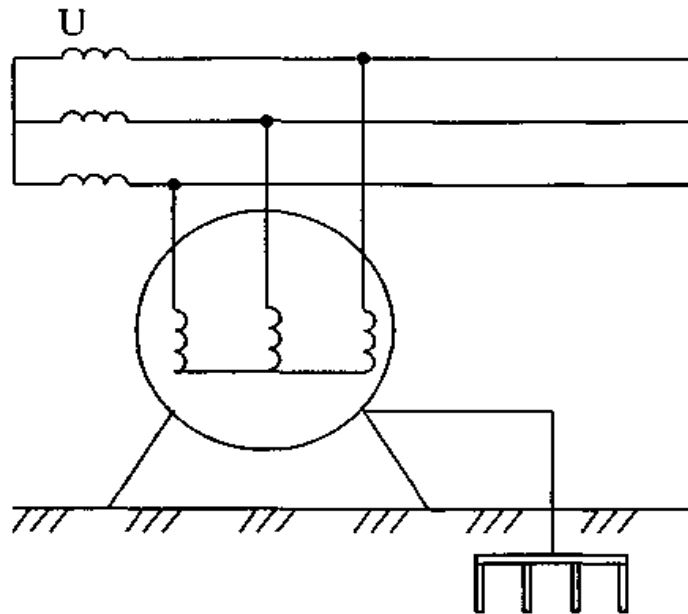


Рис. 1 Схема защитного заземления

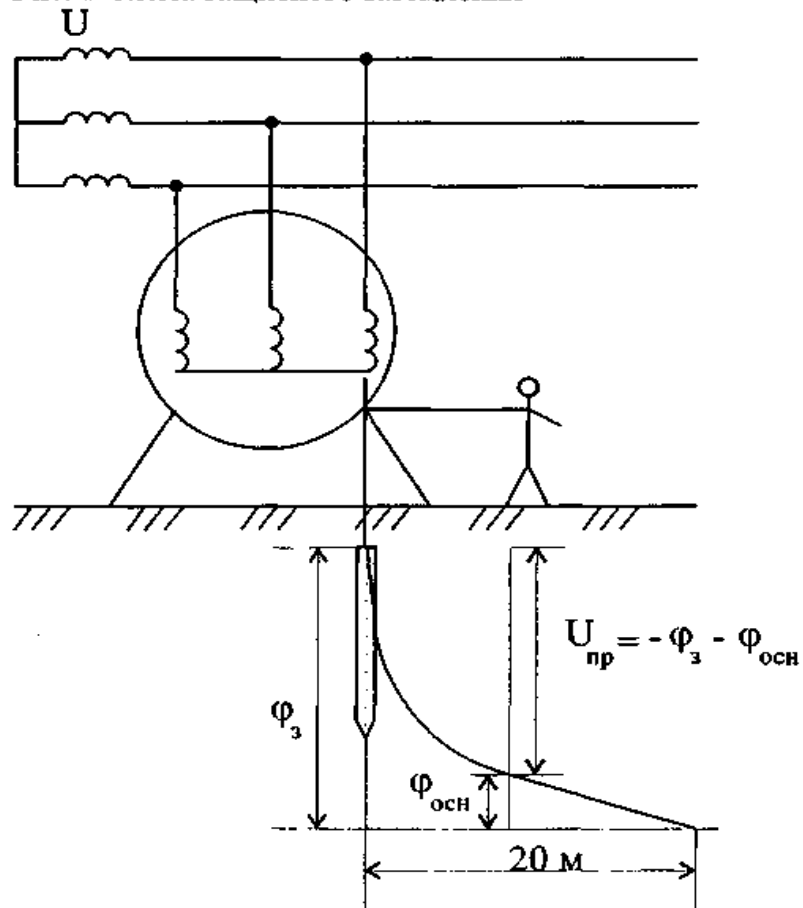


Рис. 2 Схема распределения потенциала в грунте при стекании тока с одиночного стержневого заземлителя.

R_3 ; выравнивания потенциалов $\varphi_3 \Rightarrow \varphi_{\text{осн}}$, и соответственно снижения коэффициента напряжения прикосновения α при рациональном устройстве заземлителя.

Область применения защитного заземления:

а) сети напряжением до 1000 В

- трехфазные трехпроводные переменного тока с изолированной нейтральной точкой источника тока;

- однофазные двухпроводные переменного тока, изолированные от земли;

- постоянного тока с изолированной средней точкой обмоток источника тока;

б) сети напряжением выше 1000 В переменного и постоянного тока с любым режимом нейтральной или средней точек обмоток источника тока.

Заземление металлических нетоковедущих частей оборудования обязательно по ГОСТ 12.1.030-81 и ПУЭ:

- в помещениях без повышенной опасности при напряжении ≥ 380 В переменного тока и ≥ 440 В постоянного тока.

- в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных, а также в наружных установках - при напряжении выше 42 В переменного и 110 В постоянного тока.

- во взрывоопасных зонах всех классов - независимо от напряжения..

Безопасность электроустановок зависит от конструкции заземляющего устройства. Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Заземлитель - это проводник (электрод) или совокупность соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей.

Заземлители различают естественные и искусственные. В качестве естественных заземлителей используют электропроводящие части строительных, производственных конструкций и коммуникаций, имеющих постоянную и достаточную поверхность соприкосновения с землей, проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубы (кроме трубопроводов горючих жидкостей, горючих взрывоопасных газов), обсадные трубы скважин, свинцовые оболочки кабелей,

проложенных в земле и т.д.

В качестве искусственных заземлителей применяют обычно стальные горизонтальные и вертикальные электроды. Допускается применение заземлителей из электропроводящего бетона.

В качестве вертикальных электродов используют стальные трубы диаметром 5–6 см с толщиной стенки не менее 3,5 мм, угловую сталь с толщиной полок не менее 4 мм и шириной 40–60 мм, стальные стержни диаметром не менее 6 мм (оцинкованные). Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяют полосовую сталь сечением не менее 4x12 мм и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Стержни (трубы, уголки) длиной 2,5–3 м и более забивают в грунт вертикально в специально подготовленную траншею глубиной 0,7–0,8 м и соединяют стальной полосой, которая приваривается к каждому электроду. В зданиях прокладывается магистраль заземления, которая соединяется с заземлителем в двух точках. К ней с помощью проводников подсоединяется заземляемое оборудование. Для обеспечения плотного контакта соединение всех элементов осуществляется сваркой. К корпусам оборудования допускается присоединять проводники болтами. Заземляющие проводники и магистрали заземления прокладываются в легко доступных для осмотра местах. В наружных установках корпуса оборудования присоединяются непосредственно к заземлителю. Различают выносные и контурные виды заземления.

При выносном заземлении электроды вынесены за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, $\varphi_{\text{осн}} = 0$, и человек, касаясь корпуса, находится под $U_{\text{пр}} = \varphi_z$, коэффициент напряжения прикосновения $\alpha = 1$. Защищает выносное заземление только за счет малого сопротивления заземления.

При контурном заземлении электроды размещают по контуру площадки, на которой находится заземляемое оборудование, или внутри ее. Поля растекания тока заземлителей накладываются и любая точка поверхности грунта внутри контура

приобретает значительный потенциал. Вследствие этого разность потенциалов между точками внутри контура становится ниже, $\alpha < 1$, одновременно уменьшается коэффициент напряжения шага. Следовательно, ток через человека, касающегося корпуса, меньше, чем при выносном заземлении.

Ток, проходящий через заземляющее устройство в землю преодолевает сопротивление заземлителя растеканию тока, которое складывается из трех составляющих:

- сопротивление электродов и проводников;
- переходное сопротивление между заземлителем и грунтом;
- сопротивление грунта.

Два первых сопротивления по сравнению с третьим малы, поэтому под сопротивлением заземлителя растеканию тока понимают сопротивление грунта растеканию тока, стекающего в землю с заземлителя данной формы и размеров.

Электрическое сопротивление грунта характеризуется его объемным удельным сопротивлением ρ , Ом-м, под которым понимают сопротивление куба грунта с ребром 1 м. Значение ρ колеблется в широких пределах и зависит от многих факторов: рода грунта, его влажности, температуры, степени уплотнения, наличия химических соединений, времени года (табл. 1 прил.). Удельное сопротивление грунта увеличивается с уменьшением его влажности, с уменьшением содержания в грунте растворимых кислот, оснований, солей, с уменьшением плотности грунта, с понижением температуры, причем при замерзании влаги, ρ возрастает скачкообразно. Более глубокие слои земли меньше подвергаются действию вышеперечисленных факторов и имеют более стабильное удельное сопротивление.

При проектировании заземляющих устройств необходимо в качестве расчетного брать наибольшее возможное в течение года значение ρ , т.е. ориентироваться на худшие условия. Однако, измерение ρ в наиболее неблагоприятных условиях затруднительно, поэтому измерения проводят в теплое время года (май – октябрь), и полученное значение $\rho_{\text{изм}}$ умножают на коэффициент сезонности $K_{\text{св}}$, учи-

тывающий возможное повышение сопротивления грунта вследствие изменения его влажности в течение года (табл. 2, 3), т.е.

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{изм}} K_{\text{св}}$$

Сопротивление одиночных электродов различных типов растеканию тока в грунте рассчитывается по формулам, приведенным в табл. 4.

В случае группового заземлителя при расстояниях между электродами меньше 20 м происходит взаимодействие полей растеканию тока, в результате чего увеличивается сопротивление грунта растеканию тока.

Эта зависимость характеризуется коэффициентом использования группового заземлителя (коэффициентом экранирования) – η определяемый отношением : $\eta = R/R_{\text{гр}}$, где $R_{\text{гр}}$ – действительное значение сопротивления растеканию тока группового заземлителя с учетом явления экранирования, Ом; R - наименьшее значение сопротивления растеканию тока группового заземлителя (при расстоянии между электродами более 20 м, т.е. при отсутствии экранирования).

В плохо проводящих грунтах применяют:

- а) глубинные заземлители из стержней длиной 10–12 м (при песчаных грунтах, в районах вечной мерзлоты);
- б) укладку вокруг электродов грунта с повышенной проводимостью (в скальных грунтах – горизонтальные электроды с укладкой вокруг них влажной глины);
- в) обработку почвы солью;
- г) устройство выносных заземлителей (на участках с хорошо проводящим грунтом, на дне непромерзающих рек, озёр) на расстоянии не более 2 км;
- д) заземлители рудного типа (электроды, размещенные на участке со смоченным и подсоленным грунтом, находящимся весь год в талом состоянии).

Нормирование допустимого сопротивления заземляющего устройства осуществляется по ГОСТ 12.1.030-81, ПУЭ в зависимости от величины тока замыкания, который определяется:

- видом заземляемого оборудования (стационарные электроустановки,

передвижные электроустановки, линии электропередач);

- типом электрической сети;
- величиной напряжения; удельным сопротивлением грунта.

Значения допустимых сопротивлений защитных заземляющих устройств приведены в таблице 5, 6.

Контроль заземления производится при приеме в эксплуатацию, перестановке оборудования, ремонте заземлителей и периодически в сроки, указанные в ПУЭ. Он сводится к внешнему осмотру и измерению сопротивления заземляющих устройств с целью установления соответствия его сопротивлению нормативному.

2. Измерение сопротивления заземлителей

Для измерения сопротивления заземляющего устройства используется компенсационный метод. Схема измерения показана на рис.3. Заземлитель R_z , и вспомогательный электрод R_v , соединяются между собой через первичную обмотку трансформатора Tr_1 и вторичную обмотку трансформатора Tr_2 . Питание измерительных цепей осуществляется от батареи с $U = 4,5$ В, постоянный ток которой преобразуется электронным генератором в переменный и подается на первичную обмотку Tr_2 . Вторичная обмотка трансформатора Tr_1 , и специальный калиброванный реохорд образуют замкнутую цепь. Движок реохорда через индикатор ИП соединен с потенциальным электродом R_n . При такой схеме включения, помимо основной цепи тока через землю, образуется цепь тока через реохорд. За счет перемещения движка реохорда можно изменить величину напряжения на измерительном приборе ИП. Момент компенсации наступает при таком положении подвижного контакта реохорда, при котором падение напряжения на участке реохорда до подвижного контакта равно падению напряжения на измеряемом сопротивлении. При этом ток в цепи индикатора ИП равен нулю. Реохорд имеет оцифрованную шкалу, что позволяет непосредственно определить измеряемое сопротивление. По рассмотренной схеме устроен измеритель сопротивления заземления М416, который используется при выполнении лабораторной работы. Предел измерений прибора от 0,1 до 1000

Ом. Наличие переключателя позволяет установить 4 диапазона измерения: 0,1 - 10 Ом; 0,5 - 50 Ом; 2 - 200 Ом; 10 - 1000 Ом.

3. Устройство лабораторного стенда

Лабораторная работа выполняется на стенде, на котором имитированы сопротивления потенциального $R_{п}$ и вспомогательного $R_{в}$ электродов, электрода, служащего для измерения сопротивления грунта $R_{г}$, заземляющих устройств оборудования подстанции $R_{з}$ и двух опор линии электропередачи $R_{з}''$ и $R_{з}'''$

Подключение прибора М416 при измерениях осуществляется согласно схеме на рис.4. К зажиму 3 прибора подключается потенциальный электрод $R_{п}$, к зажиму 4 – вспомогательный $R_{в}$. При грубых измерениях и измерении больших сопротивлений зажимы 1 и 2 прибора соединяются перемычкой. Затем 1 подключается к измеряемому объекту (работа по трёхзажимной схеме, рис.4). При точных измерениях зажимы 1 и 2 подключают к измеряемому объекту (четырёхзажимная схема). Это позволяет исключить погрешность, вносимую сопротивлением соединительных проводов и контактов.

4. Выполнение лабораторной работы

4.1. Проверка исправности измерителя сопротивления М 416.

Установить переключатель «Род работы» в положение «Контроль 5Ω », нажать красную кнопку и вращением ручки «Реохорд» добиться установки стрелки индикатора прибора ИП на нулевую отметку. На шкале реохорда при этом должно быть $5\pm 0,3$ Ом.

При проверке исправности между зажимами 1, 2 прибора устанавливается перемычка.

4.2. Определение удельного сопротивления грунта по методу контрольного электрода.

Подключить прибор по трёхзажимной схеме. Переключатель установить в положение «х1». Нажать красную кнопку и, вращая ручку «Реохорд», добиться

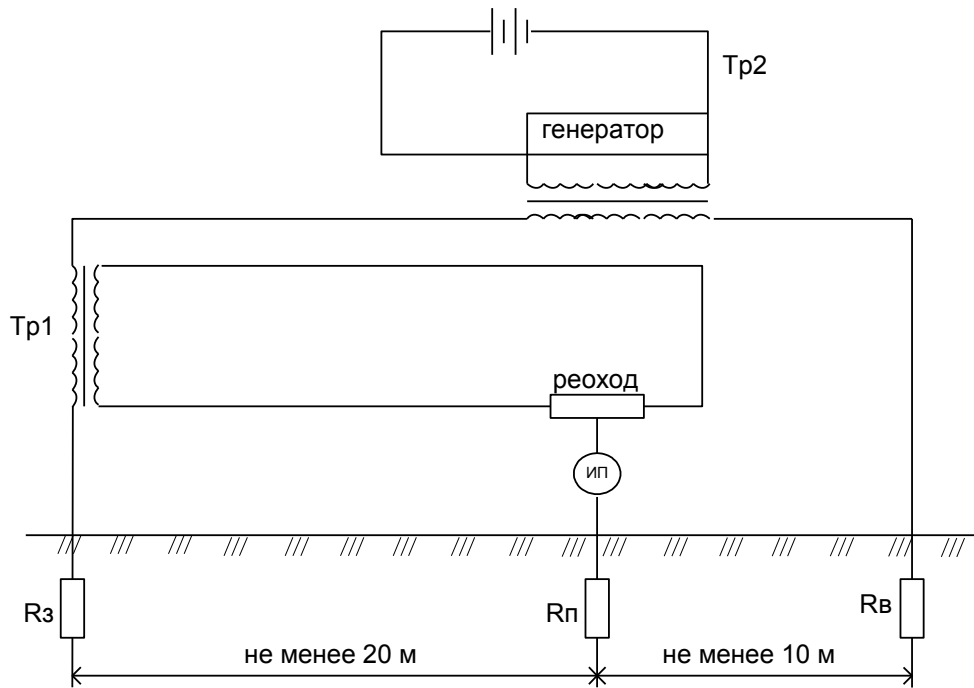


Рис. 3. Схема измерения по компенсационному методу.

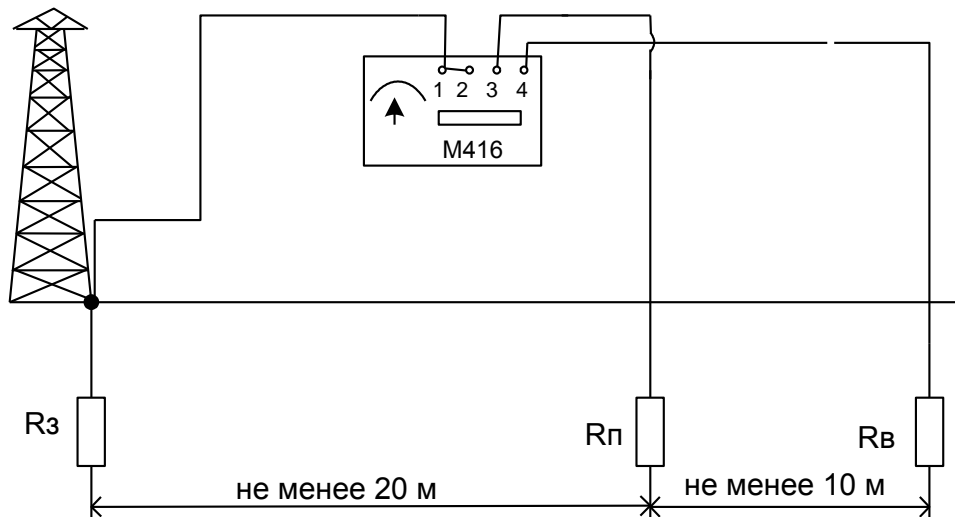


Рис. 4. Принципиальная схема соединений при измерении сопротивления заземляющего устройства по трехзажимной схеме: $R_з$ - заземление опоры; $R_п$ - потенциальный электрод (зонд); $R_в$ - вспомогательный электрод.

максимального приближения стрелки индикатора к нулю. Если измеряемое сопротивление окажется больше 10 Ом, переключатель установить в положение «x5» («x20», «x100») и повторить измерение. Результат измерения равен произведению показания шкалы реохорда на множитель 5 (20, 100). Используя значение R_x , рассчитать удельное сопротивление грунта (см. расчет защитного заземления).

4.3. Измерение сопротивления заземляющих устройств. Аналогично выполнить замеры сопротивления заземляющих устройств R_z' (или R_z'' , R_z''' согласно варианту).

4.4. Заполнить протокол замеров. Сделать вывод о соответствии защитного заземления электроустановки требованиям ПУЭ. Дать рекомендации по обеспечению электробезопасности установок.

4.5. Выполнить расчет защитного заземления. Расчет выполняется индивидуально каждым студентом. Вариант задания и исходные данные выбираются по табл.1 согласно номеру студента (или последней цифре номера) в списке группы или журнала преподавателя.

5. Расчет защитного заземления

Целью расчета является определение числа одиночных вертикальных электродов, длины горизонтальной соединительной полосы проектируемого заземлителя, обеспечивающих суммарное сопротивление заземлителя, отвечающего требованиям ПУЭ:

$$R_{з\text{ гр}} < R_{з\text{ доп.}}$$

Порядок расчета требуемого числа электродов

5.1. Используя данные замера сопротивления грунта R_x и данные табл.1 рассчитать удельное сопротивление грунта $\rho_{изм}$ и определить по табл.1 вид грунта

$$\rho_{изм} = 2,73 \cdot R_x \cdot \frac{l}{\lg \frac{4 \cdot l}{d}}, \text{ Ом} \cdot \text{ м}, \quad (1)$$

где R_x – сопротивление грунта, измеренное прибором М 416, Ом; l , d - длина и диаметр электрода, м (см. табл.1, графы 2 и 3 заданного варианта).

5.2. На основании исходных данных (табл.1) в соответствии с требованиями ПУЭ и ГОСТ 12.1.030-81 определить допустимое сопротивление растеканию тока $R_{з\text{ доп}}$ (табл. 5, 6).

5.3. Определить расчетное удельное сопротивление грунта $\rho_{в\text{ расч}}$ (наибольшее значение его в течение года с учетом изменения влажности). Для вертикальных электродов:

$$\rho_{в.\text{расч}} = \rho_{\text{изм}} \cdot K_{\text{св}}, \text{ Ом}\cdot\text{м}, \quad (2)$$

где $K_{\text{св}}$ - коэффициент сезонности, учитывающий изменение сопротивления грунта с изменением его влажности для вертикальных электродов (табл.2). Признаки климатических зон приведены в табл.3.

5.4. В соответствии с вариантом задания определить расчетное сопротивление одиночного электрода заданного профиля $R_{э}$. Расчетные формулы приведены в табл.4. В приведенных формулах: $\rho_{\text{расч}}$ - расчетное удельное сопротивление грунта Ом·м; l , d - длина и диаметр электрода, м (см. графы 7, 8 в табл.1); t – глубина заложения заземлителя, м; b – ширина полки уголка или горизонтальной полосы, м.

$$t = t_0 + \frac{l}{2}, \quad (3)$$

где t_0 – толщина слоя грунта над электродами, м ($t_0 = 0,5-0,8$ м);

l – длина электрода, м.

5.5. Методом последовательных приближений определить число вертикальных электродов по формуле:

$$n_{в} = \frac{R_{э}}{\eta_{в} \cdot R_{з\text{ доп}}}, \quad (4)$$

где $\eta_{в}$ – коэффициент использования вертикальных электродов (табл. 7).

Так как значение $\eta_{в}$, зависит от числа одиночных электродов, которое неизвестно, расчет ведется в нижеприведенной последовательности:

- принять $\eta_{в} = 1$ и рассчитать $n_{в}$ без учета явления экранирования по формуле (4);
- выбрать схему размещения электродов (в ряд или по контуру при $n > 3$);
- для найденного $n_{в}$ по табл. 7 с учетом схемы размещения электродов и

расстояния a между ними (табл. 1) определить соответствующее значение η_B и т.д. до получения разницы между последними числами электродов меньше 1. Округлить полученное значение до ближайшего большего целого числа и определить по табл. 7 окончательное значение η_B .

Например: $R_3 = 44,6 \text{ Ом}$, $R_{3\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$,

$$n_g' = \frac{R_3}{R_{3\text{доп}}} = \frac{44,6}{4} \approx 11.$$

Для $n_B = 11$ и $\alpha/l = 4.5/3 = 1.5$ по табл. 7 методом интерполяции определяем $\eta_B = 0,6$.

Уточняем число электродов:

$$n_g'' = \frac{R_3}{R_{3\text{доп}} \cdot \eta_B} = \frac{44,6}{4 \times 0,6} \approx 19,$$

$n_B = 19$ соответствует $\eta_B = 0,56$. Подставив $\eta_B = 0,56$ в формулу (4), получим

$$n_g'' = \frac{44,6}{4 \times 0,56} \approx 19,9.$$

Округлив, имеем окончательное значение $n_B = 20$ электродам и соответствующий ему коэффициент использования $\eta_B = 0,55$, который необходим для расчета суммарного сопротивления заземлителя из вертикальных электродов $R_{св}$ (формула 10) и общего сопротивления группового заземлителя $R_{згр}$ (формула 12).

5.6. Определить длину горизонтальной соединительной полосы $l_Г$. Для электродов, расположенных по контуру:

$$l_2 = 1,05 \cdot \alpha \cdot n_g, \text{ м}, \quad (5)$$

Для электродов, расположенных в ряд;

$$l_2 = 1,05 \cdot \alpha \cdot (n_g - 1), \text{ м}, \quad (6)$$

где α - расстояние между электродами, м; n_g - число вертикальных электродов.

5.7. Определить расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтальной соединительной полосы:

$$\rho_{гр\text{расч}} = K_{сз} \cdot \rho_{изм}, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (7)$$

где $K_{сз}$ - коэффициент сезонности для однородной земли при использовании горизонтальных заземлителей (табл. 2).

5.8. Вычислить сопротивление растеканию тока горизонтальной полосы R_z без учета коэффициента использования.

$$R_z = 0,366 \frac{\rho_{\text{зрас}}}{l_z} \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b_1 \cdot t_z}, \text{ Ом}, \quad (8)$$

где b_1 – ширина полосы, м; t_z – глубина заложения полосы, м.

$$t_z = t_0 + \frac{b_1}{2}, \text{ м}. \quad (9)$$

5.9. Определить коэффициент использования горизонтальной полосы η_z (табл. 8), так как при групповом заземлителе наряду с взаимозащитой вертикальных электродов возникает экранирование между горизонтальной соединительной полосой и вертикальными электродами.

5.10. Рассчитать суммарное сопротивление заземлителя из вертикальных электродов $R_{cв}$ и общее сопротивление полосы $R_{cз}$, Ом.

$$R_{cв} = \frac{R_z}{n_b \cdot \eta_b} \quad (10)$$

$$R_{cз} = \frac{R_z}{\eta_z} \quad (11)$$

5.11. Определить общее сопротивление группового заземлителя $R_{з гр}$, Ом;

$$R_{з гр} = \frac{R_{cв} \cdot R_{cз}}{R_{cв} + R_{cз}} = \frac{R_z \cdot R_z}{R_z \cdot \eta_z + n_b \cdot \eta_b \cdot R_z} \quad (12)$$

Если число вертикальных электродов и длина соединительной полосы определены правильно (и нет ошибки в выборе коэффициентов), сопротивление группового заземлителя должно быть меньше допустимого по ПУЭ $R_{з гр} \leq R_{з доп}$. При $R_{з гр} > R_{з доп}$ расчет повторяют, увеличив число электродов. Нежелательны также большие отклонения $R_{з гр}$ от $R_{з доп}$ в сторону меньших значений, так как в этом случае будет завышено число электродов, что неэкономично, связано с перерасходом материалов и увеличением объема работ по устройству заземления.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение и приведите схему защитного заземления.

2. Принцип действия защитного заземления.
3. Область применения защитного заземления.
4. Назовите минимальные напряжения, при которых обязательно заземление оборудования в помещениях различных классов опасности.
5. Дайте определение заземлителя и заземляющего устройства.
6. Типы заземлителей.
7. Требования к выполнению заземляющих устройств.
8. Способы размещения электродов в заземлителе.
9. Виды заземления.
10. Удельное сопротивление грунта и факторы, определяющие его величину.
11. Коэффициент сезонности и его выбор.
12. Устройство заземления в плохо проводящих грунтах.
13. Компенсационный метод измерения сопротивления заземляющего устройства.
14. Порядок работы с прибором М 416.
15. Коэффициент использования вертикальных электродов, его выбор.
16. Факторы, определяющие сопротивление одиночного электрода заземляющего устройства.
17. Нормирование допустимого сопротивления заземляющего устройства.
18. Общий порядок расчета защитного заземления.
19. Расчет числа вертикальных электродов.

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок. -М.: КНОРУС, 2008.-488 с
2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1984.- 448с.
3. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 824

Протокол оформления лабораторной работы

1. Цель работы
2. Схема измерений (рис. 4)

3. Исходные данные:

- для определения удельного сопротивления грунта

$$l = \text{--- м}; d = \text{--- м};$$

- для расчета заземления

тип электрода _____

$$l = \text{--- м}; d = \text{--- м}; b = \text{--- м}; t_b = \text{--- м}; \alpha = \text{--- м}; t_0 = \text{--- м};$$

$$k_{св} = \text{--- м}; \eta_b = \text{--- м}; t_t = \text{--- м}; k_{ст} = \text{--- м}; \eta_r = \text{--- м}; b_1 = \underline{0,04 \text{ м}};$$

город _____; заземляемое оборудование _____; напряжение (U) = _____ В;

4. Протокол измерений и расчетов

Измеряемые величины		R _{з тр.} по ПУЭ, Ом	Расчетные величины									
R _{х.} Ом	Фактическое значение R' _з (R'' _з , R''' _з), Ом		·М и хар-р грунта	ρ _{в расч.} Ом·м	ρ _{г расч.} Ом·м	R _{з.} Ом	η _{в.} м	l, м	R _{г.} Ом	R _{св.} Ом	R _{ст.} Ом	R _{з тр.} Ом

5. Выводы по работе:

- Сравнить фактическое и требуемое сопротивление заземляющего устройства R'_з и R_{з тр.};
- Указать мероприятия по обеспечению безопасности работы установки.

Таблица 1

Варианты заданий

№ варианта	Размеры стержневого электрода для расчета удельного сопротивления грунта, м		Заземляемое оборудование	Напряжение, В	Характеристика заземлителя				Место и условия проведения замеров	
	l	d			Тип электрода	Размеры электрода, м		Расстояние между электродами, α, м		t, м
						l	d(b)			
1	1,5	0,01	э/установка P = 120 кВА	>1000	труба	3	0,05	6	0,5	Омск, после сильного дождя
2	1,8	0,009	1 опора ЛЭП	>1000	стержень	5	0,03	5	0,6	Хабаровск, сухо
3	2,0	0,008	2 опора ЛЭП	660	труба	3	0,06	9	0,5	Курск, после не-большого дождя
4	2,5	0,007	э/установка P = 90 кВА	>1000	уголок	5	0,05	10	0,7	Благовещенск, после сильных дождей
5	2,8	0,007	1 опора ЛЭП	>1000	стержень	2,5	0,04	2,5	0,8	Краснодар, сухо
6	3,0	0,008	э/установка P = 150 кВА	380	уголок	3	0,06	6	0,6	Новгород, после сильных дождей
7	1,75	0,09	э/установка передвижная	660	труба	4	0,05	15	0,7	Москва, после сильных дождей
8	2,0	0,015	1 опора ЛЭП	>1000	уголок	3	0,04	5	0,6	Белгород, сухо
9	2,25	0,006	э/установка P = 110 кВА	660	стержень	5	0,05	9	0,7	Оха, после не-большого дождя
10	1,5	0,011	э/установка Передвижная	>1000	Труба	5	0,04	10	0,8	Томск, после сильного дождя

Продолжение таблицы 1. Варианты заданий

№ варианта	Размеры стержневого электрода для расчета удельного сопротивления грунта, м		Заземляемое оборудование	Напряжение, В	Характеристика заземлителя				Место и условия проведения замеров	
	l	d			Тип электрода	Размеры электрода, м		Расстояние между электродами, α, м		t, м
						l	d(b)			
11	1,5	0,01	1 опора ЛЭП	380	труба	5	0,03	6	0,5	Челябинск, сухо
12	1,8	0,009	2 опоры ЛЭП	>1000	стержень	3	0,06	5	0,6	Сочи, после сильного дождя
13	2,75	0,008	э/установка P = 90 кВА	>1000	труба	5	0,05	9	0,5	Красноярск, сухо
14	2,5	0,006	2 опоры ЛЭП	660	уголок	2,5	0,04	10	0,7	Чита, после большого дождя
15	2,8	0,007	э/установка P = 200 кВА	>1000	стержень	3	0,03	2,5	0,8	Пермь, после сильных дождей
16	3,0	0,008	1 опора ЛЭП	>1000	уголок	5	0,05	7	0,6	Магадан, сухо
17	2,0	0,009	э/установка P = 150 кВА	380	труба	4	0,04	5	0,7	Грозный, после сильных дождей
18	1,8	0,008	1 опора ЛЭП	>1000	труба	2,5	0,06	9	0,5	Пенза, после большого дождя
19	2,5	0,012	э/установка P = 120 кВА	660	стержень	3	0,06	10	0,7	Охотск, после сильного дождя
20	3,0	0,007	2 опоры ЛЭП	>1000	стержень	2,5	0,03	2,5	0,7	Владикавказ, сухо

Продолжение таблицы 1. Варианты заданий

№ варианта	Размеры стержневого электрода для расчета удельного сопротивления грунта, м		Заземляемое оборудование	Напряжение, В	Характеристика заземлителя				Место и условия проведения замеров	
	l	d			уголок	Размеры электрода, м		Расстояние между тродами, α, м		t, м
						l	d(b)			
21	2,25	0,008	э/установка Р = 90 кВА	380	стержень	3,5	0,06	2,5	0,8	Амурск, после сильных дождей
22	1,8	0,009	1 опора ЛЭП	>1000	уголок	5	0,05	5	0,5	Архангельск, сухо
23	1,5	0,006	э/установка передвижная	>1000	труба	2,5	0,03	15	0,7	Казань, после небольшого дождя
24	2,8	0,009	2 опора ЛЭП	660	труба	5	0,04	7	0,5	Иркутск, после сильных дождей
25	1,5	0,011	1 опора ЛЭП	>1000	стержень	3	0,03	10	0,6	Тамбов, после небольших дождей
26	3,0	0,008	э/установка передвижная	>1000	уголок	5	0,05	5	0,8	Мурманск, после сильного дождя
27	2,0	0,009	э/установка Р = 150 кВА	380	труба	4	0,04	10	0,7	Якутск, после сильных дождей
28	1,8	0,008	1 опора ЛЭП	>1000	труба	2,5	0,03	7	0,6	Астрахань, после небольшого дождя
29	2,5	0,012	э/установка Р = 120 кВА	660	стержень	3	0,06	2,5	0,8	Вологда, после сильного дождя
30	3,0	0,007	2 опора ЛЭП	>1000	уголок	2,5	0,04	5	0,7	Екатеринбург, сухо

Примечание: ширина полосу связи $b_1 = 0,04$ м

Приложение

Таблица 1

Приближенные значения удельных сопротивлений грунта

Вид грунта	Удельное сопротивление, Ом·м	
	пределы колебаний	при влажности 10-12% к массе грунта
Песок	400 - 700	700
Супесь	150-400	300
Суглинок	40-150	100
Глина	8-70	40
Чернозем	9-53	20
Каменистый грунт	500-800	—

Таблица 2

Значения коэффициентов сезонности K_c для однородной земли

Климатическая зона	Коэффициент сезонности для однородной земли при влажности		
	повышенной	нормальной	малой
	Вертикальный электрод длиной 3м		
1	1.9	1.7	1.5
2	1.7	1.5	1.3
3	1.5	1.3	1.2
4	1.3	1.1	1.0
	Вертикальный электрод длиной 5м		
1	1.5	1.4	1.3
2	1.4	1.3	1.2
3	1.3	1.2	1.1
4	1.2	1.1	1.0
	Горизонтальный электрод длиной 10м		
1	9.3	5.5	4.1
2	5.9	3.5	2.6
3	4.2	2.5	2.0
4	2.5	1.5	1.1
	Горизонтальный электрод длиной 50м		
1	7.2	4.5	3.6
2	4.8	3.0	2.4
3	3.2	2.0	1.6
4	2.2	1.4	1.12

Примечание. Земля считается повышенной влажности, если измерению ее сопротивления предшествовало выпадение большого количества (свыше нормы) осадков; нормальной (средней) влажности, если измерению предшествовало выпадение небольшого количества (близкого к норме) осадков; малой влажности, если земля сухая, количество осадков в предшествующий период ниже нормы.

Признаки климатических зон для определения коэффициента сезонности

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны			
	1	2	3	4
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	-20 – -15	-14 – -10	-10 – 0	0 – +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	+16 – +18	+18 – +22	+22 – +24	+24 – +26
Среднегодовое количество осадков, см	40	50	50	30 – 50
Продолжительность замерзания вод, дни	190 – 170	150	100	0

Примечание. Характеристики климатических зон выбираются по СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».

Примерное распределение субъектов РФ по климатическим зонам:

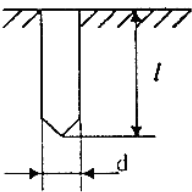
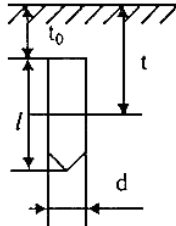
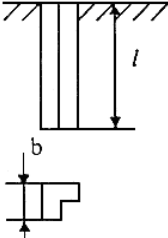
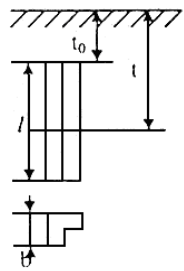
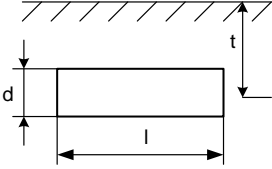
1 зона: Челябинская, Курганская, Свердловская, Тюменская, Омская, Томская, Кемеровская, Новосибирская, Иркутская Амурская, Сахалинская, Магаданская и Еврейская авт. области, Хабаровский, Камчатский, Приморский, Забайкальский, Красноярский, Алтайский края, Чукотский авт. округ, Республики Саха (Якутия), Бурятия, Тыва, Алтай, Хакасия;

2 зона: Московская, Тверская, Ярославская, Костромская, Ивановская, Владимирская, Рязанская, Тульская, Тамбовская, Липецкая, Орловская, Калужская, Ленинградская, Вологодская, Архангельская, Мурманская, Кировская, Нижегородская, Пензенская, Саратовская, Самарская, Оренбургская области, Республики Карелия, Коми, Татарстан, Башкортостан, Удмуртия, Марий Эл и Чувашия, Пермский край;

3 зона: Псковская, Новгородская, Смоленская, Брянская, Курская, Белгородская, Воронежская и Ростовская области;

4 зона: Астраханская область, Краснодарский и Ставропольский края, Республики Адыгея, Карачаево-Черкесская, Кабардино-Балкарская, Северная Осетия – Алания, Ингушетия, Чеченская, Дагестан., Калмыкия.

Формулы для вычисления сопротивления одиночных электродов растеканию

Тип электрода	Схема забивки	Формула	Условия применения
1. Труба или стержень у поверхности земли		$R_{\dot{\gamma}} = 0,366 \frac{\rho_{\dot{a}} \dot{a} \dot{a} \dot{n}}{l} \cdot \lg \frac{4l}{d}$	$l \gg d$
2. Труба или стержень, забитый на глубину		$R_{\mathcal{O}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{в рас}}}{l} \cdot \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$	$l \gg d$
3. Угловой стержень у поверхности земли		$R_{\mathcal{O}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{в рас}}}{l} \cdot \lg \frac{4l}{0,95b}$	$l \gg d$
4. Угловой стержень, забитый на глубину		$R_{\mathcal{O}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{в рас}}}{l} \cdot \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$	$l \gg d$ $t_0 \geq 0,5m$
5. Протяжённый на поверхности земли (полоса, стержень) или на глубине		$R_{\mathcal{O}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{в рас}}}{l} \cdot \lg \frac{l^2}{dt}$ или $R_{\mathcal{O}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{в рас}}}{l} \cdot \lg \frac{l^2}{0,5bt}$	$l \gg d$ $l \gg 4t$ для полосы шириной b $d = 0,5b$

**Наибольшие допустимые сопротивления защитных заземляющих устройств
в электроустановках (по ПУЭ)**

Характеристика установок	Наибольшее допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом
<p>Электроустановки напряжением выше 1000 В 1. Защитные заземляющие устройства электроустановок сети с эффективно заземленной нейтралью (включая сопротивление естественных заземлителей)</p>	0,5
<p>2. Защитные заземляющие устройства электроустановок сети с изолированной нейтралью: а) если заземляющее устройство одновременно используется для электроустановок до 1000 В б) если заземляющее устройство используется только для электроустановки напряжением выше 1000 В</p>	<p>125/I₃ (I - расчетный ток замыкания на землю, А), при этом должно выполняться требование п.3 табл.5 250/I₃, но не более 10</p>
<p>Электроустановки напряжением до 1000 В 3. Защитные заземляющие устройства электроустановок сети с изолированной нейтралью при мощности генератора или трансформатора до 100 кВ А более 100 кВ А</p>	<p>10 4</p>
<p>Передвижные электроустановки Защитные заземляющие устройства передвижных электроустановок</p>	25

Таблица б

Наибольшие допустимые сопротивления заземляющих устройств
опор линий электропередачи (по ПУЭ)

Характеристика заземляющих устройств	Наибольшее допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом
Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 000 В	
1. Заземляющие устройства опор с устройствами защиты, железобетонных и металлических ВЛ 3-35 кВ в зависимости от удельного эквивалентного сопротивления земли ρ, Ом-м	
до 100	10
более 100 до 500	15
более 500 до 1000	20
более 1000 до 5000	30
более 5000	$6 \cdot 10^{-6} \rho$
2. Заземляющие устройства железобетонных и металлических опор ВЛ 3-20 кВ в ненаселенной местности в грунтах с удельным сопротивлением	
до 100	30
более 100	0.3ρ
Воздушные линии электропередачи на-	
3. Заземляющие устройства крюков и штырей фазных проводов в сетях с изолированной нейтралью, устанавливаемых на железобетонных опорах и арматурах этих опор	
	30

Таблица 7

Коэффициенты использования ρ_v вертикальных электродов группового заземлителя (труб, уголков и т.п.) без учета влияния полосы связи

Число электродов	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	Электроды размещены в ряд			Электроды размещены по контуру		
2	0,85	0,91	0,94			
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,72
40				0,41	0,58	0,66
60				0,39	0,55	0,64
100				0,36	0,52	0,62

Таблица 8

Коэффициенты использования горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды (трубы, уголки) группового заземлителя

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
	Вертикальные электроды размещены в ряд							
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42			
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56			
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,69			
	Вертикальные электроды размещены по контуру							
1		0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2		0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3		0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Оглавление

Общие сведения	3
Измерения сопротивления заземлителей	9
Устройство лабораторного стенда	10
Выполнение лабораторной работы.....	10
Расчёт защитного заземления	12
Контрольные вопросы	15
Библиографический список	16
Приложение	21

КОНТРОЛЬ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Методическое указание к лабораторной работе для студентов всех специальностей

Людмила Фёдоровна Юрасова

Людмила Петровна Майорова

Тамара Васильевна Тупицина

Главный редактор *Л. А. Суевалова*

Редактор *Л. С. Бакаева*

Подписано в печать Формат 60x84 1/16.

Бумага писчая. Гарнитура «Таймс». Печать цифровая.

Усл. печ. 1,63. Тираж 300 экз. Заказ

Издательство Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Отдел оперативной полиграфии издательства

Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.