

**Солнцев Григорий Егорович**

канд. техн. наук, доцент

Якутский институт водного транспорта (филиал)

ФГОУ ВО «Новосибирская государственная

академия водного транспорта»

г. Якутск, Республика Саха (Якутия)

## **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ В РЕГИОНАХ СЕВЕРА**

*Аннотация:* в работе рассмотрена проблема снижения сопротивления растекания тока заземляющих устройств в условиях холодного климата и многолетнемерзлых грунтов, а также его стабилизация, включая исследования распространения мерзлых грунтов, их состав, особенностей и характеристик. Важнейшей задачей энергетики является обеспечения безопасности людей от удара тока, безаварийная работа электрических систем. На этапе проектирования заземляющих устройств рассмотрены основные условия для решения поставленной задачи. Перечислены способы снижения сопротивления, заземления, выделены недостатки этих способов.

*Ключевые слова:* заземляющие устройства, многолетнемерзлые грунты, снижение сопротивления заземления, обработка грунта, вынос заземлителей, глубинные заземлители.

Холодный климат, удельное электрическое сопротивление, ледяное включение, вода, температура, ток, многолетнемерзлый грунт.

При эксплуатации электрооборудования его необходимо соединять с землей через заземляющее устройство, называемое заземлением, которое бывает трех видов [13].

Защитное заземление – для защиты человека от поражения током при соприкосновении с металлическими частями электрооборудования, которое оказалось под напряжением из-за повреждения изоляции. Обязательно заземляют корпуса электрических машин, трансформаторов, щитов, пультов, шкафов.

Рабочее заземление – предназначенное для создания нормальных условий работы аппарата или электроустановки к рабочему заземлению относится заземление нейтральных трансформаторов, генераторов, дугогасительных аппаратов.

Грозозащитное заземление – для защиты оборудования от повреждения ударом молнии с помощью разрядников искровых промежутков стержневых и тросовых промежутков молниеотводов.

Обычно для выполнения трех типов заземлений используют одно заземляющее устройство, которое состоит из заземлителя (представляющего соединенных между собой проводников, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно через проводящую среду) и заземляющего проводника соединяющую заземляемую часть оборудования с заземлителем.

Сооружение заземлений в районах Крайнего Севера осложняется проблемой снижения сопротивлению растекания тока заземляющих устройств в условиях холодного климата и многолетнемерзких грунтов, и строительство крупных энергетических предприятий из строительных соображений на скальных плато, мощность которых нередко достигает 400м., а мощность верхних наносных отложений всего 1–20м. В этих условиях приходится строить сложную заземляющую сеть. Это в свою очередь в соответствии с требованием «Правил устройств электроустановок» обуславливает высокие затраты на сооружение заземляющих устройств подстанций, составляющие 30–35% сметной стоимостью [7].

Снижение финансовых затрат за счет эффективных конструкций заземлителей и методов их внедрений является важнейшей и актуальной задачей.

Вопросы порастекания тока в заземляющих устройствах и безопасных значений напряжений и шага на территории подстанции принимается полная величина тока короткого замыкания, протекающий через подстанционный заземлитель [5].

Многолетнемерзлые грунты – представляют собой многокомпетентную систему и по агрегатному состоянию характеризуются твердой жидкой и газообразными фазами. В отличии от теплых грунтов являются анизотропными. Вели-

чины коэффициента анизотропии обусловлена различным характером изменения электрического сопротивления мерзлых пород. Однородная мерзлая порода также электрически анизотропная. По данным [11] для супесчаных и глинистых грунтов при температуре  $-2 \dots -9^\circ$  – коэффициент анизотропности составляет 1,4–1,9.

Твердая фаза включает в себя состав многолетнемерзлых грунтов, состоящих из минеральных и органоминеральных образований, оказывающих существенное влияние на электрические свойства мерзлых грунтов и лед, основная составляющая многолетнемерзлых грунтов.

Жидкая фаза представлена незамерзающей водой, которая определяет многие свойства и характер физико-химических процессов. Одним из важнейших факторов, определяющим количество незамерзающей воды является температура. На рис. 1 приведены кривые зависимости изменения количества незамерзающей воды в зависимости от температуры для типичных грунтов [14].

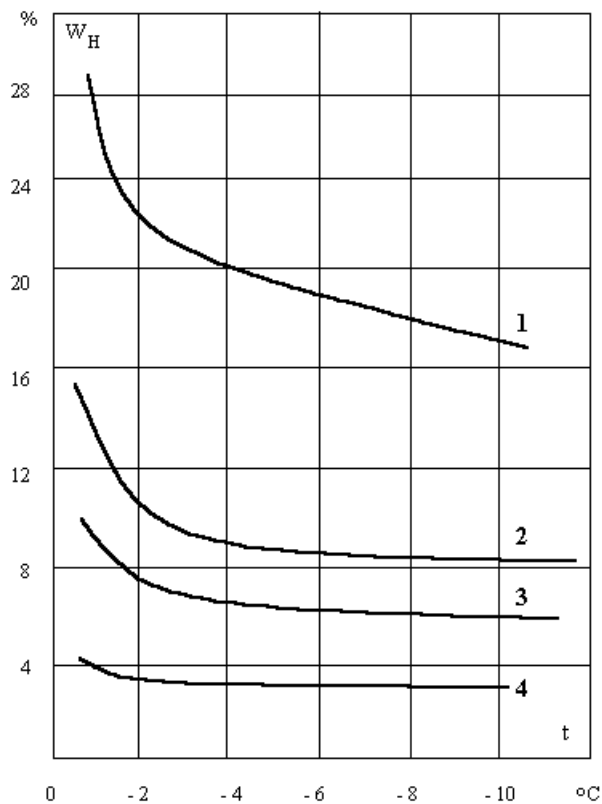


Рис. 1- Количество незамерзшей воды в типичных грунтах в зависимости от температуры: 1 – глина; 2 – суглинок; 3 – супесь; 4 – кварцевый песок

Газообразная фаза представлена водяными парами и воздухом, ее содержание в многолетнемерзлых грунтах естественного вложения не превышает 4–7% в объемном соотношении [14].

Многолетнемерзлые грунты имеют ионную проводимость. Основным компонентом является незамерзшая вода, количество которой определяется температурой, минералогическим составом и составом ионных катионов, дисперсностью многолетнемерзлых грунтов [14].

Один из основоположников науки мерзлотоведения Н.А. Цытович определял, что грунты мерзлые, если они имеют нулевую или отрицательную температуру и содержат в своем составе лед [12].

Грунты считаются многолетнемерзлыми, если они находятся в мерзлом состоянии в продолжении многих лет. В Якутии величина изменения удельного электрического сопротивления в отдельных районах различна.

На Северо-востоке изменяется в пределах от 35 кОм.м. до 150 кОм.м. В Южной Якутии от одного кОм. м. до нескольких десятков кОм.м. поэтому при проектировании заземляющих устройств в отдельных районах необходимы неоднократные измерения удельного электрического сопротивления земли с использованием современных методов.

Для определения удельного электрического сопротивления грунтов и водоемов используют различные методы:

метод контрольного электрода, импедансного зондирования, метод вертикального электрического зондирования и др.

Наиболее совершенным методом исследования участков земли с неоднородной электрической структурой как на поверхности земли так и на больших глубинах является метод вертикального электрического зондирования [10].

При проектировании заземляющего устройства необходимо учитывать, что условия, определяющие решение поставленной задачи не могут быть изменены по желанию. К ним относятся [6]:

– значение тока замыкания на землю, точнее, тока на который должен быть рассчитан заземлитель;

– размеры площади, на который должен быть размещен заземлитель и параметры земли;

– продолжительность прохождения тока через заземлитель или время отключения поврежденного участка системы.

Также необходимо придерживаться параметров обеспечения безопасности прикосновения к заземленным предметам [9]:

– использование всех способов возможного уменьшения сопротивления заземлителя;

– выравнивание потенциала на поверхности земли с целью уменьшения напряжения прикосновения при заданном потенциале заземлителя;

– искусственное увеличение удельного сопротивления верхнего слоя земли в наружных устройствах.

Перечисленные пункты при проектировании учитывают меры безопасности и требования экономической целесообразности.

Для снижения сопротивления заземлителей в в многолетнемерзлых грунтах имеющих удельное электрическое сопротивление от 50 до 10 000 Ом.м. обычно рекомендуют следующие способы [8], применение глубинных заземлителей; специальная обработка грунта; устройство заземлителей в деятельном слое; вынос заземлителей в подозерный или подрусловый талик.

Глубинные заземлители в условиях многолетней мерзлоты для достижения требуемых значений сопротивления заземления бурится скважина на глубину до сотен метров, что требует больших затрат. Затем в скважину опускается электрод-стальная полоса с грузом, а сама скважина заполняется угольной фракцией или смесью тонкодисперсной земли с 10–15% поваренной соли.

Проблема этого способа состоит в том, что в условиях многолетней мерзлоты плохопроводящие мерзлые породы простираются на большую глубину и

для достижения низкого значения сопротивления заземления погружают заземлитель на большую глубину за счет увеличения его длины, либо с выходом на подмерзлотный горизонт талых горных пород [6].

Специальная обработка грунта проводится одним из четырех методов: насыщение грунта легкорастворимыми солями; обработка электродов мелкодисперсным каменным углем; замена части грунта материалом с повышенной проводимостью; введение в грунт слабо-растворимых в воде соединений.

Обработка грунта легкорастворимыми солями понижает температуру замерзания и тем самым уменьшает коэффициент изменения сопротивления заземления.

Легкорастворимые соли, также как хлористый кальций, хлористый магний, поваренная соль и др. вводятся в грунт либо в виде концентрированного раствора, либо в твердом виде и начинают, проникая в почву образовывать тальковую зону. На концентрацию соледержания в обрабатываемой зоне оказывают мигрирующие грунтовые воды. Поэтому обработка проводится в нижней части заземлителей, то есть ниже границы деятельного слоя.

Проведенные многолетние исследования [15] показали, что такой способ снижает сопротивление контура заземления в 1,7–2 раза в течение первого года обработки по сравнению с необработанным контуром, затем сопротивление вновь начинает возрастать. В конце второго наблюдения сопротивление обработанных солью заземлителей увеличилось в 1,4 раза по отношению к результатам первого года, по истечении четырех лет – в 1,7 раза. Это объясняется тем, что при миграции раствора таликовая зона, увеличивается в объеме и концентрация раствора на периферии талой зоны понижается.

Участки с низкой концентрацией соли промерзают, уменьшается объем талика и увеличивается сопротивление заземлителей. Мигрирующая грунтовая влага способствует снижению концентрации раствора и талой зоны, ежегодно увеличивается удельное сопротивление грунта. Кроме того, на общий рост сопротивления обрабатываемых заземлителей оказывает влияние коррозия металла, обусловленная агрессивностью хлористого натрия.

Коррозионный слой дополнительно повышает переходное сопротивление и снижает ежегодно на 0,5 мм. толщину заземлителей. Следовательно, при солевой обработке снижается долговечность заземлителей.

Устройства заземлителей в деятельном слое.

В летний период происходит оттаивание поверхностного слоя многолетне-мерзлых грунтов на 0,5 ÷ 5 м. проводится заглубление в слой коротких вертикальных стержней или горизонтальных стальных полос. Сравнительно хорошая электропроводность талых грунтов позволяет обеспечить надежное заземление в летне-осенний период. Недостаток нахождения в деятельном слое заземления заключаются в том, что при замерзании слоя зимой сопротивления заземлителя возрастает и сохраняется высоким до оттаивания грунта до летнего периода. С полным промерзанием слоя, ведущим к значительному увеличению сопротивления заземлителя создается угроза поражения током.

Вынос заземлителей в подозерный или подрусловый талик.

Надежным способом выполнения заземлителя является вынос заземлителя на непромерзающее дно озера реки [15] в зоне многолетней мерзлоты – вынос заземлителя подрусловой или подозерный талик.

Выносные заземления рекомендуется устраивать в водных участках имеющих площадь 0,28 м<sup>2</sup> и глубину 2 м заземляющие проводники следует располагать выше уровня дна, например, на сваях или стенках причала и т. п. Для заземления, использующего морское побережье, необходимо учитывать коррозию металла: при периодическом смачивании – 0,5 мм в год, под водой 0,1 мм/год. Части полос проводников, входящих в воду, следует покрывать асфальтобитумным покрытием.

В качестве контура заземления, выносимого в незамерзающий водоем используют сетку из проводников либо плоскую конструкцию в виде гребенки. Выносной контур эффективен в круглогодичной работе заземлений. Для подстанции 35,110 кв выносные устройства заземляющих устройств располагаются на расстоянии 5–6 км.

Недостаток выносных заземлителей – в ограниченных возможностях их выполнения обусловленных тем, что непромерзающие водоемы имеют ограниченное распространение.

Анализ электрофизических свойств земли и исследования особенности протекания токов в многолетнемерзлых грунтах показывают, что при технико-экономическом решении рассматриваемой проблемы целесообразно учитывать, как облегчающие факторы, высокие удельные сопротивления верхних слоев земли.

Метод заложения заземлителя в тонкий высокопроводящий слой в многолетнемерзлых грунтах

Метод выполнения заземления, используя в качестве среды для заложения заземлителя, тонкий высокопроводящий слой в многолетнемерзлом грунте, который сохраняет достаточно высокую проводимость круглогодично. Под тонким проводящим слоем понимается слой легких пылеватых суглинков или водоносных горных пород, имеющих удельное электрическое сопротивление в пределах от 10 до 100 Ом.м., толщину 0,1–5 м. и находящихся на глубине от 1 до 20 м [1].

Данный метод используют, когда вынос заземлителя в подрусловой или подозерный талик экономически не оправдан.

Обнаружение тонкого проводящего на площадке заземляемого объекта, определение его параметров (глубина залегания, толщина и проводимость слоя) можно провести в любое время года по результатам высокочастотных электромагнитных зондирований с поверхности грунта. В качестве заземлителя используют плоскостной электрод в виде пластины или диска погружаемый в слой [2].

Заземляющие устройства в деятельном слое грунта в комплексе с электродами нагревателями коаксиальной конструкции.

Принцип построения заземляющего устройства вмещенного в деятельный слой в комплексе с электроподогревом в виде электродов – нагревателей коаксиальной конструкции представлен на рис 2 [4].

Здесь показано размещение в деятельном слое 7 устройства заземления 5, гальванически связанного проводником 6 с проводником 2 коаксиального электрода-нагревателя 1 (таликовая зона 9 заштрихована). Коаксиальный электрод-



нагреватель *1* представляет собой два цилиндрических проводника, соединенных последовательно так, что изолированный цилиндрический проводник *3* по всей длине находится соосно внутри неизолированного цилиндрического проводника *2*, образуя цилиндрический бифиляр. При подключении к электроду напряжения от ИП и наличии незначительного изоляционного промежутка *4* между смежными цилиндрическими поверхностями в проводниках протекают встречно направленные токи. При этом токи протекают, в основном, по обращенным друг к другу цилиндрическим поверхностям массивных проводников, проникая на незначительную (несколько микрон) глубину проводников и разогревая их.

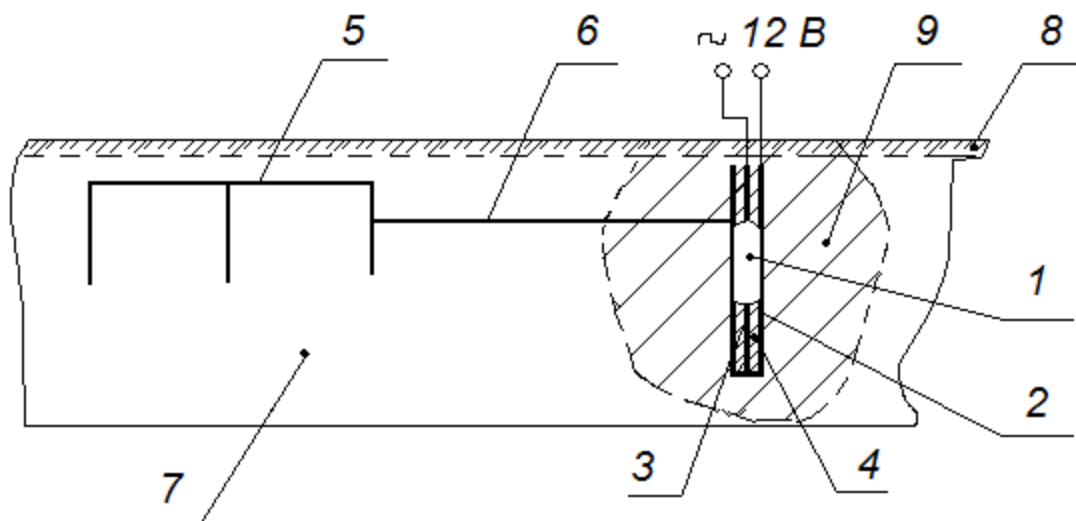


Рисунок 2- Заземляющее устройство в комплексе с электродом-нагревателем коаксиальной конструкции: 1 – коаксиальный (бифилярный) электрод-нагреватель; 2 и 3 – соосные цилиндрические проводники; 4 – изоляционный промежуток; 5 – устройство заземления; 6 – токопровод; 7 – деятельный слой; 8 – тонкий слой талого грунта; 9 – искусственная таликовая зона

Одним из проблемных вопросов работы заземляющих устройств на Севере Якутии является влияние вертикальной деформации грунта на их эксплуатацию-

онную надежность. Здесь деятельный слой многолетнемерзлых грунтов достигает 0,2–4 м в зависимости от рельефа местности, экспозиции склонов, растительного покрова, состава грунтов, влагосодержания и других факторов [3].

Были рассмотрены различные методы снижения сопротивления растекания тока заземляющих устройств в условиях многолетнемерзлых грунтов.

### *Список литературы*

1. Васильев П.Ф. Методы снижения сопротивления растеканию тока / Актуальные проблемы современной науки: Сборник докладов II Международного форума. – Самара, 2006. С. 5–8.

2. Васильев П.Ф. Методы снижения сопротивления заземляющих устройств, вмещенных в многолетнемерзлых грунтах. – Новосибирск: СО РАН. – 2013. – 83 с.

3. Васильев П.Ф. Влияние вертикальной деформации / П.Ф. Васильев, В.П. Кобылин.

4. Васильев П.Ф. Методы снижения сопротивления растекания тока в многолетнемерзлых грунтах / П.Ф. Васильев, В.П. Кобылин, В.А. Седалищев, Р.П. Ли-Фир-Су. – СО РАН Энергетика, 2008. – С. 117–121.

5. Максименко Н.Н. Проектирование и сооружение заземляющих устройств в районах многолетней мерзлоты/электрические станции / Н.Н. Максименко, Э.Б. Альтшулер. – 1977. – №5.38. – 50 с.

6. Максименко Н.Н. Заземляющие устройства в многолетнемерзлых грунтах. – Красноярск, 1974. – 502 с.

7. Максименко Н.Н. Электробезопасность и грозозащита электроустановок в районах Крайнего Севера. – Краснодар: Советская Кубань, 2002. – 334 с.

8. Найфельд М.Р. Заземление, защитные меры электробезопасности. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.

9. Правила устройств электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями. – М.: Энергия, 1971. – 484 с.

10. Пылеев А.М. Руководство по интерпретации вертикальных электрических зондирований. – М.: Недра, 1968. – 147 с.

11. Тайбышев В.Н. Удельное Электрическое сопротивление монолитов многолетнемерзлых грунтов / В.Н. Тайбышев, В.В. Клишевич // ТР. ВНИИ-І. – Магадан, 1967. – С. 104–109.
12. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 446 с.
13. Электрическая часть электростанций: учебник для вузов / Под ред. С.В. Усова. – Л.: Энергия. – 556 с.
14. Якушев М.В. Рекомендации по проектированию и сооружению заземляющих устройств электроустановок напряжением 0,4–3,5 кВ для районов Якутской АССР / М.В. Якушев, В.А. Дудинов, Н.Л. Ершов, В.Н. Яныгин. – Якутск: Изд-во Якутского филиала СО АН СССР, 1988. – 121 с.
15. Якушев М.В. Оценка роли искусственной обработки грунта вокруг заземлителей / М.В. Якушев, В.А. Седалищев, Н.Н. Платонов // Надежность электроснабжения в условиях Севера. – Якутск, 1977. – С. 94–99.