

## ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

### Проблемы обеспечения эффективности заземляющих устройств в районах Крайнего Севера

Чепайкина Т. А., канд. техн. наук

ФГАОУ ВПО “Северо-восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова”, г. Нерюнгри

Рассмотрены проблемы обеспечения эффективности заземляющих устройств в районах Крайнего Севера. Исследована зависимость надежности их защитных свойств от различных факторов. Показаны неоднозначность и громоздкость расчетов защитного заземления.

**Ключевые слова:** заземляющие устройства, районы Крайнего Севера, расчет защитного заземления.

Защитное заземление всех металлических частей электроустановок — наиболее распространенная и простая мера защиты в случае попадания напряжения на нетоковедущие части. Для эффективного выполнения защитных функций оно должно соответствовать предъявляемым требованиям к устройству и эксплуатационному контролю за исправным состоянием заземляющих устройств. Вместе с тем защитное заземление должно удовлетворять требованию экономичности, т. е. его конструктивные параметры и эксплуатационные затраты (в том числе на контроль исправности заземления) должны быть минимальными.

Многообразие факторов, определяющих защитные свойства рассматриваемых устройств в условиях Крайнего Севера, обуславливает необходимость научного подхода к изучению проблем растекания токов замыкания на землю в многолетнемерзлых грунтах.

Для предварительного выбора типа заземляющего устройства в конкретном районе необходимо знать, как минимум: литологическую характеристику грунтов, их нормативные глубины сезонного оттаивания и деятельного слоя, суммарную влажность, температуру в зоне годовых нулевых амплитуд, степень засоленности, среднюю ориентировочную температуру и сопротивление, а при устройстве выносного контура учитывать наличие трассы, площадь таликовой воды, содержание солей в воде.

В соответствии с ПУЭ [1] в районах многолетнемерзлых грунтов допускается увеличе-

ние нормируемого сопротивления защитного заземления в  $\rho/500$  раз (где  $\rho$  — удельное сопротивление земли в наиболее неблагоприятное время года), но не более десятикратного. Многолетнемерзлые грунты имеют сложный (многослойный) электрический разрез. При установке заземляющего устройства в верхнем слое следует иметь в виду, что в самое электроопасное время года (с середины мая, в переходный период от зимы к лету) значение удельного сопротивления грунта ( $\rho_1 = 50 \div 250 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) такое же, как в средней полосе России, так как верхние северные структуры начинают оттаивать, а нижние еще находятся в мерзлом состоянии. Если же выбор места расположения заземляющего устройства основывается на удельной проводимости подстилающих слоев, то при этом не учитывается ухудшение электробезопасности из-за оттаивания верхних слоев мерзлых грунтов, на температурный режим которых влияет не только сезон, но и производственная деятельность человека: загрязнение поверхности снега приводит к более раннему его оттаиванию. При укладке заземлителей на небольшую глубину (до 0,5 м) необходимо принимать во внимание, что сопротивления верхнего слоя грунта весной и зимой различаются в несколько раз [2].

Проведенные в течение года помесечные исследования изменения удельного сопротивления верхнего слоя грунта в районе разреза “Нерюнгринский” (Якутия), а также изменения сопротивления растеканию вертикальных электродов в зависимости от их длины и ме-

сторасположения показали, что их значения характеризуются значительными сезонными колебаниями [3].

Многолетнемерзлые грунты кроме явно выраженного характера изменения электропроводности по глубине имеют ряд специфических особенностей, в том числе наличие наряду с горизонтальными наклонных и вертикальных границ раздела слоев. Т.е. для определения эквивалентного удельного сопротивления многослойного грунта, которое основано на приведении последнего к эквивалентной двухслойной структуре [4], необходимо не только учитывать многослойную структуру грунта до расчетной глубины, определяемой в зависимости от конструкции заземлителя, но и иметь достаточно экспериментальных данных об изменении электропроводности как по горизонтали, так и по вертикали в месте сооружения заземляющего устройства.

На функционирование заземлителей влияют также особенности технологии сооружения и монтажа заземляющих устройств в условиях Крайнего Севера. Если работы ведутся летом, то грунт насыщается водой, если же зимой, то грунт, вынутый из траншеи на поверхность, замерзает, в результате после укладки электродов и для заполнения траншеи его приходится вновь разрыхлять. Промерзший грунт уплотнению практически не поддается и в период оттаивания пропускает воду, которая зимой замерзает, обуславливая тем самым значительное увеличение сопротивления заземлителя.

Нормальная работа заземлителей в условиях Крайнего Севера нарушается также из-за изменения проводимости грунта вокруг заземлителей во время эксплуатации. Низкое сопротивление грунта обычно обеспечивают путем замены высокоомного грунта вокруг электрода грунтом с более высокой электропроводностью или добавлением в него электролитных минеральных солей для предотвращения замерзания. Но, как показывает практика, это связано с высокими материальными затратами и кратковременной эффективностью. Кроме того, использование солей приводит к коррозионному разрушению заземляющих устройств [5].

Чаще всего с целью обеспечения нормируемых параметров заземляющих устройств рекомендуется максимально использовать естественные заземлители, что не всегда практически осуществимо.

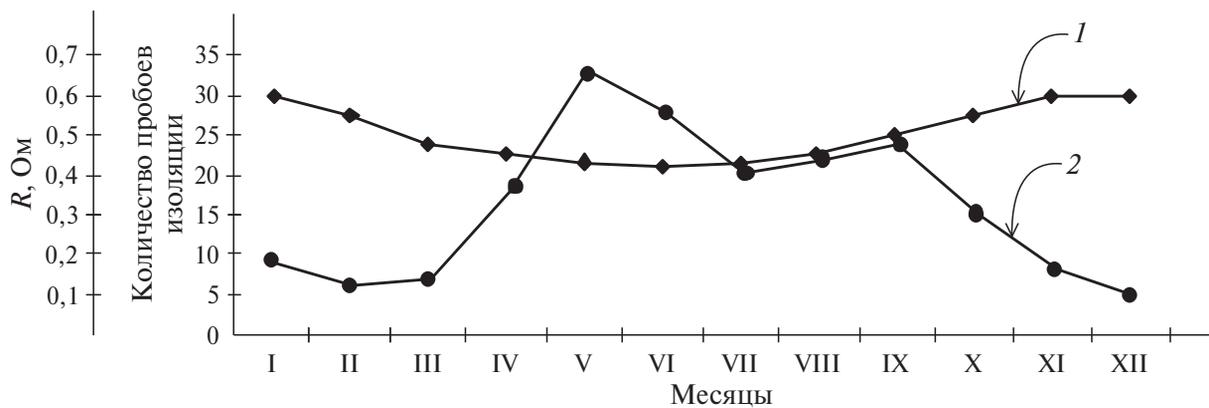
Из-за сложности обеспечения требуемых значений сопротивлений заземления некоторые специалисты предлагают перейти к нормированию допустимого напряжения прикосновения в зависимости от времени воздействия тока на тело человека (или расчетного — емкостного тока КЗ для данного разреза). Точно определить его значение невозможно вследствие передвижного характера горного производства: постоянного изменения длины кабельных и воздушных линий электропередачи, количества подключенного электрооборудования, а значит, и влияния его емкости, а также невозможности точного учета переходных сопротивлений опорных поверхностей электромеханического оборудования. Например, при определенных условиях переходное сопротивление опорной поверхности даже одной машины может удовлетворять регламентированному правилами безопасности общему переходному сопротивлению сети заземления. Сопротивление опорных поверхностей электромеханического оборудования может быть определено по формуле

$$R = \frac{\rho}{2Dk},$$

где  $D$  — диаметр круглой пластины площадью, равной площади опорной базы, м;  $k$  — коэффициент, зависящий от ряда факторов, определяемых неплотным соприкосновением с грунтом опорной поверхности оборудования (для скальных и мерзлых грунтов  $k = 0,5 \div 0,7$ , для мягких грунтов —  $0,7 \div 0,9$ ).

В условиях Крайнего Севера значения переходных сопротивлений опорных поверхностей изменяются в пределах от 8,5 — 690 Ом (летом) до 5400 — 109 000 Ом (зимой) у экскаваторов и от 72 — 1000 Ом (летом) до 32 000 — 350 000 Ом (зимой) у буровых станков [6]. Также в каждом отдельном случае необходимо учитывать удельное сопротивление грунта, на котором установлено оборудование.

Эффективность защитного заземления не обеспечивается только соответствующим расчетом и устройством, а зависит от целостности и непрерывности заземляющей сети, а также от совместного действия с быстродействующей защитой от замыканий на землю. Создание и внедрение автоматизированной системы контроля исправности цепи заземления — актуальная проблема. Ее решение позволяет значительно повысить безопасность и снизить расходы по эксплуатации заземляющих устройств.



Кривые зависимости значения омического сопротивления изоляции сетей 6 кВ (1) и количества пробоев изоляции кабелей на напряжение 6 кВ на разрезе (2) от времени года

Опасность электропоражения возникает при определенных значениях токов утечки, т. е. токов, протекающих по побочным цепям. Решающее значение в их возникновении и существовании имеет состояние изоляции электроустановок, так как побочные электрические цепи образуются в основном вследствие ухудшения состояния или нарушения изоляции кабелей, электродвигателей, трансформаторов, электрических аппаратов.

Условия эксплуатации электроустановок, обусловленные климатическими условиями Севера, существенно влияют на активизацию старения и износа изоляции. В летнее время кабели подвергаются воздействию солнечной радиации, которая совместно с озоном разрушительно влияет на защитную изоляцию. Под действием солнечных лучей резко усиливается процесс распада электроизоляционных материалов (полихлорвинила, фторопласта, каучука, резины и т. д.), растрескиваются и разрушаются лакокрасочные покрытия.

На состояние изоляции кабелей влияет и количество осадков, особенно в осенний и весенний периоды, когда отсыревшая изоляция просыхает очень медленно из-за низкой температуры воздуха. Воздействие относительной влажности воздуха проявляется в меньшей степени, чем количество осадков и температура. Казалось бы, с ростом или уменьшением относительной влажности должно соответственно расти или уменьшаться количество пробоев изоляции кабелей, однако на практике этого не наблюдается. Наоборот, несмотря на то, что весной она ниже, чем осенью, количество пробоев изоляции гибких кабелей в этот период растет. Объясняется это тем, что в зимний период в изоляции кабелей образуются трещины вследствие

того, что при низких температурах оболочки кабелей теряют эластичность и становятся хрупкими. При перемещении кабелей в эти трещины набивается снег, который уплотняется, кристаллизуется и находится в таком состоянии до наступления теплых дней. При этом состояние изоляции не ухудшается, так как ее сопротивление зимой велико. Весной снег тает, и состояние изоляции резко ухудшается из-за влаги, а это приводит к интенсивному пробоем гибких кабелей. Волокнистые материалы, применяемые для концевых разделок кабелей и содержащиеся в конструкции самих кабелей, вследствие наличия множества пор и капилляров имеют большую внутреннюю поверхность, что ускоряет их увлажнение. Влага может проникнуть в кабели также и через муфты. Все электроизоляционные материалы в той или иной мере поглощают влагу из окружающей среды, что вызывает чрезмерное насыщение ею изоляции с последующим ее пробоем (см. рисунок).

Загрязненность среды токопроводящей пылью существенно влияет на состояние изоляции. Твердые частицы, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии, образуют со средой сложную дисперсионную систему. Углекислые, сернокислые соли, содержащиеся в пыли, поглощают из окружающей среды влагу, прилипают к поверхности токоведущих частей электрооборудования, вследствие чего слой пыли становится электропроводным и является источником поверхностного пробоя изоляции. Из-за резкого охлаждения металлических корпусов электрооборудования в ночное время при повышенной относительной влажности возможно появление росы на его поверхности. Увлажнение изоляционных поверхностей при определенной concentra-

ции пыли ведет к созданию полупроводящих мостиков и последующему перекрытию изоляции. Или, например, при разделке кабелей с применением битумной массы вследствие негерметичности и перепада уровней кабельная масса постепенно растворяется вытекающим из кабеля пропиточным составом (минеральным маслом). Постепенно смесь минерального масла и битумной массы загрязняется угольной пылью, и кабельные разделки становятся местом развивающейся аварии. Применение высококачественных сухих разделок бронированных кабелей повышает уровень активного сопротивления изоляции кабельных сетей.

Существуют также сезонные колебания значения омического сопротивления изоляции (см. рисунок), которое не зависит от емкости электроустановки относительно земли и характеризует наличие сквозных проводящих мостиков между токоведущими частями электрооборудования и землей. Это объясняется тем, что деятельный слой многолетней мерзлоты в весенне-летне-осенний периоды года, особенно при дождливой или сырой погоде, в местах установки электрооборудования создает значительную проводимость тока через изоляцию в землю. В период сильных морозов этот слой земли приобретает структуру, близкую к диэлектрику, и указанное явление исчезает. Это сильно влияет на значение полного сопротивления изоляции и соответственно полного тока утечки. В результате проведенных исследований установлено, что в районах Крайнего Севера с мая по июль — самые электроопасные месяцы, для которых характерны уменьшение омического сопротивления изоляции (кривая 1) и увеличение количества пробоев изоляции кабелей (кривая 2) [7].

Таким образом, существующие расчеты защитного заземления грозоздки и неодно-

значны вследствие влияния множества факторов. Необходимы инновационные разработки таких материалов заземляющих электродов, которые обеспечили бы требуемый уровень защитного заземления. Например, московское НПО “Бипрон” [8] предлагает использовать заполненный электролитом электрод (вертикальный или горизонтальный), помещаемый в специальную грунтовую засыпку. Один из его недостатков — высокая для Крайнего Севера температура замерзания грунтовой засыпки ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Данные электроды уже применяются в Якутске.

#### Список литературы

1. **Правила** устройства электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Главы 7.5, 7.6, 7.10. 7-е изд. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
2. **Меньшов Б. Г., Альтшулер Э. Б., Шевцов Ю. В.** Заземление электроустановок в районах Крайнего Севера. — М.: Недра, 1983.
3. **Заземляющие** устройства в условиях вечной мерзлоты. — В кн.: Сб. науч. трудов по материалам междунар. научн.-практической конф. “Южная Якутия — новый этап индустриального развития”. Нерюнгри, 2007.
4. **Бурсдорф В. В., Якобс А. И.** Заземляющие устройства электроустановок. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. **Демин Ю. В., Целебровский Ю. В.** Коррозийное состояние заземляющих устройств ВЛ и подстанций. — Электрические станции, 1972, № 10.
6. **Гладилин Л. В., Щуцкий Ю. Г., Бажнецов Н. И.** Электробезопасность в горнодобывающей промышленности. — М.: Недра, 1977.
7. **Влияние** внешних факторов на электробезопасность на угольных предприятиях Севера. — В кн.: Сб. науч. трудов II междунар. научн.-техн. конф. “Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов”. Самара, 2012.
8. **НПО “Бипрон”** ([www.Бипрон.РФ](http://www.Бипрон.РФ)).

[malaia88y.if@mail.ru](mailto:malaia88y.if@mail.ru)