

УДК 621.6.05

**Применение анкерных заземляющих устройств на территориях  
с распространением вечномерзлых грунтов**

**А. В. Сидоров, А. Л. Портнягин\***

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

*\*e-mail: portnjaginal@tyuiu.ru*

*Аннотация.* В работе определены факторы, влияющие на электрическую проводимость грунта. Рассмотрены наиболее распространенные методы исполнения системы заземления, применяемые в холодных регионах в условиях вечной мерзлоты. Разработана новая конструкция анкерного электрода для предотвращения выталкивания заземляющего стержня из-за эффекта морозного пучения грунта. Целью данной работы является описание факторов, которые следует учитывать при планировании системы заземления для постоянных и временных установок в регионах с сезонными морозами и вечной мерзлотой.

*Ключевые слова:* анкерный заземлитель; вечномерзлый грунт; надежность

**Application of anchor grounding devices in territories  
where there are permafrost soils**

**Alexey V. Sidorov, Aleksey L. Portnyagin\***

*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

*\*e-mail: portnjaginal@tyuiu.ru*

*Abstract.* The article identifies the factors that affect the electrical conductivity of the soil. The most common methods of implementation of the grounding system, used in cold regions in permafrost conditions, are considered. A new design of the anchor electrode has been developed to prevent the ejection of the ground rod due to the effect of frost heaving of the soil. This article aims to describe the factors that should be considered when planning a grounding system for permanent and temporary installations in regions where there are seasonal frosts and permafrost.

*Key words:* anchor earthing device; permafrost soil; reliability

**Введение**

Электрическое заземление для временных и постоянных установок в холодных регионах осложняется наличием мерзлого грунта. Это связано с

тем, что удельное электрическое сопротивление мерзлого грунта может быть на несколько порядков выше, чем незамерзшего грунта; контактное сопротивление между заземляющими электродами и грунтом может значительно возрасти при образовании слоя льда на электроде.

Целью данной работы является описание факторов, которые следует учитывать при планировании системы заземления для постоянных и временных установок в регионах с сезонными морозами и вечной мерзлотой.

#### **Объект и методы исследования**

Низкочастотный и постоянный ток может протекать через грунт посредством перемещения ионов или электронов. Электронная проводимость обычно ограничивается металлами, поскольку большинство других материалов не содержат достаточно свободных электронов. Электрический ток в грунте обычно переносится ионами, содержащимися в воде, поэтому проводимость большинства грунтов в первую очередь зависит от концентрации и подвижности ионов.

Количество воды в грунте значительно влияет на проводимость, но только до определенной концентрации (около 18 %). Электропроводность обычно увеличивается с уменьшением размера зерна, поскольку более мелкозернистая почва имеет большую площадь поверхности на единицу объема и, следовательно, содержит больше адсорбированной воды, чем крупнозернистая почва. Очень мелкие почвы могут также содержать глинистые минералы, содержащие диффузные слои ионов, которые могут свободно перемещаться под действием электрического поля, обеспечивая дополнительную электрическую проводимость.

Удельное сопротивление мерзлого грунта обычно зависит от температуры, объема льда и типа почвы (влияние типа почвы в значительной степени связано с эффектами размера зерна) [1–11]. Относительно низкие удельные сопротивления при температуре замерзания или немного ниже нее обусловлены пленками незамерзшей воды, адсорбированными на частицах почвы. Вода в этих пленках имеет пониженную температуру замерзания, и поскольку эти пленки обычно соединены между собой, они обеспечивают проводящий путь. Электропроводность повышается за счет увеличения концентрации растворенных солей в незамерзшей воде, поскольку вода замерзает и удаляет соли и другие примеси.

Значительные сезонные колебания удельного сопротивления в областях сезонной заморозки и вечной мерзлоты отражают колебания температуры и содержания воды. Производительность системы заземления зависит в первую очередь от удельного сопротивления грунта в месте заземления. Поверхностные и подземные исследования для строительных целей обычно включают анализ грунта и определение глубины и толщины вечной мерзлоты или ежегодной зоны замерзания грунта, или того и другого. Эти данные, а также информация о запасах поверхностных и подземных вод полезны при выборе участков для размещения системы заземления.

#### **Обсуждение**

Наиболее распространены следующие исполнения системы заземления, применяемые в холодных регионах [2, 3, 5, 7, 8]:

- вертикальные стержни, вбитые в землю, множество вертикальных стержней;
- горизонтальные ленточные электроды, закопанные в землю;
- электрическое подключение к сплошным металлическим обсадным трубам скважин;
- электрическое соединение со сталью в железобетонных фундаментах зданий и сооружений.

Самый распространенный метод достижения электрического заземления — заглубление в грунт одного или нескольких стальных стержней (электродов). В простейшем случае однородной земли и незначительного контактного сопротивления сопротивление одиночного электрода оценивается с помощью следующего уравнения [2, 5, 8]:

$$R_r = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \left( \ln \frac{4l}{r} - 1 \right), \quad (1)$$

где  $R_r$  — сопротивление на землю, Ом;  $\rho$  — удельное сопротивление грунта, Ом·см;  $l$  — длина стержня, см;  $r$  — радиус стержня, см.

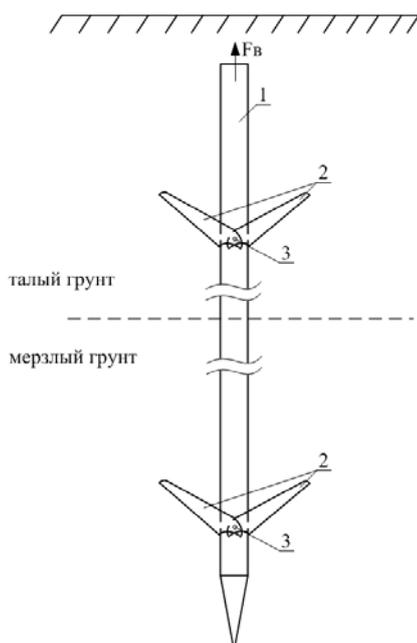


Рисунок. Схема анкерного вертикального заземлителя для вечномёрзлых грунтов после открытия лепестков

На стержне 1, с помощью осей 3 установлены пары лепестков 2, количество и форма которых зависят от параметров почвы; на конце стержень 1 имеет заостренную форму.

Заглубленные горизонтальные проволочные или ленточные электроды могут использоваться, когда коренная порода или вечная мерзлота нахо-

Уравнение (1) показывает, что если длина и радиус стержня увеличиваются в одинаковых пропорциях, увеличение длины будет иметь большее влияние на снижение  $R_r$ , чем увеличение диаметра стержня. Удвоение длины стержня приведет к уменьшению сопротивления системы заземления примерно на 40 %.

Для получения аналогичного результата требуется гораздо большее увеличение диаметра. Во многих случаях наиболее практичным будет использование более длинного электрода, особенно в районах с сезонными морозами, где на глубине может быть более проводящая почва.

Для предотвращения выталкивания заземляющего стержня из-за эффекта морозного пучения грунта разработана [12–15] новая конструкция анкерного электрода, схема которого приведена на рисунке.

На стержне 1, с помощью осей 3 установлены пары лепестков 2, количество и форма которых зависят от параметров почвы; на конце стержень 1 имеет заостренную форму.

дятся на расстоянии менее 2 м от поверхности. В районах вечной мерзлоты наиболее практично устанавливать электрод летом, когда активный слой грунта оттаивает.

При расчетах  $R_g$  для регионов с сезонными морозами и вечной мерзлотой следует использовать резистивно-слоистую модель земли. Например, если земля промерзла ниже 1 м, удельное сопротивление незамерзшего слоя составляет 100 Ом·м, а удельное сопротивление вечной мерзлоты составляет 10 000 Ом·м, тогда вертикальный заземлитель длиной 12 м и радиусом 5 см будет иметь сопротивление 900 Ом. Для сравнения: горизонтальный электрод диаметром 0,125 см и длиной 100 м будет иметь сопротивление около 100 Ом. Электрод длиной 100 м может показаться непрактичным, но он, вероятно, будет более эффективным и более легким в установке, чем длинный стержень, вбитый в вечную мерзлоту.

### **Выводы**

1. Вероятность обнаружения и разработки участка заземления с низким сопротивлением значительно снижается при перемещении в полярные регионы из зоны сезонных заморозков в зоны прерывистой и сплошной вечной мерзлоты.
2. На участках с мерзлым грунтом можно ожидать значительных сезонных колебаний сопротивления грунта.
3. Может оказаться невозможным достичь подходящего грунта из-за мерзлой земли или льда и снежного покрова. В этом случае опасность поражения электрическим током можно минимизировать, применив искусственные и естественные заземлители.
4. Требуется дополнительные исследования для определения фактического влияния содержания незамерзшей воды и температуры на значения сопротивления грунта и рекомендуемые процедуры заземления в зонах сезонной мерзлоты и вечной мерзлоты.

### **Библиографический список**

1. Сухачев, И. С. Разработка программного алгоритма эффективной молниезащиты / И. С. Сухачев, П. В. Чепур. – Текст : непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11–2. – С. 291–295.
2. Кабышев, А. В. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок : учебное пособие / А. В. Кабышев, С. Г. Обухов ; Федеральное агентство по образованию, Томский политехнический университет. – Томск : ТПУ, 2006. – 248 с. – Текст : непосредственный.
3. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике : учебник для вузов / А. Ф. Дьяков, Б. К. Максимов, Р. К. Борисов [и др.] ; под ред. А. Ф. Дьякова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «МЭИ» – Москва : МЭИ, 2016. – 543 с. – Текст : непосредственный.
4. Веревкин, В. Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита / В. Н. Веревкин, Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов ; Московский институт энергобезопасности и энергосбережения. – Москва : ПТФ-МИЭЭ, 2006. – 170 с. – Текст : непосредственный.
5. Маньков, В. Д. Защитное заземление и зануление электроустановок : справочник / В. Д. Маньков, С. Ф. Заграничный. – Санкт-Петербург : Политехника (Петрозаводск : ГУП РК Респ. тип. им. П. Ф. Анохина), 2005. – 400 с. – Текст : непосредственный.

6. Зотов Б. И. Безопасность жизнедеятельности на производстве : учебник для студентов вузов / Б. И. Зотов, В. И. Курдюмов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : КолосС, 2003. – 432 с. – Текст : непосредственный.
7. Алиев, И. И. Электротехника и электрооборудование : справочник / И. И. Алиев. – Москва : Высшая школа, 2010. – 1199 с. – Текст : непосредственный.
8. Карякин, Р. Н. Нормы устройства сетей заземления / Р. Н. Карякин. – 3-е изд. – Москва : Энергосервис, 2002. – 238 с. – Текст : непосредственный.
9. Сидоров, С. В. Особенности моделирования определения мест повреждения воздушных линий электропередачи напряжением 6(10) кВ / С. В. Сидоров, В. В. Сушков, И. С. Сухачев. – DOI 10.34831/EP.2020.92.72.003. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2020. – № 3. – С. 33–40.
10. Сидоров, С. В. Оценка влияния различных способов и аппаратов защиты от импульсных перенапряжений в электрической сети напряжением 6–10 кВ нефтяных промыслов / С. В. Сидоров, В. В. Сушков, И. С. Сухачев. – DOI 10.18799/24131830/2019/6/2126. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 6. – С. 50–58.
11. Сухачев, И. С. Общие вопросы и проблемы нормативной документации по молниезащите и заземлению на объектах топливно-энергетического комплекса / И. С. Сухачев, П. В. Чепур. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 3–2. – С. 301–304.
12. Патент на изобретение № 2690731 Российская Федерация, МПК G01L1/22 G01N25/72. Установка для исследования влияния эффекта морозного пучения грунта на заземляющий электрод : № 2018127232 : заявл. 09.01.2018 : опубл. 05.06.2019 / Копырин В. А., Шеломенцев В. А., Сухачев И. С., Портнягин А. Л. : патентообладатель Тюменский индустриальный университет. – Текст : непосредственный.
13. Патент на полезную модель № 170150 Российская Федерация, МПК H01R4/66 (2006/01). Вертикальный заземлитель для вечномерзлых грунтов : № 2015157350 : опубл. 17.04.2017, Бюл. № 11 / Сухачев И. С., Смирнов О. В., Копырин В. А. ; патентообладатель Тюменский индустриальный университет. – 5 с. – Текст : непосредственный.
14. Патент на полезную модель № 163552 Российская Федерация. Устройство заземления для вечномерзлых грунтов : № 2015147685 : заявл. 05.11.2015 : опубл. 27.07.2016 / Сухачев И. С., Смирнов О. В., Копырин В. А. ; патентообладатель Тюменский индустриальный университет. – Текст : непосредственный.
15. Патент на полезную модель № 163558 Российская Федерация. Устройство заземления с модулем термостабилизации : № 2016100800 : заявл. 12.01.2016 : опубл. 27.07.2016 / Сухачев И. С., Копырин В. А., Костоломов Е. М. ; патентообладатель Тюменский индустриальный университет. – Текст : непосредственный.

### References

1. Sukhachev, I. S., & Chepur, P. V. (2014). Software development algorithms for effective lightning protection. *Fundamental research*, (11-2), pp. 291-295. (In Russian).
2. Kabyshev, A. V., & Obukhov, S. G. (2006). *Raschet i proektirovanie sistem elektroснабzheniya ob'ektov i ustanovok*. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 248 p. (In Russian).
3. D'yakov, A. F., Maksimov, B. K., Borisov, R. K., Kuzhekin, I. P., Temnikov, A. G., & Zhukov, A. V. (2016). *Elektromagnitnaya sovmestimost' i molniezashchita v elektroenergetike*. Moscow, Moscow Power Engineering Institute Publ., 543 p. (In Russian).
4. Verevkin, V. N., Smelkov, G. I., & Cherkasov, V. N. (2006). *Elektrostaticheskaya iskrobezopasnost' i molniezashchita*. Moscow, PTF-MIEE Publ., 170 p. (In Russian).
5. Man'kov, V. D., & Zagranichnyy, S. F. (2005). *Zashchitnoe zazemlenie i zanulenie elektroustanovok*. St. Petersburg, Politehnika Publ., 400 p. (In Russian).
6. Zotov, B. I., & Kurdyumov, V. I. (2003). *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti na proizvodstve*. 2<sup>th</sup> edition, revised and expanded. Moscow, KolosS Publ., 432 p. (In Russian).

7. Aliev, I. I. (2010). *Elektrotehnika i elektrooborudovanie*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1199 p. (In Russian).
8. Karyakin, R. N. (2002). *Normy ustroystva setey zazemleniya*. 3<sup>rd</sup> edition. Moscow, Energoservis Publ., 238 p. (In Russian).
9. Sidorov, S. V., Sushkov, V. V., & Sukhachev, I. S. (2020). Osobennosti modelirovaniya opredeleniya mest povrezhdeniya vozduzhnykh liniy elektroperedachi napryazheniem 6(10) kV. *Industrial Power Engineering*, (3), pp. 33-40. (In Russian). DOI: 10.34831/EP.2020.92.72.003
10. Sidorov, S. V., Sushkov, V. V., & Sukhachev, I. S. (2019). Estimation of the effect of various methods and devices of impulse overvoltage protection in the oil field electric network 6-10 kV. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 330(6), pp. 50-58. (In Russian). DOI: 10.18799/24131830/2019/6/2126
11. Sukhachev, I. S., & Chepur, P. V. (2016). General issues and challenges normative documentation on lightning protection and grounding on objects of fuel and energy complex. *Fundamental research*, (3-2), pp. 301-304. (In Russian).
12. Kopyrin, V. A., Shelomentsev, V. A., Sukhachev, I. S., & Portnyagin, A. L. Ustanovka dlya issledovaniya vliyaniya effekta moroznogo pucheniya grunta na zazemlyayushchiy elektrod. Patent na izobretenie 2690731 RF, MPK G01L1/22 G01N25/72. No 2018127232. Applied: 09.01.2018. Published: 05.06.2019 (In Russian).
13. Sukhachev, I. S., Smirnov, O. V., & Kopyrin, V. A. Vertikal'nyy zazemlitel' dlya vechnomerzlykh gruntov. Patent na poleznuyu model' 170150 RF, MPK H01R4/66 (2006/01). No 2015157350. Published: 17.04.2017, Byul. No 11. 5 p. (In Russian).
14. Sukhachev, I. S., Smirnov, O. V., & Kopyrin, V. A. Patent na poleznuyu model' 163552 RF. Ustroystvo zazemleniya dlya vechnomerzlykh gruntov. No 2015147685. Applied: 05.11.2015. Published: 27.07.2016. (In Russian).
15. Sukhachev, I. S., Kopyrin, V. A., & Kostolomov, E. M. Patent na poleznuyu model' 163558 RF. Ustroystvo zazemleniya s modulem termostabilizatsii. No 2016100800. Applied: 12.01.2016. Published: 27.07.2016. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

*Сидоров Алексей Владимирович, ассистент кафедры электроэнергетики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

*Портнягин Алексей Леонидович, к. т. н., директор Института геологии и нефтегазодобычи, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: portnjaginal@tyuiu.ru*

#### **Information about the authors**

*Alexey V. Sidorov, Assistant at the Department of Electric Power Engineering, Industrial University of Tyumen*

*Aleksey L. Portnyagin, Candidate of Engineering, Director of the Institute of Geology and Oil and Gas Production, Industrial University of Tyumen, e-mail: portnjaginal@tyuiu.ru*