

М.И. Крапивин, А.Е. Исаков, Е.Ю. Пузина

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ В ГРУНТАХ С БОЛЬШИМ УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Аннотация. *Высокое удельное сопротивление грунта приводит к множеству проблем, среди которых наиболее значительными являются, понижение уровня электробезопасности, высокие затраты на материалы и увеличение объема земляных работ при использовании традиционного заземляющего устройства. В связи с этим приходится прибегать к проведению разных технических мероприятий, например, устройство вертикальных заземлителей увеличенной длины, устройство выносных заземлителей, если вблизи от электроустановки есть места с меньшим удельным сопротивлением, укладка в траншеи вокруг горизонтальных заземлителей влажного глинистого грунта, применение искусственной обработки грунта с целью снижения его удельного сопротивления и т.д.*

Целью данной статьи является оценка целесообразности применения электролитического заземления в районах с большим удельным сопротивлением грунта. В дополнение к этому, необходимо подобрать наиболее выгодное предложение среди широко известных в этой среде производителей данной продукции, а также провести наглядное сравнение предложенного заземления со стандартными и выявить достоинства использования данного вида заземления при проектировании новой тяговой подстанции.

В статье приведены результаты расчета при проектировании тяговой подстанции в Северобайкальском районе, по которым можно выделить ряд преимуществ использования электролитического заземления при проведении сравнения со стандартным заземляющим устройством, специфичность условий применения, и экономическую целесообразность этого вида заземления. Также предложено использование электролитического заземления при конструировании новых тяговых подстанций с целью повышения электробезопасности обслуживающего персонала.

Ключевые слова: *электробезопасность, заземляющее устройство, электролитическое заземление, тяговая подстанция.*

М.И. Krapivin, А.Е. Isakov, Е. Yu. Puzina

¹Irkutsk State Transport University, t. Irkutsk, Russia

THE FEASIBILITY OF USING ELECTROLYTIC GROUNDING IN SOILS WITH HIGH RESISTIVITY

Annotation. *The high resistivity of the soil leads to many problems, among which the most significant are a decrease in the level of electrical safety, high material costs and an increase in the amount of excavation work when using a traditional grounding device. In this regard, it is necessary to resort to various technical measures, for example, the device of vertical earthing devices of increased length, the device of remote earthing devices, if there are places with lower resistivity near the electrical installation, laying wet clay soil in trenches around horizontal earthing devices, the use of artificial soil treatment in order to reduce its resistivity, etc.*

The purpose of this article is to assess the feasibility of using electrolytic grounding in areas with high soil resistivity. In addition to this, it is necessary to choose the most advantageous offer among the manufacturers of these products widely known in this environment, as well as to make a visual comparison of the proposed grounding with standard ones and to identify the advantages of using this type of grounding when designing a new traction substation.

The article presents the calculation results for the design of a traction substation in the Severobaikalsky district, according to which a number of advantages of using electrolytic grounding can be identified when comparing with a standard grounding device, the specificity of the application conditions, and the economic feasibility of this type of grounding. It is also proposed to use electrolytic grounding in the design of new traction substations in order to increase the electrical safety of service personnel.

Keywords: *electrical safety, grounding device, electrolytic grounding, traction substation.*

Введение

При проектировании подстанций в горных районах и на территории с вечномерзлым грунтом можно столкнуться с множеством проблем. Одна из таких проблем – это большое

удельное сопротивление грунта. Есть множество разных способов решения данного вопроса [1], но большинство из них вызывает трудности, как в монтажном, так и финансовом плане. Применение электролитического заземления позволяет избежать этих трудностей и обеспечить должную безопасность обслуживающему персоналу.

Данный тип заземления практикуется в нашей стране в электроустановках нефтяной отрасли промышленности [2]. Электроустановки, в частности тяговые подстанции Восточно-Сибирской железной дороги, расположенные по ее Северному ходу, и особенно в пределах Байкало-Амурской железной дороги, находятся в районах с вечномерзлыми и скалистыми грунтами. Вместе с тем, в настоящее время планируется увеличение объема грузоперевозок в этом направлении с более активным участием тяжеловесных поездов [3-6]. Это вызовет увеличение тяговой нагрузки, часть которой протекает и по заземляющему устройству. В указанной ситуации может встать вопрос не только о реконструкции ряда устройств железной дороги [7-8], но и о реконструкции заземляющих устройств, в том числе, и в силу их существенного износа за период эксплуатации. В такой ситуации и потребуются оценить эффективность применения электролитического заземления.

Описание проблемной ситуации

Некоторые типы грунта имеют крайне высокое удельное сопротивление. Его значение для каменистых грунтов достигает нескольких тысяч Ом*м при том, что организация заземляющего устройства в такой среде связана с множеством трудностей – значительными затратами материалов и объемами земляных работ. Из-за твердых включений практически невозможно использовать вертикальные электроды без применения бурения.

Возможен, ещё более сложный случай – это вечномерзлый грунт. При понижении температуры удельное сопротивление резко возрастает. Глубина промерзания вечномерзлого грунта бывает до нескольких сот метров, при том что в летнее время оттаивает лишь верхний слой незначительной толщины: 1-3 м. В результате круглый год вся зона эффективного растекания тока будет иметь значительное удельное сопротивление – порядка 20000-50000 Ом*м. В описанных выше случаях добиться нормы сопротивления заземляющего устройства, а также допустимого значения напряжения прикосновения без дополнительных решений не представляется возможным.

Предложения практического решения поставленной задачи

По итогам анализа информации по исследуемой проблеме решено прибегнуть к применению электролитического заземления (рис.1). Для выбора конкретного типа заземлителя рассмотрена разная продукция российских производителей [9-11] (табл.1).

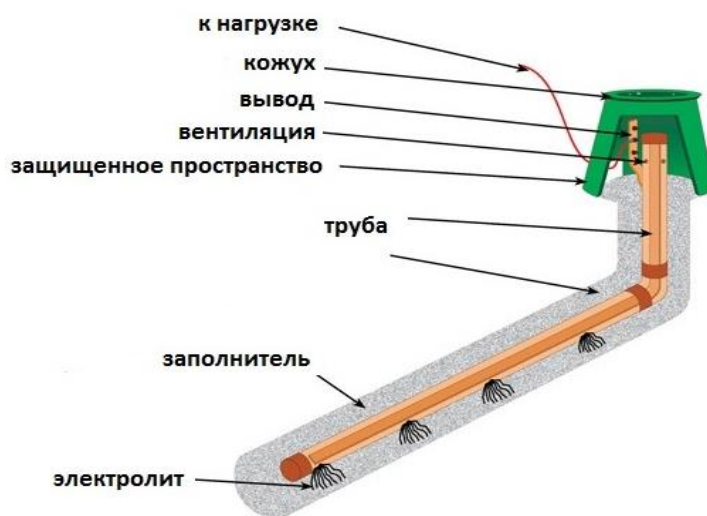


Рис. 1 – Конструкция электролитического заземления

Таблица 1 – Сравнение разных типов электролитического заземления

Изготовитель	Комплектация	Цена
“EZETEK”	1.Секция электрода длиной 3 метра, сталь нержавеющая–2 шт. 2.Околоэлектродная засыпка, 30 кг - 6 шт. 3.Электролитическая смесь - 24кг 4.Колодец электролитического заземления контрольно-измерительный, пластик - 1 шт. 5.Лента изоляционная, 45 мм х 2 м - 1 шт. 6.Зажим заземления стержень – полоса/пруток крестообразный, оцинк. - 1 шт.	82200 руб.
“Центр молниезащиты”	1.Электрод заземления тип «В» (вертикальный), длиной -6 м; 2.Заземлитель снабжен полосой, длиной 1 м. и сечением 30х3 мм., либо 40х4 мм из нержавеющей стали марки 03Х17Н14М3, по ГОСТ 5632-72, (для соединения заземлителей в электрическую схему и подключения к шине заземления); 3. Инспекционный колодец - 1 шт.; 4. Минеральный активатор грунта МАГ 2000- 120 кг.	82000 руб.
“BOLTA”	1.Вертикальный заземлитель из коррозиестойкой нержавеющей стали AISI304, вертикальный L=3000мм - 2 шт.; 2.Колодец электролитического заземления контрольно-измерительный, пластик h=400мм, d=310мм - 1 шт.; 3.Активатор грунта (мешок) , 30 кг - 6 шт.; 4.Электролитическая смесь (мешок), 15 кг - 2 шт.; 5.Зажим заземления стержень – полоса/пруток крестообразный, нержавеющая сталь - 1 шт.; 6.Лента изоляционная, 150 мм х 1000 мм - 1 шт.;	105534

В результате проведённого сравнения электролитического заземления от вышеописанных компаний по соотношению цена-комплектация решено выбрать продукцию компании “EZETEK”.

Расчет параметров стандартного и электролитического заземляющего устройства при проектировании тяговой подстанции

Расчёт выполнен графоаналитическим методом [13-15], основанным на применении теории подобия, которая предусматривает:

1. Замену реального грунта с изменяющимся по глубине удельным сопротивлением эквивалентной двухслойной структурой с сопротивлением верхнего слоя ρ_1 , толщиной h и сопротивлением нижнего слоя земли ρ_2 , значение которых определяется методом вертикального электрического зондирования.

Расчетные величины для метода вертикального электрического зондирования представлены на рисунке 2.

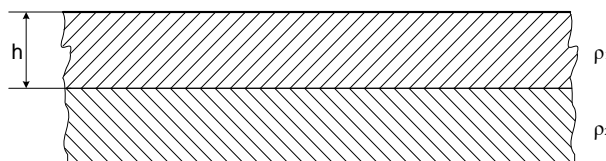


Рис. 2 – Расчетные величины для метода вертикального электрического зондирования

2. Замену реального сложного заземляющего контура, состоящего из системы вертикальных электродов, объединённых уравнивающей сеткой с шагом 4 – 20 м, и любой конфигурации – эквивалентной квадратной расчётной моделью с одинаковыми ячейками, однослойной структуры земли (ρ_3) при сохранении их площадей (S), общей длины вертикальных (L_B), горизонтальных (L_p) электродов, глубины их залегания (h_c), значения сопротивления растекания ($R_э$) и напряжения прикосновения (U_{np}).

Габаритные размеры грунта представлены на рисунке 3.

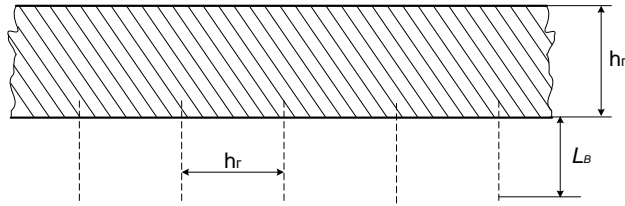


Рис. 3 – Габаритные размеры грунта

Предварительно принимаем следующие расчётные величины:

- 1) Длина горизонтальных заземлителей

$$L_{\Gamma} = (22 \div 25) \cdot \sqrt{S} = 25 \cdot \sqrt{12930} = 2844,76 \text{ м};$$

где S – площадь контура заземления.

- 2) Число вертикальных электродов

$$n_{\text{в}} = (0.3 \div 0.35) \cdot \sqrt{S} = 0.35 \cdot \sqrt{12930} = 40 \text{ штук};$$

- 3) Длина вертикального электрода

$$l_{\text{в}} \geq 2 \cdot h,$$

где h – толщина верхнего слоя земли.

$$l_{\text{в}} = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м.}$$

- 4) Общая длина вертикальных электродов

$$L_{\text{в}} = n_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} = 40 \cdot 6 = 240 \text{ м};$$

- 5) Расстояние между вертикальными электродами

$$a = 2 \cdot l_{\text{в}} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м};$$

- 6) Глубину заложения горизонтальных электродов h_{Γ} принимаем равной 0.8 м.

Площадь заземляющего контура S принимается по плану открытой части тяговой подстанции, сохраняя при этом расстояние от границы контура до ограждения не менее 2 м.

Сопротивление заземляющего контура:

$$R_{\text{з}} = A \cdot \frac{\rho_{\text{з}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{з}}}{L_{\Gamma} + L_{\text{в}}},$$

где $\rho_{\text{з}}$ – эквивалентное сопротивление грунта, Ом · м;

$$\rho_{\text{з}} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{\alpha} \cdot \rho_2,$$

где ρ_1 – Сопротивление верхнего слоя земли, Ом;

ρ_2 – Сопротивление нижнего слоя земли, Ом.

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{950}{2000} = 0.475; \quad \frac{l_{\text{в}} + h_{\Gamma}}{\sqrt{S}} = \frac{6 + 0.8}{\sqrt{12930}} = 0.06;$$

$$A = \left(0.444 - 0.84 \cdot \frac{l_{\text{в}} + h_{\Gamma}}{\sqrt{S}}\right), \text{ при } 0 < \frac{l_{\text{в}} + h_{\Gamma}}{\sqrt{S}} \leq 0.1;$$

$$\alpha = 0.19 \cdot \left(1 + \lg \frac{4.8h}{l_{\text{в}}}\right), \text{ при } 0.1 < \frac{\rho_1}{\rho_2} \leq 1.0;$$

$$\alpha = 0.19 \cdot \left(1 + \lg \frac{4.8 \cdot 3}{6}\right) = 0.263;$$

$$\rho_{\text{з}} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{\alpha} \cdot \rho_2 = \left(\frac{950}{2000}\right)^{0.263} \cdot 70 = 1644.38 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$A = \left(0.444 - 0.84 \cdot \frac{6 + 0.8}{\sqrt{12930}}\right) = 0.394;$$

$$R_{\text{з}} = A \cdot \frac{\rho_{\text{з}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{з}}}{L_{\Gamma} + L_{\text{в}}} = 0.394 \cdot \frac{1644.38}{\sqrt{12930}} + \frac{1644.38}{2844.76 + 240} = 6.24 \text{ Ом};$$

Величина напряжения прикосновения:

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{к}}^{(1)} \cdot R_{\text{з}} \cdot k_{\text{пр}},$$

где $I_{\text{к}}^{(1)}$ – ток однофазного к.з. на землю в РУ питающего напряжения, А;

$k_{пр}$ – коэффициент прикосновения;

$$k_{пр} = M \cdot \beta \cdot \left(\frac{a \cdot \sqrt{S}}{l_B \cdot L_T} \right)^{0.45},$$

где $M = 0.3$ – функция отношения ρ_1/ρ_2 , определяемая по таблице 2.

Таблица 2 – Функция отношения ρ_1/ρ_2

ρ_1/ρ_2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12
M	0,30	0,5	0,62	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,8	0,82	0,83

β – коэффициент, характеризующий условие контакта человека с землёй;

$$\beta = \frac{R_{чел}}{R_{чел} + R_{ст}},$$

где $R_{чел} = 1000$ Ом – расчётное сопротивление тела человека;

$R_{ст} = 1.5 \cdot \rho_1$ Ом – сопротивление растекания тока со ступней человека.

$$\beta = \frac{R_{чел}}{R_{чел} + R_{ст}} = \frac{1000}{1000 + 1.5 \cdot \rho_1} = \frac{1000}{1000 + 1425} = 0.413;$$

$$k_{пр} = M \cdot \beta \cdot \left(\frac{a \cdot \sqrt{S}}{l_B \cdot L_T} \right)^{0.45} = 0.3 \cdot 0.413 \cdot \left(\frac{0.263 \cdot \sqrt{12930}}{6 \cdot 2844.76} \right)^{0.45} = 0.0099;$$

$$I_k^{(1)} = 0.55 \cdot I_{п}^{(3)} = 0.55 \cdot 16.726 = 9.19 \text{ кА};$$

$$U_{пр} = I_k^{(1)} \cdot R_{э} \cdot k_{пр} = 9.19 \cdot 6.24 \cdot 0.0099 = 0.568 \text{ кВ}.$$

$$U_{пр} \leq |U_{пр}|,$$

где $|U_{пр}|$ – допустимое значение напряжения прикосновения в зависимости от времени (0,6 с) выбирается по графику рисунка 4.

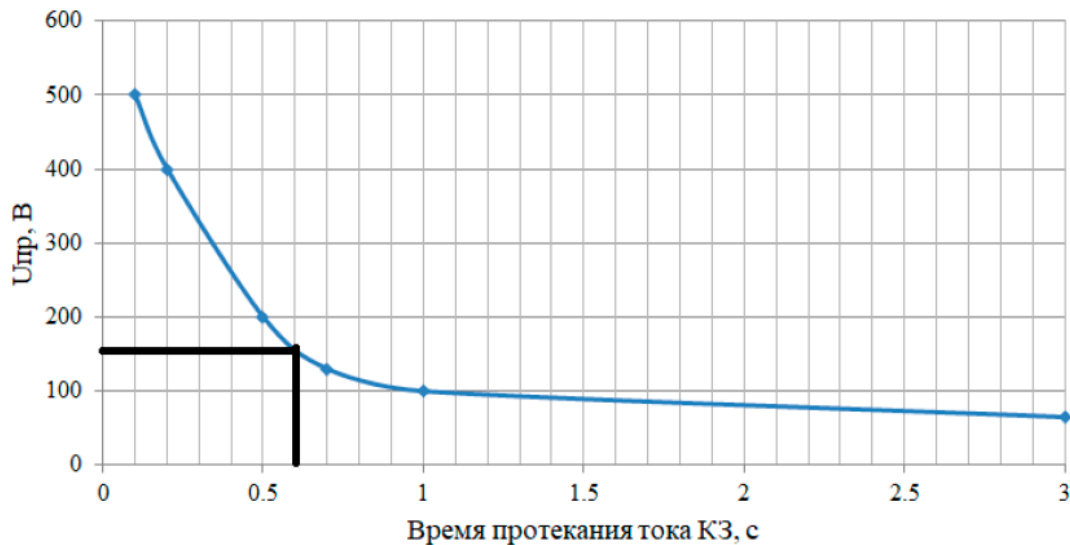


Рис. 4 – Зависимость напряжения прикосновения от время протекания тока КЗ

$$568 \text{ В} \geq 150 \text{ В}$$

Условие не выполняется, прибегнем к использованию электролитического заземления.

Сопротивление электролитического заземления [13]:

$$R_{эл} = (C\rho_3/\pi 2L) \cdot (\ln(4L/D) + (\rho_{моз}/\rho_3) \cdot \ln(D/d)),$$

где C – коэффициент солевой обработки;

$\rho_{моз}$ – удельное электрическое сопротивление наполнителя, Ом·м;

L – длина электрода, м;

D – диаметр скважины замещаемого грунта, м;

d – диаметр электрода, м;

$$R_{эл} = (0.2 \cdot 1644.38/\pi \cdot 2 \cdot 6) \cdot (\ln(4 \cdot 6/0.35) + (0.5/1644.38) \cdot \ln(0.35/0.06)) = 36,89 \text{ Ом};$$

Напряжение на заземлителе:

$$U_3 = U_{пр доп}/k_{пр} = 150/0,0099 = 15151,52 \text{ В},$$

где $U_{пр доп}$ - предельно допустимое напряжение прикосновения, В;

Сопротивление заземляющих устройств:

$$R_3 = U_3/I_k^{(1)} = 15151.52/9190 = 1,65 \text{ Ом};$$

Количество электродов:

$$n = R_{эл}/R_3 = 36.89/1.65 \approx 23 \text{ штуки}$$
$$150 \text{ В} \leq 150 \text{ В}$$

Условие выполняется.

Таким образом, в исследуемых грунтах наиболее целесообразно с точки зрения электро-безопасности применять электролитическое заземление.

Экономическое сравнение разных видов заземления

Для того чтобы понять, насколько выгоднее использовать электролитическое заземление, необходимо провести экономическое сравнение со стандартным заземляющим устройством (ЗУ) (табл. 3).

Таблица 3 - Экономическое сравнение вариантов заземления

Виды затрат. руб.	Стандартное ЗУ	Электролитическое ЗУ
Заземлители	224000	1890600
Замена заземлителей за 15 лет	224000	-
Отсыпка гравием территории	9051000	-
Итого:	9499000	1890600

По итогам сравнения видно, что из-за несоответствия параметров стандартного заземляющего устройства нормативам в сложных грунтах необходимо прибегать к сторонним мерам для увеличения электробезопасности. Вследствие этого использование традиционного ЗУ обходится дороже, чем электролитического.

Заключение

В целом, по итогам исследования можно утверждать, что электролитическое заземление подходит не для всех условий использования. Наибольшая эффективность его применения раскрывается в скалистых грунтах и территориях вечной мерзлоты. Использование данного заземляющего устройства поможет обеспечить более высокий уровень электробезопасности на северных территориях нашей страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ)/ Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.
2. Захарова М.Ю., Пузина Е.Ю. Особенности проведения энергетического обследования нефтебазовых комплексов. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 22-26 апреля 2014 г.): под общей редакцией В.В. Федчишина. -Иркутск: Изд-во ИРГТУ, 2014.- Т.2.- С.235-240.
3. A. Cherepanov, A. Kutsiy, "Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation," International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, 2018.

4. Воронина Е.В., Куцый А.П. Модернизация пути и повышение пропускной способности однопутного электрифицированного участка железной дороги Якурим-Киренга. Молодая наука Сибири. 2021. № 3 (13). С. 196-204.

5. Puzina E.Yu., Cherniga M.Yu., Khudonogov I.A. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271385.

6. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро-Таксимо ВСЖД. Транспорт: наука, образование, производство. Труды международной научно-практической конференции. Ростовский государственный университет сообщения. 2016. С. 306-310.

7. Пультяков А.В., Трофимов Ю.А., Скоробогатов М.Э. Комплексные решения по повышению устойчивости работы устройств автоматической локомотивной сигнализации на участках с электротягой переменного тока. Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2015. Т 1. С. 328-332.

8. Каимов Е.В., Оленцевич В.А., Власова Н.В. Проблемы формирования, развития и реконструкции элементов инфраструктурного комплекса железных дорог. Образование – Наука – Производство. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 2-х томах. Чита. 2022. С. 288-296.

9. <https://ezetek.ru/produkcija/gotovye-komplekty-zazemleniya/komplekty-elektroliticheskogo-zazemleniya/90055>

10. https://bolta.pro/elektroliticheskoe_zazemlenie/komplekt_elektroliticheskogo_zazemleniya_vertikalnyy_6_metrov_stenka_4mm

11. <https://c-mz.ru/gotovye-komplekty-zazemleniya/komplekty-elektroliticheskogo-zazemleniya/komplekt-elektroliticheskogo-zazemleniya-cmz-6-metra-vertikalnyj>

12. Тяговые подстанции: [Учеб. для вузов ж.-д. трансп.] / Ю. М. Бей, Р. Р. Мамошин, В. Н. Пупынин, М. Г. Шалимов. - Москва : Транспорт, 1986. - 319 с.

13. Тяговые и трансформаторные подстанции: [Учеб. для техникумов ж.-д. трансп.] / А. А. Прохорский. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : Транспорт, 1983. - 496 с.

14. Тяговые подстанции: Пособие по диплом. проектированию / М. М. Гринберг-Басин. - Москва: Транспорт, 1986. - 167 с.

15. РД 153-39.4-039-99 Нормы проектирования электрохимической защиты магистральных трубопроводов и площадок МН.

REFERENCES

1. Rules of electrical installations: 7th edition (PUE)/ Glavgosenergonadzor of Russia. M.: Publishing house of CJSC Energoservice, 2007. 610 p.

2. Zakharova M.Yu., Puzina E.Yu. Features of the energy survey of oil and gas complexes. Improving the efficiency of energy production and use in Siberia: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (Irkutsk, April 22-26, 2014): edited by V.V. Fedchishin. -Irkutsk: Publishing House of IRSTU, 2014.- Vol.2.- pp.235-240.

3. A. Cherepanov, A. Kutsiy, “Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation,” International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, 2018.

4. Voronina E.V., Kutsy A.P. Modernization of the track and increasing the capacity of the single-track electrified section of the Yakurim-Kirenga railway. The young science of Siberia. 2021. No. 3 (13). pp. 196-204.

5. Puzina E.Yu., Cherniga M.Yu., Khudonogov I.A. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271385.

6. Puzina E.Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Churo-Taksim section of the VSZHD. Transport: science, education, production. Proceedings of the International scientific and practical conference. Rostov State University of Communications. 2016. pp. 306-310.
7. Pulyakov A.V., Trofimov Yu.A., Skorobogatov M.E. Integrated solutions to improve the stability of automatic locomotive signaling devices in areas with alternating current electric traction. Transport infrastructure of the Siberian region. 2015. T 1. pp. 328-332.
8. Kaimov E.V., Olentsevich V.A., Vlasova N.V. Problems of formation, development and reconstruction of elements of the infrastructure complex of railways. Education – Science – Production. Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation). In 2 volumes. Cheat. 2022. p. 288-296.
9. <https://ezetek.ru/produkciya/gotovye-komplekty-zazemleniya/komplekty-elektroliticheskogo-zazemleniya/90055>
10. https://bolta.pro/elektroliticheskoe_zazemlenie/komplekt_elektroliticheskogo_zazemleniya_a_vertikalnyy_6_metrov_stenka_4mm
11. <https://c-mz.ru/gotovye-komplekty-zazemleniya/komplekty-elektroliticheskogo-zazemleniya/komplekt-elektroliticheskogo-zazemleniya-cmz-6-metra-vertikalnyj>
12. Traction substations: [Textbook for universities of railway transport] / Yu. M. Bey, R. R. Mamoshin, V. N. Pupynin, M. G. Shalimov. - Moscow : Transport, 1986. - 319 p.
13. Traction and transformer substations: [Studies for technical schools of railway transport.] / A. A. Prokhorsky. - 4th ed., reprint. and add. - Moscow : Transport, 1983. - 496 p.
14. Traction substations: Manual on diploma. designing / M. M. Grinberg-Basin. – Moscow: Transport. 1986. - 167 p.
15. RD 153-39.4-039-99 Design standards for electrochemical protection of main pipe line sand MN sites.

Информация об авторах

Крапивин Михаил Иванович – студент гр. СОД.1-20-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mihail.krapivin03@gmail.com

Исаков Андрей Евгеньевич – студент гр. СОД.1-20-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: isakovandrej28@gmail.com

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, к. т. н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: lena-rus05@mail.ru

Authors

Krapivin Mikhail Ivanovich – student g. SOD.1-20-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mihail.krapivin03@gmail.com

Isakov Andrey Evgenievich – student g. SOD.1-20-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: isakovandrej28@gmail.com

Elena Yur'evna Puzina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: lena-rus05@mail.ru