

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБРАБОТКИ ГРУНТА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ЗАЗЕМЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

И.А. Павлович

ассистент кафедры практической подготовки студентов БГАТУ

Минск, Беларусь

ORCID 0000-0002-7512-1048

E-mail: mrchesel20@gmail.com

М.Х. Муродов

доцент кафедры энергетики Наманганского инженерно-строительного

института, канд. техн. наук, доцент

Наманган, Узбекистан

ORCID 0000-0001-5219-7237

E-mail: m_murodov@mail.ru

И.О. Гуломжанов

Магистрант Наманганского инженерно-строительного института

Наманган, Узбекистан

E-mail: gulomjanov1995@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Научная гипотеза исследования предполагает возможность управления электрофизическими характеристиками грунта применяя составы, содержащие проводящие материалы и гидрогель, в качестве обратной засыпки заземлителей, чтобы добиться уменьшения электрического сопротивления грунта на площадке монтажа заземляющего устройства.

Ключевые слова: грунтозамещающая смесь, контур заземления, околоэлектродное пространство, удельное сопротивление грунта.

Электрическое сопротивление ЗУ складывается из множества факторов, таких как непосредственное электрическое сопротивление материалов заземляющих электродов, качества выполнения контактных соединений элементов контура заземления, конфигурация контура, но наиболее важную роль играют удельное сопротивление грунта в околоэлектродном пространстве, его влажность и сезонного коэффициента изменения удельного сопротивления

грунта. Удельное сопротивление определяет свойства грунта создавать благоприятные свойства для растекания тока, возникающего вследствие замыкания на корпус электрооборудования в аварийных ситуациях, также возникновения напряжения в металлических элементах конструкций зданий и сооружений, вследствие удара молнии.

Удельное сопротивление зависит от типов почва (песок, глина, известняк), размеров и плотности прилегания частиц, влажности и температуры, а также химического состава почвы, наличия в ней кислот, солей, щелочей [1].

Цель работы – разработка способа обработки грунта, позволяющего снизить удельное сопротивление и стабилизировать резкие колебания влажности непосредственно в около электродном объёме грунта введением, при монтаже заземляющих устройств, составов, содержащих гидрогель.

Одним из способов уменьшения коррозии заземляющего устройства является применение различных покрытий электродов из цветных металлов, а также выполнение этих электродов из нержавеющей сталей. В Республике Беларусь получили большое распространение оцинкованные и омедненные электроды, но наиболее распространены оцинкованные электроды, полученные различными методами горячего, холодного и термодиффузного цинкования. Каждый из этих методов имеет недостатки, а использование недорогих методов цинкования не позволяет обеспечить надежность покрытия. Применение омедненных элементов систем заземления приводит к ухудшению работы ЗУ. Поскольку медь обладает положительным потенциалом, и совместно с углеродистой низколегированной сталью имеющим отрицательный стандартный потенциал приводит к повышенной коррозии в местах соединения [2].

Другим методом уменьшения сопротивления грунта, а как следствие и сопротивления всего ЗУ, является применение заземляющих электродов в бетонной оболочке. Бетонная оболочка ниже уровня грунта представляет собой полупроводниковую среду с удельным сопротивлением около 30 Ом·м при 20°C что несколько ниже, чем у среднего суглинка [1]. Использование заземлителя с бетонным покрытием, содержащим песок, нитрофоску, графит, цемент в необходимых количествах способствует обеспечить необходимую проводимость и срок эксплуатации ЗУ [3].

К настоящему времени было проведены различные исследования характеристик химических материалов для улучшения заземления и их влияния на уровень защиты от опасного поражения электрическим током [3-6]. В частности, изучено- изменение переходного сопротивления в бентоните и природном грунте для заземлителей, выполненных методом трубного

заземления в наиболее жаркое время года [7]. Была установлена корреляция между переходным сопротивлением и параметрами тока утечки, а также предположили связь между уровнем влажности почвы и эффективностью бентонита для улучшения растекания тока.

Для одиночного горизонтально расположенного заземляющего стержня исследовано сопротивление растеканию тока при разных глубинах заложения. При этом определили эффективную глубину и изучили переходные характеристики в условиях рассеяния в грунте таким заземлителем тока молнии [4]. В работе [5] проанализировано влияние влажности и сезонных изменений на скорость снижения удельного сопротивления бентонита в том числе в условиях подачи высокого импульсного тока. Исследование показало, что эффективность бентонита в условиях высокой влажности выше, чем у обычной почвы. Несмотря на то, что многие авторы оценивали влияние факторов окружающей среды на системы заземления, малоизученным остается вопрос использования природных материалов улучшающих растекание тока в грунте и их влияние на уровень их электробезопасности [6-9]. Исследования материалов для улучшения заземления проводятся в основном на низких напряжениях и низких частотах (чаще всего при постоянном напряжении), что не дает достаточного понимания переходного поведения систем заземления при токах промышленной и более высокой частоты.

Однако, несмотря на малую изученность как в Беларуси, так и в РФ широкое распространение получило использование минеральных активаторов грунта. Такая смесь представляет собой электропроводящий полусухой электролит, применение которого эффективно только совместно с заземлителем, выполненным в виде полого перфорированного электрода, устойчивого к коррозии. При взаимодействии с почвой смесь диффундирует, образуя электролит [10]. Основной проблемой использования данного метода является повышенная коррозия электродов и близлежащих конструкций.

Еще одним способом уменьшения удельного электрического сопротивления грунта является использование углеродосодержащих порошков (графит). Применение данного метода позволяет повысить проводимость в грунтах обладающих очень высоким электрическим сопротивлением (порядка 400-600 Ом·м), но имеет низкую эффективность при сопротивлении ниже 100 Ом·м [11]. Предложенная в данной работе смесь основана как на стабилизации влажности с образованием полусухого электролита около заземлителя, так и применением проводящих веществ.

На первом этапе исследований стояла задача определить влияние на удельное сопротивление грунта:

- графитов ГК, ГЛ, ГЛС, ЭУТ
- коксовой мелочи
- золы

и на основании полученных данных определить наиболее перспективное направление дальнейших исследований и компоненты для изменения состава грунта для уменьшения его удельного сопротивления и улучшения электрофизических параметров заземляющих устройств.

Поскольку электрическое сопротивление растеканию тока с заземляющего устройства складывается из множества факторов, таких как непосредственное электрическое сопротивление материалов заземляющих электродов, качества выполнения контактных соединений элементов контура заземления, конфигурация контура, но наиболее важную роль играют удельное сопротивление грунта в околоэлектродном пространстве, его влажность и сезонного коэффициента изменения удельного сопротивления грунта.

Удельное сопротивление определяет свойства грунта создавать благоприятные свойства для растекания тока, возникающего вследствие замыкания на корпус электрооборудования в аварийных ситуациях, также возникновения напряжения в металлических элементах конструкций зданий и сооружений, вследствие удара молнии. Удельное сопротивление зависит от типов почва (песок, глина, известняк), размеров и плотности прилегания частиц, влажности и температуры, а также химического состава почвы, наличия в ней кислот, солей, щелочей [1].

Первоначально проводят подготовку к измерениям. Для этого добиваются необходимой влажности образца, а при снятии температурных зависимостей, его замораживают до -20°C и снимают характеристики при постепенном размораживании образца как описано в [12].

Электроды зачищают шлифовальной шкуркой, обезжиривают ацетоном и промывают дистиллированной водой. Внешние электроды устанавливают вплотную к внутренним торцовым поверхностям ячейки. При сборе ячейки пластины размещают друг к другу неизолированными сторонами. Затем в ячейку помещают в грунт, послойно утрамбовывая его. Высота грунта должна быть на 4 мм менее высоты ячейки. Устанавливают внутренние электроды вертикально, опуская их до дна по центральной линии ячейки на расстоянии 50 мм друг от друга и 25 мм - от торцовых стенок ячейки.

Удельное электрическое сопротивление грунта определяют по четырехэлектродной схеме на постоянном или низкочастотном (от 50 до 1000 Гц) переменном токе. Внешние электроды с одинаковой площадью рабочей поверхности S_p поляризуют током определенной силы I_1 и измеряют падение

напряжения V_1 между двумя внутренними электродами при расстоянии l_{MN} между ними.

Электрическое сопротивление грунта $R_{ГЛ}$ вычисляют по формуле: $R_{ГЛ} = \frac{V_1}{I_1}$ где V_1 – падение напряжения между двумя внутренними электродами, В; I_1 - сила тока в ячейке, А. Удельное электрическое сопротивление грунта ρ вычисляют по формуле $\rho = \frac{R_{ГЛ} S_p}{R_{MN}}$, где $R_{ГЛ}$ - электрическое сопротивление грунта, Ом; S_p - площадь поверхности рабочего электрода, м²; R_{MN} – расстояние между внутренними электродами, м.

Во второй линейке измерений, проводимых в лабораторных условиях, исследовалась зависимость удельного сопротивления грунта от объёма золы при влажности смеси 20%. Был получен ряд значений, представленных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений при изменении объёма золы в смеси

№	Ток, мА	Напряжение, В	Процент углеродных добавок, %	Влажность смеси, %	Сопротивление грунта, Ом	Удельное сопротивление грунта, Ом*м
1	11	14,7	15	20	1336,4	41,64
2	13,56	14,5	20	20	1069,3	33,32
3	15,8	13,52	25	20	855,7	26,66
4	19,1	13,42	30	20	702,6	21,89
5	24,5	13,7	35	20	559,2	17,42
6	246	118	40	20	479,7	14,95
7	273	120	45	20	439,6	13,70
8	275	121	50	20	440,0	13,71
9	276	122	55	20	442,0	13,77
10	276	121	60	20	442,1	13,78

На рисунке 2.2 показана зависимость сопротивления смеси от количества золы.

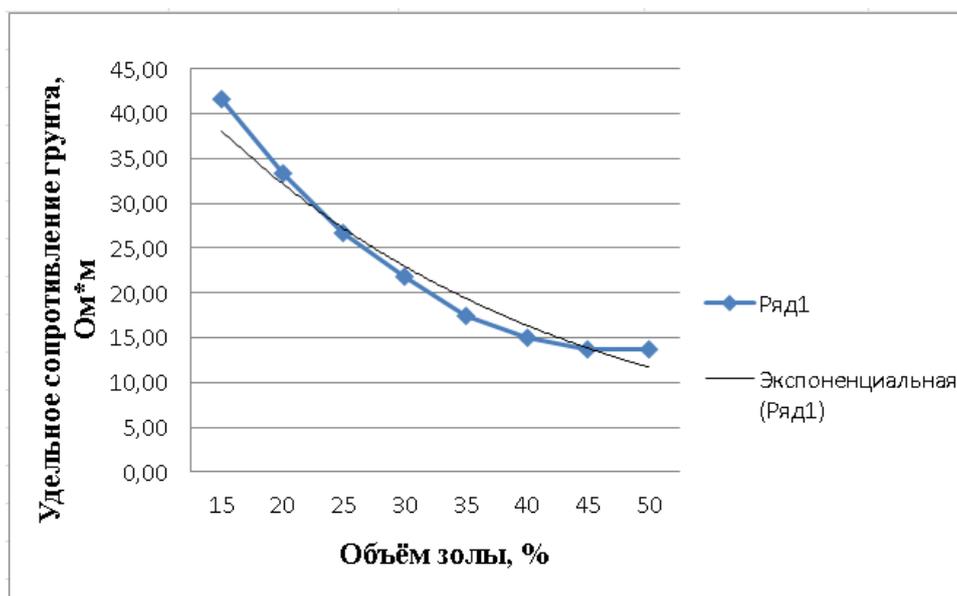


Рисунок 2.2. Зависимость удельного сопротивления грунта от объёма золы при влажности смеси 20%.

Зависимость, полученная по результатам измерений, говорит о том, что при добавлении золы вплоть до 45% от массы смеси происходит снижение удельного сопротивления грунта. Дальнейшее увеличение концентрации золы не приводит к существенному уменьшению удельного сопротивления грунта, что указывает на получение оптимальной концентрации.

В [13] проведены исследования с добавлением в смесь мелкодисперсного графита. При сравнении смеси с графитом и смеси, представленной в данной работе, можно сделать вывод, что значения удельного сопротивления грунта, достигаемые при добавлении в смесь 45% золы сопоставимы со значениями удельного сопротивления смеси с концентрацией мелкодисперсного графита в 15-18%.

Проведённые измерения показали, что наибольшая эффективность будет достигаться при использовании смеси для засыпки в околоэлектродное пространство на основе глины, в состав которой входит 45 масс. % золы, 10 масс. % гидрогеля и 15-18 масс. % мелкодисперсного графита. В лабораторных условиях данная смесь показала удельное электрическое сопротивление 13,7 Ом·м при влажности 20%.

Проведенный анализ показал перспективность обработки грунта в местах заложения контуров заземления смесями, содержащими углеродные добавки, в частности графитом и золой, а также их смесью с концентрацией до 45% от массы всей смеси. Показано, что наиболее эффективно использование графита марки ГЛС. Показана возможность применения в качестве углеродного наполнения зольных остатков сгорания древесных видов топлива. При продолжении исследований интересным представляется проведение анализа возможности добавления в смесь ингибиторов коррозии, гидросорбцов, а также определение оптимального соотношения таких компонентов в составе смесей для оптимизации заземления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: (REFERENCES)

1. Веденева Л.М., Чудинов А.В. Исследование влияния основных свойств грунта на сопротивление заземляющих устройств // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. - 2017. - Т. 16, № 1. - С. 89-100.
2. 6 Конфликт между медным заземлением и системами катодной защиты (The conflict between copper grounding systems and cathodic protection systems. Earl L. Kirkpatrick, P.E. ELK Engineering Associates, Incorporated 8950 Forum Way Wort Worth, TX 76140-5017 USA).

3. Tung C.C., Lim S.C. Performance of electrical grounding system in soil at low moisture content condition at various compression levels // Journal of Engineering Science and Technology. 2017. Vol. 12, Special Issue 1. P. 27–47
4. V.P. Androvitsaneas, Ioannis F. Gonos, Ioannis, A. Stathopoulos, Transient Impedance of Grounding Rods Encased in Ground Enhancement Compound, ICLP China 978-1-4799-3544-4/14, IEEE, 2014.
5. 9. D.W.P. Wan Ahmad, C. Thomas, M.A. Christopoulos, J. Drahman, M.Z.A. Jasni, Ab Kadir, H. Hizam, Study on Various Excitation Voltage Effects to the Transient Responses of a Single Long Horizontal Ground Conductor, in: The 2nd IEEE International Power and Energy Conference, ZON Regency Hotel, Johor Bahru, Malaysia, 1-3 December, 2008.
6. 10. Q. Meng, J. He, F.P. Dawalibi, J. Ma, A new method to decrease ground resistance of substation grounding systems in high resistance regions, IEEE Trans. on PD 14 (No. 3) (1999) 911–916.
7. 11. V.P. Androvitsaneas, I.F. Ganas, I.A. Stathapulas, Performance of Ground Enhancing Compounds during the Year, International Conference on Lightning Protection (ICLP), Vienna, Austria, 2012.
8. 12. W.F.H Wan Ahmad, N.H. Hamzah, M.Z.A Ab Kadir, C. Gomes, J. Jasni, Bentonite and Kenaf Properties for Grounding Purposes", 34 the International Conference on Lightning Protection, Rzeszom' Poland, 2018.
9. 13. P.Y. Okyere, G. Eduful, E.A. Frimpong, Evaluation of four local materials as backfill to achieve a low earth electrode resistance, J. Sci. Technol. 29 (2) (2009) 126–130.
10. Грибанов, А.Н. Бипрон – ззаземление электроустановок / А.Н. Грибанов // Экспозиция Нефть Газ. 2016. С. 72-75
11. Драко М.А., Барайшук С.М., Павлович И.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунт. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021; 23(1):80-92.
12. Pavlovich I.A., Baraishuk S.M. The use of hydrogels in mixtures to reduce the transient resistance of the soil - grounding device. //INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL = Collection of the International ScientificPractical Conference of Young Scientists, held within the framework of the "International Summer School 2022". - Almaty: KazNARU, 2022. – P 31-38
13. Барайшук, С.М., Павлович И.А. Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками // Агропанорама, 2020, № 1 (137), с. 20–23.