

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- Токоизмерительные клещи в трехфазных системах позволяют измерять активную, реактивную и полную мощность без дополнительных вычислений;
- Полученные результаты измерения мощности (активной, реактивной и полной) токоизмерительными клещами в трехфазной трехпроводной системе согласуются с результатами измерения мощности, полученной в результате имитационных расчетов в программном пакете Mathcad (таблица 1).
- Представление вычислений мощности (активной, реактивной и полной) в трехфазных схемах на основе метода измерения Арона в комплексной форме записи в матричной форме в среде имитационного вычисления Mathcad-это отличная учебная помощь в изучении теории электрических цепей [2, 3].

### Список литературы (References)

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей / Л.А. Бессонов – М.: Высшая школа, 2008. – 7 изд. – 528 с.
2. Коновалова А.А. О применении программного обеспечения при моделировании аналоговых электронных схем // Инновационное развитие АПК Байкальского региона: Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 90-летию Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. Улан-Удэ, 2021. С. 110-115.
3. Коновалова А.А. О применении программы для моделирования электрических и электронных схем Multisim при изучении дисциплин «Теоретические основы электротехники» и «Электротехника и электроника» обучающимися по направлениям подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» // Аграрное образование в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: материалы II Всероссийской (национальной) научно-методической конференции, посвященной 90-летию Бурятской ГСХА. Улан-Удэ, 2021. С. 150-155.
4. Способ определения полной мощности трехфазной трехпроводной цепи [Текст] : пат. RU 2024881 С1 Рос. Федерация: G01R 21/06/ Бочкарев О.В., Карманова И.В.;– № 4890118/21; заявл. 10.10.1990; опубл. 15.12.1994, Бюл. № 5. – 2 с.: ил.

УДК 621.316.9, 624.131.437.311

## ИССЛЕДОВАНИЯ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ГРУНТЗАМЕЩАЮЩЕЙ СМЕСИ С СОДЕРЖАНИЕМ ГРАФИТА И ГИДРОГЕЛЯ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ АПК

Барайшук Сергей Михайлович, к.ф.-м.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Минск, Республика Беларусь,  
*bear\_s@bsatu.by*

Павлович Иван Александрович  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Минск, Республика Беларусь  
*I.pavlovichpps@gmail.com*

Скрипко Алексей Николаевич, канд. техн. наук, ООО «ТерраЦинк»  
Минск, Республика Беларусь  
*skripko32@gmail.com*

*В статье проведены результаты натурных экспериментов по морозостойкости грунт замещающих смесей в зависимости от их компонентного состава для нормализации сопротивления и обеспечения безопасности. Установлены пределы морозостойкости грунт замещающей смеси, в основе которой содержится графит и гидрогель в определенных пропорциях, ее эффективность по отношению к известным способам, предложена область применения смеси.*

*Ключевые слова:* грунт замещающая смесь, исследования, нормализация заземления, морозостойкость.

## STUDIES OF FROST RESISTANCE OF THE SOIL OF A REPLACEMENT MIXTURE CONTAINING GRAPHITE AND HYDROGEL TO NORMALIZE GROUNDING AND ENSURE SAFE OPERATION OF TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURAL FACILITIES

Siarhei Baraishuk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor  
dept. of practical training of students, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus,  
*bear\_s@bsatu.by*

Ivan Pavlovich  
dept. of practical training of students, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus  
*I.pavlovichpps@gmail.com*

Alexey Skripko, Candidate of Technical Sciences  
"TerraCynk" Ltd., Minsk, Belarus,  
*skripko32@gmail.com*

*The article presents the results of field experiments on the frost resistance of soil replacement mixtures, depending on their component composition, to normalize resistance and ensure safety. The limits of frost resistance of the soil replacement mixture, which is based on graphite and hydrogel in certain proportions, its effectiveness in relation to known methods, the scope of application of the mixture is proposed.*

*Key words: soil replacement mixture, research, normalization of grounding, frost resistance.*

В обеспечении безопасной работы технологий и средств механизации объектов АПК важную роль играет безопасность персонала. Одной из мер обеспечения безопасной деятельности персонала и защиты от поражения электрическим током является нормализация заземления.

Важную роль при нормализации заземления, которое должно соответствовать требованиям [1, 2], играет электропроводимость грунта, которая в свою очередь, имеет прямую зависимость от величины удельного электрического сопротивления грунта и влияет на качество обеспечения заземления.

Известно, что повысить электропроводимость грунта и нормализовать сопротивление заземления возможно формированием электролитической среды вокруг электрода заземлителя путем применения смесей с низким удельным сопротивлением, предназначенных для засыпки пространства вокруг заземлителя. В основе таких смесей нередко содержится углеродистосодержащий порошок (графит). Также обеспечить электролитическую среду вокруг электрода заземлителя можно искусственным увлажнением мест монтажа заземления с добавлением солей.

На практике эффективность указанных способов без поддержания искусственной стабилизации влажности грунта снижается. Также падает эффективность указанных способов при понижении среднесуточной температуры по причине вымораживания влаги из грунта.

Проводимыми исследованиями [2-6] грунт замещающих смесей с содержанием гидрогеля было установлено, что их введение в около электродное пространство заземляющего устройства способно уменьшить удельное сопротивление грунта до 70,5 %, в зависимости объема введения смеси. Была установлена перспективность применения в смесях графита совместно с гидрогелем для формирования связанных электролитических растворов, уменьшения температуры замерзания воды, за счет ее связывания и, как следствие, для повышения электропроводимости смесей. Однако результаты были получены преимущественно в лабораторных условиях.

В то же время на практике важно, чтобы грунт замещающие смеси сохраняли свою эффективность при отрицательных температурах, чтобы обеспечить должную работоспособность заземления. В связи с чем целью проведения исследований стало установление натурным путем пределов морозостойкости грунт замещающей смеси с содержанием графита и гидрогеля, выявление ее эффективности по отношению к известным способам повышения электропроводимости грунта.

Для исследований были применены составы смесей, имеющие следующие различия в части использования химических реагентов:

состав №1: кристаллический сыпучий продукт серый с оттенками других цветов с вкраплениями гранул белого или черного цветов, в основе которых содержится электропроводный углерод и гидрогель в пропорциях, разработанных по ТУ ВУ 691788197.004-2021;

состав № 2: растворимая соль (хлорид натрия) – кристаллический сыпучий продукт белого цвета. Разработан по ТУ РБ 400087365.007-2012;

состав № 3: кристаллический сыпучий продукт серый на основе электропроводного углерода (графит) фракции менее 5 мм и без добавления гидрогеля и хлорида натрия.

Особенности исследований состояли в следующем.

Составы были помещены в закрытые емкости по 30 мл. Для имитации натуральных условий использования грунт замещающих смесей массовое содержание влаги в них составляло до 25-30 %. Начальным этапом исследований следует считать момент фиксации в Республики Беларусь первой среднесуточной температуры в осеннем сезоне 2021 года ниже 0<sup>0</sup>С. В общей сложности период исследований составил 128 календарных дней. Средняя температура воздуха зимнего сезона 2021/2022 годов составила -1,8<sup>0</sup>С. Минимальная температура воздуха отмечена 13 января 2022 года и составила -23,8<sup>0</sup>С.

По результатам исследований установлено, что при среднесуточной температуре -4<sup>0</sup>С у состава №2 наблюдалась его частичная кристаллизация, при среднесуточной температуре -6,8<sup>0</sup>С наблюдалось полная кристаллизация и затвердевание состава. У состава №3 в течение суток наблюдалась полная кристаллизация и затвердевание при температуре -4,4<sup>0</sup>С.

У состава №1 при среднесуточной температуре -5<sup>0</sup>С визуальная кристаллизация не наблюдалась. При взбалтывании емкости состав имел жидкую фазу. При -13<sup>0</sup>С состав становился более вязким, но не затвердевал. В низких температурных пределах от -18 до -19<sup>0</sup>С в составе наблюдалась частичная кристаллизация, состав был густым, но также не затвердевал. За все время исследований полного затвердевания состава №1 не произошло.

Из полученных экспериментальных данных следует, что лучшую морозостойкость показал состав №1, в основе которого содержится графит и гидрогель в определенных технических условиях пропорциях. Это подтверждает результаты лабораторных исследований в работах [3, 5] о перспективности применения в смесях графита совместно с гидрогелем для формирования связанных электролитических растворов. При этом эффективность грунт замещающих смесей для снижения переходного сопротивления грунт – заземлитель, в основе которых содержится гидрогель, выше, чем у известных способов в несколько раз.

Стабильное сопротивление состава смеси с содержанием графита и гидрогеля в определенных технических условиях пропорциях, практически не будет иметь сильной зависимости от воздействия низких температур, что актуально для обеспечения нормализации заземления и создания безопасных условий труда персонала объекта АПК, в том числе холодных регионах.

#### **Список литературы (References)**

1. СО-153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 57 с.
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: РД 34.21.122–87: утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.1987.: текст по состоянию на 12 окт. 2006 г. – Минск, 2006.
3. Драко М.А., Барайшук С.М., Павлович И.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунта // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 23 (1), 80–92.
4. С.М. Барайшук, И.А. Павлович, М.Х. Муродов, Х. Абдулхаев, А.Н. Скрипко Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками // Агропанорама.– 2021. – №5(147).– С. 28–33.
5. 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.
6. Драко М.А., Барайшук С.М., Ерусланов В.Л. Перспективные направления развития практики проектирования заземляющих устройств электроустановок Белорусской энергосистемы // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 71. Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации. В 3-х книгах. / Книга 3 / Отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2020, 364 с. С 144–153.