

УДК 621.316.99

doi:10.20998/2413-4295.2022.02.15

КОМБІНОВАНА МЕТОДИКА ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТУ В РАМКАХ КОНТРОЛЮ СТАНУ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

Д. Г. КОЛУШКО, С. С. РУДЕНКО *

НДПКИ «Молнія», НТУ «ХПІ», м.Харків, УКРАЇНА
*e-mail: nio5_molniya@ukr.net

АНОТАЦІЯ Результатом вертикального електричного зондування є визначена геоелектрична структура ґрунту. Процедура зондування ґрунту регламентована в низці національних та міжнародних стандартів з випробування систем заземлення. Використання традиційної чотириелектродної симетричної установки Веннера дозволяє проводити дослідження на глибину до 1/3 величини розносу струмових електродів, чого недостатньо для коректного розрахунку параметрів системи заземлення. Альтернативою може бути використання установки Шлюмберже. Показано, що особливості цієї установки при використанні в рамках випробування систем заземлення стають недоліками: чутлива до локальних включень та вертикальної неоднорідності, складні формули для інтерпретації, відсутність прямої залежності між рознесенням електродів та глибиною зондування, а отже неможливість побудови універсальних палеток інтерпретації. Тому виникла необхідність створення методики зондування ґрунту в рамках контролю стану заземлювального пристрою з більшою глибинністю. В роботі було обґрунтовано необхідність такої розробки. На основі аналізу сформовано вимоги до процедури зондування ґрунту, яка має відповідати методиці електромагнітної діагностики систем заземлення. Показано, що однією з головних вимог є представлення результатів зондування у вигляді багатопарової геоелектричної структури з плоско-паралельними горизонтальними границями поділу. Запропоновано комбінований спосіб виконання зондування ґрунту, який засновано на поетапному використанні установок Веннера та Шлюмберже, що дозволило поєднати переваги та зменшити впливи недоліків цих установок в рамках контролю стану ЗП. Запропонована комбінована методика зондування ґрунту дозволяє збільшити глибину зондування від 1/3 величини розносу струмових електродів до 1/2 без залучення додаткових вимірювальних приладів, програмних засобів для інтерпретації та електротехнічного персоналу. При цьому тривалість виконання зондування для діючої підстанції буде становити 30-90 хвилин, що не збільшить загальну тривалість електромагнітної діагностики.

Ключові слова: підстанція; заземлювальний пристрій; вертикальне електричне зондування; геоелектрична структура; ґрунту; установка Веннера; установка Шлюмберже; комбінована методика

COMBINED TECHNIQUE SOIL SOUNDING IN THE FRAMEWORK OF MONITORING THE CONDITION OF THE GROUNDING SYSTEM

D. KOLIUSHKO, S. RUDENKO

Research and Design Institute "Molniya", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The result of vertical electrical sounding is the determined geoelectrical structure of the soil. The soil probing procedure is regulated in a number of national and international standards for testing grounding systems. The use of a traditional four-electrode symmetrical Wenner array configuration allows conducting research to a depth of up to 1/3 of the distance between current electrodes, which is not enough for the correct calculation of the parameters of the grounding system. An alternative can be the use of a Schlumberger array configuration. It is shown that the features of this array configuration, when used as part of the testing of grounding systems, become disadvantages: it is sensitive to local inclusions and vertical heterogeneity, necessary the complex formulas for interpretation, the absence of a direct relationship between the separation of electrodes and the probing depth, and therefore the impossibility of building universal palettes of interpretation. Therefore, there was a need to create a technique of probing the soil within the framework of monitoring the state of the grounding system with a greater depth. The work justified the need for such development. Based on the analysis, the requirements for the soil probing procedure were formed, which should correspond to the methodology of electromagnetic diagnostics of grounding systems. It is shown that one of the main requirements is the presentation of sounding results in the form of a multilayer geoelectrical structure with plane-parallel horizontal separation boundaries. A combined method of performing soil sounding is proposed, which is based on the step-by-step use of Wenner and Schlumberger array configurations, which made it possible to combine the advantages and reduce the effects of the disadvantages of these installations within the framework of monitoring the state of the grounding. The proposed combined technique of soil sounding allows to increase the depth of probing from 1/3 of the distance of the current electrodes to 1/2 without the involvement of additional measuring devices, interpretation software and electrical personnel. At the same time, the duration of procedure for an operating substation will be 30-90 minutes, which will not increase the total duration of electromagnetic diagnostics of grounding system.

Keywords: substation; grounding system; vertical electrical sounding; geoelectrical structure; soil; Wenner array configuration; Schlumberger array configuration; combined technique.

Вступ

Метою проведення вертикального електричного зондування (ВЕЗ) в рамках контролю

стану заземлювального пристрою (ЗП) [1-3] є визначення параметрів геоелектричної структури [2-11] шляхом інжектування випробувального струму генератором та вимірювання падіння напруги на

певній ділянці поверхні ґрунту. Електрофізичні характеристики ґрунту (кількість шарів, їх питомий опір та потужність) розраховуються з використанням різних засобів інтерпретації (палеток або спеціальних розрахункових програм) [7-10]. Результати ВЕЗ є вихідними даними для визначення нормованих електричних параметрів ЗП. Фактично від якості виконання ВЕЗ залежить точність розрахунку напруги дотику та опору ЗП.

Апаратура, методика проведення ВЕЗ та засоби інтерпретації є добре розвиненими як теоретично, так і практично в рамках проведення геологічних вишукувань [9]. Відомо, що кожна установка ВЕЗ окрім особливого розташування вимірювальних електродів, характеризується глибинністю (глибиною зондування при однаковій величині розносу струмових електродів) та відповідним математичним апаратом, необхідним для інтерпретації результатів.

В рамках контролю стану ЗП широкое розповсюдження отримала симетрична чотириелектродна установка Шлюмберже (див. рис. 1), що пов'язано із особливостями представлення ґрунту у вигляді геоелектричної структури з плоско-паралельними границями поділу в математичних моделях для розрахунку параметрів ЗП.

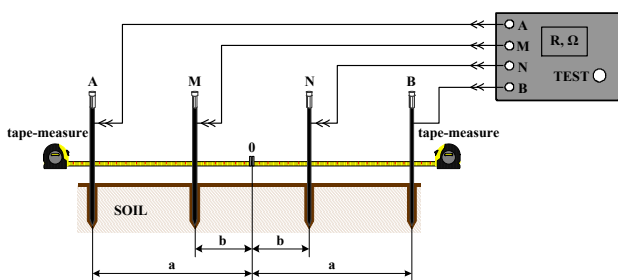


Рис. 1 – Зондування ґрунту чотириелектродною симетричною установкою

Відповідно до даних, наведених у роботах з геофізичних досліджень, глибинність в долях від розносу струмових електродів для установки Шлюмберже змінюється від $(1/10) L_{AB}$ до $(1/2) L_{AB}$, при цьому в літературі [44] відомі випадки, коли глибинність зменшується до $(1/200) L_{AB}$ під впливом макроанізотропії та відношення ПЕО шарів.

Тим не менш вказане зменшення глибинності установки Шлюмберже, як правило спостерігається при екстремальних співвідношеннях ПЕО, й в практиці виконання ВЕЗ при тестуванні ЗП приймається, що глибинність установки Шлюмберже – $1/2 L_{AB}$.

Проте особливості цієї установки при використанні в рамках випробування ЗП стають недоліками: чутлива до локальних включень та вертикальної неоднорідності, складні формули для інтерпретації, відсутність прямої залежності між рознесенням електродів та глибиною зондування, а отже неможливість побудови універсальних палеток інтерпретації.

В Україні в рамках електромагнітної діагностики ЗП (ЕМД ЗП) використовується установка Веннера, яка фактично є частковим випадком установки Шлюмберже. Для неї характерні однакова відстань між сусідніми вимірювальними електродами (тобто $a = b$ на рис. 1), однозначна залежність між величиною розносу електродів та глибиною зондування і відносно прості вирази для інтерпретації результатів.

Крім того установка Веннера, характеризується рядом таких переваг, як:

- високий рівень сигналу;
- висока чутливість до горизонтальних меж розділу шарів;
- слабка чутливість до вертикальних границь, яка послаблює вплив нетипових включень, що мають локальний характер і не надають значного впливу на розтікання струмів з ЗП.

Проте істотним недоліком установки Веннера є відносно мала глибина зондування, яка орієнтовно дорівнює $1/3$ від величини рознесення струмових електродів [12]. Враховуючи, що навколо електричних станцій та підстанцій, розташованих в стислій міській чи промисловій забудові, відсутній вільний простір для виконання ВЕЗ на глибину не менше однієї діагоналі ЗП, актуальним є розробка методики зондування ґрунту з більшою глибинністю. Необхідність розробки такої методики була аргументована авторами ще в 2014 р. [1].

Крім того, актуальність такої методики зростає в зв'язку з можливістю проведення експериментальних вимірювань лише на території енергетичного об'єкту, а не навколо нього, через наслідки військових дій на території України (де ще менше вільного від комунікацій, заземлювачів, будівель та споруд простору).

Мета роботи

Створення методики зондування ґрунту в рамках контролю стану заземлювального пристрою з більшою глибинністю.

Формування вимог до нової методики ВЕЗ

На даний час існує низка установок для проведення ВЕЗ, які дозволяють вирішувати вузькоспрямовані геологічні задачі. Найбільш точним та глибинним є так званий томографічний метод, який використовує десятки вимірювальних електродів та спеціалізовані георозвідувальні станції. В цілому цей метод є комбінацією використання різних установок ВЕЗ та зміщення їх відносно центру в різних напрямках з метою побудови складної 3D картини геоелектричної структури. Однак використання будь-якої з методик томографії з більшою глибинністю ніж в установки Веннера неможливо через відсутність вільної від заземлювачів та обладнання ділянки на території енергетичного об'єкту (простір для виконання вимірів дорівнює площі об'єкту). Якщо проводити томографію поруч зі станцією чи

підстанцією, результат в переважній більшості випадків не буде відповідати безпосередньо ґрунту об'єкту. Крім того, отримана 3D картина ґрунту не зможе використовуватися для розрахунків через відсутність необхідної математичної моделі. Таким чином, новий спосіб виконання ВЕЗ має базуватися на установці, що використовується в рамках ЕМД ЗП, та відповідати певним критеріям.

Тому сформуємо вимоги до нового способу ВЕЗ:

- простота та практичність виконання (ВЕЗ виконується в польових умовах діючої електроустановки незалежно від погодних умов, тож методика повинна бути максимально алгоритмізована та спрощена);

- час виконання 30–90 хв. персоналом з двох осіб (ВЕЗ є однією з вимірювальних процедур експериментального етапу ЕМД ЗП, тривалість якого складає 30-60 хв, заміна методики ВЕЗ не повинна збільшити загальну тривалість ЕМД ЗП);

- можливість виконання ВЕЗ тими ж приладами, що й зондування установкою Веннера;

- представлення результатів ВЕЗ у вигляді багат шарової геоелектричної структури з плоско-паралельними горизонтальними границями поділу (вимога пояснюється математичними моделями ЗП та проведенням ВЕЗ поблизу електроустановки, а не на її території);

- висока чутливість до верхніх шарів ґрунту (саме вони найбільше впливають на значення напруги дотику).

Враховуючи вищесказане, авторами запропоновано спосіб проведення ВЕЗ на базі установок Веннера та Шлюмберже для оптимального використання їх переваг (див. рис. 1).

Створення нового способу ВЕЗ

Спосіб представляє собою комбінацію проведення вимірювань за допомогою установок Веннера та Шлюмберже (див. рис. 1) у вигляді двох етапів, які умовно можна назвати:

- «прямий хід»;
- «зворотній хід».

При «прямому ході» зондування виконується установкою Веннера при поступовому симетричному збільшенні відстані між струмовими електродами на максимально можливу відстань. Це дозволяє дослідити ґрунт на глибину 1/3 величини розносу струмових електродів з мінімальним впливом локальних включень та вертикальних неоднорідностей та з доброю роздільною здатністю щодо горизонтальної шаровості ґрунту.

Після закінчення вимірювань на останній точці розпочинається «зворотній хід», при якому струмові електроди залишаються на місці, а потенціальні поступово переміщуються до центру у зворотному порядку (тобто встановлюються у попередніх точках). Таким чином, вимірювання «зворотного ходу»

виконується установкою Шлюмберже, й саме для глибинних шарів, де вплив її недоліків практично мінімізоване.

При виконанні вимірювань відстань встановлення потенціальних електродів відносно центру симетрії установки L_i лежить в діапазоні від мінімально допустимої (див. т. 0 на рис.1) L_{min} до максимально можливої відстані L_{max} . При цьому L_{max} складає 1/6 максимального розміру вільної ділянки для проведення ВЕЗ, а L_{min} має відповідати умовам [20] (вказані вимоги є спільними для обох установок):

$$\begin{cases} L_{min} > 3d_e; \\ L_{min} > 3t_e, \end{cases} \quad (1)$$

де d_e та t_e – діаметр та глибина занурення у ґрунт вимірювальних електродів відповідно.

Таким чином, запропонована комбінована методика виконання ВЕЗ є наступною:

1. Підготовка до вимірювань

1.1 Вимір питомого опору ґрунту необхідно виконувати на рівному майданчику, вільному від опор високовольтних ліній, залізничних шляхів та підземних металевих комунікацій (трубопроводів, кабелів).

1.2 Розтягнути дві рулетки Р1 та Р2 на максимальну довжину від місця розташування тестера заземлення під кутом 180^0 один до одного;

1.3 Зібрати вимірювальну схему згідно з інструкцією до тестера заземлення та ввімкнути його.

2. Прямий хід

2.1 Встановити потенційні та струмові електроди на мінімально допустимій відстані за умови, що $a=3b$ й глибина забивки потенційних електродів та їх діаметр не повинні перевищувати значення $b/3$. Рекомендується: $b = 0,1$ м і $a = 0,3$ м;

2.2 Провести вимірювання опору установки $R_{аттау}$;

2.3 Зафіксувати виміряне значення $R_{аттау}$ на відповідній відстані a та b ;

2.4 Встановити потенційні та струмові електроди на більшій відстані за умови, що $a=3b$. Повторити пп. 2.2–2.4. Рекомендується встановлювати значення b з [0,13; 0,17; 0,22; 0,33; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,3; 1,7; 2,2; 3,3; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 13; 17 і т.д.] м до виходу на максимально можливу відстань. Глибина забивки має відповідати умові (2), тобто $b/3$.

3. Зворотній хід

3.1 Встановити потенційні електроди на попередню відстань згідно ряду з п. 2.5, залишаючи струмові на місці. Глибина забивки потенційних електродів не повинна перевищувати значення $b/3$.

3.2 Провести вимірювання опору установки $R_{аттау}$;

3.3 Зафіксувати виміряне значення $R_{аттау}$ на відповідній відстані a та b .

3.4 Повторити пп. 3.1–3.5 до досягнення величини $b = 1,0$ м (рекомендоване значення), т.я. подальше зменшення слабко впливає на збільшення глибини зондування.

4. Розібрати вимірювальну схему.

Використання комбінованої методики замість традиційних дозволяє збільшити глибину зондування з $1/3 L_{AB}$ до $1/2 L_{AB}$, зберігаючи при цьому чутливість до горизонтальних шарів та слабку чутливість до локальних включень.

Для побудови кривої ВЕЗ необхідно визначити значення уявного питомого електричного опору ρ_y в залежності від відстані між струмовим та потенційним електродом за наступним виразом:

$$\rho_y = \frac{\pi(a^2 - b^2)}{2b} R_{\text{апп}} \quad (2)$$

Зважаючи на те, що фактично установка Веннера є частковим випадком установки Шлюмберже, то побудову кривої ВЕЗ та її інтерпретацію можна виконати за допомогою одного й того ж геометричного коефіцієнту та математичного апарату. Авторами було вирішено задачу щодо інтерпретації результатів ВЕЗ для чотиришарового ґрунту [1].

Після практичної апробації пропонується внести зміни до додатку СОУ, в частині виконання ВЕЗ з метою оптимізації процедури ЕМД ЗП.

Висновки

Проаналізовано та доведено практичну необхідність розробки способу вертикального електричного зондування ґрунту з більшою глибинністю в рамках діагностики стану заземлювального пристрою.

Сформовано вимоги до розробки нового способу зондування ґрунту.

Запропоновано комбінований спосіб виконання зондування ґрунту, який засновано на поетапному використанні установок Веннера та Шлюмберже, що дозволило поєднати переваги та зменшити впливи недоліків цих установок в рамках контролю стану ЗП. Запропонована комбінована методика зондування ґрунту дозволяє збільшити глибину зондування від $1/3$ величини розносу струмових електродів до $1/2$ без додаткових матеріальних затрат.

Сформовано методику зондування ґрунту за комбінованим способом, для використання вимірювальними лабораторіями та експлуатуючим персоналом електричних станцій та підстанцій.

Список літератури

1. *Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок*. Типова інструкція. СОУ 31.2-

21677681-19:2009. К.: Мінпаливенерго України, 2010. 54 с.

2. *IEEE Std 80-2013. Guide for Safety in AC Substation Grounding*. New York, IEEE, 2013. 206 p. doi: 10.1109/IEEEESTD.2015.7109078.
3. *IEEE Std 81-2012. Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System*. New York, IEEE, 2012. 86 p. doi: 10.1109/IEEEESTD.2012.6392181.
4. Rencher A. C., Christensen W. F. *Methods of multivariate analysis, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc., 2012. 768 p. doi: 10.1002/9781118391686.
5. Cavka D., Mora N., Rachidi F. A Comparison of Frequency Dependent Soil Models: Application to the Analysis of Grounding Systems. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2014. Vol. 56. no. 1. P. 177-187. doi: 10.1109/TEMC.2013.2271913.
6. Md. Abdus Salam, Quazi Mehbubar Rahman, Swee Peng Ang, Fushuan Wen. Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*. 2017. no. 5. P. 290–297. doi: 10.1007/s40565-015-0153-8.
7. Alotto P., Torchio R., Andolfato R., Cuccarollo D. Identification of multilayer soil models for grounding systems from surface measurements. *XGSLab: Technical Report*. 2018. 9 p. doi: 10.13140/RG.2.2.35135.15526.
8. Uhlmann G. Electrical impedance tomography and Calderón's problem. *Inverse Problems*. 2009. Vol. 25. P. 2-41. doi: 10.1088/0266-5611/25/12/123011.
9. Chow Y. T., Ito K., Zou J. A direct sampling method for electrical impedance tomography. *Inverse Problems*. 2014. Vol. 30. no. 9. P. 1-25. doi: 10.1088/0266-5611/30/9/095003.
10. Pereira W. R., Soares M. G., Neto L. M. Horizontal multilayer soil parameter estimation through differential evolution. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2015. Vol. 31. no. 2. P. 622–629. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980875.
11. Колиушко Г. М., Колиушко Д. Г., Руденко С. С. К вопросу повышения точности расчета нормируемых параметров заземляющих устройств действующих электроустановок. *Електротехніка і електромеханіка*. 2014. no. 4. С. 65-70. doi: 10.20998/2074-272X.2014.4.13.
12. Koliushko D. G., Rudenko S. S., Asmolova L. V., Tkachova T. I. Determination of the soil sounding depth for the earthing resistance calculation of substations 35 kV. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2020, no 1. P. 52-55. doi: 10.20998/2074-272X.2020.1.08.
13. Koliushko D. G., Rudenko S. S., Saliba A. N. Method of integro-differential equations for interpreting the results of vertical electrical sounding of the soil. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2021. no. 5. P. 67–70. doi: 10.20998/2074-272X.2021.5.09.

References (transliterated)

1. *Test and control devices, electrical grounding*. Standard instruction. SOU 31.2-21677681-19:2009. Kyiv, Minenergougillya Ukrainy Publ., 2010. 54 p.
2. *IEEE Std 80-2013. Guide for Safety in AC Substation Grounding*. New York, IEEE, 2013. 206 p. doi: 10.1109/IEEEESTD.2015.7109078.
3. *IEEE Std 81-2012. Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a*

- Grounding System*. New York, IEEE, 2012. 86 p. doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6392181.
4. Rencher A. C., Christensen W. F. *Methods of multivariate analysis, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc., 2012. 768 p., doi: 10.1002/9781118391686.
 5. Cavka D., Mora N., Rachidi F. A Comparison of Frequency Dependent Soil Models: Application to the Analysis of Grounding Systems. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2014, Vol. 56, no. 1, pp. 177-187, doi: 10.1109/TEMC.2013.2271913.
 6. Md. Abdus Salam, Quazi Mehbubar Rahman, Swee Peng Ang, Fushuan Wen. Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*. 2017, no. 5, pp. 290–297, doi: 10.1007/s40565-015-0153-8.
 7. Alotto P., Torchio R., Andolfato R., Cuccarollo D. Identification of multilayer soil models for grounding systems from surface measurements. *XGSLab: Technical Report*, 2018. 9 p., doi: 10.13140/RG.2.2.35135.15526.
 8. Uhlmann G. Electrical impedance tomography and Calderón's problem. *Inverse Problems*, 2009, Vol. 25, pp. 2-41, doi:10.1088/0266-5611/25/12/123011.
 9. Chow Y. T., Ito K., Zou J. A direct sampling method for electrical impedance tomography. *Inverse Problems*, 2014, Vol. 30, no. 9, pp. 1-25, doi:10.1088/0266-5611/30/9/095003.
 10. Pereira W. R., Soares M. G., Neto L. M. Horizontal multilayer soil parameter estimation through differential evolution. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2015, Vol. 31, no. 2, pp. 622–629, doi: 0.1109/ACCESS.2020.2980875.
 11. Koliushko G. M., Koliushko D. G., Rudenko S. S. On the problem of increasing computation accuracy for rated parameters of active electrical installation ground grids. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2014, no. 4, pp. 65-70, doi: 10.20998/2074-272X.2014.4.13.
 12. Koliushko D. G., Rudenko S. S., Asmolova L. V., Tkachova T. I. Determination of the soil sounding depth for the earthing resistance calculation of substations 35 kV. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2020, no. 1, pp. 52-55, doi: 10.20998/2074-272X.2020.1.08.
 13. Koliushko D. G., Rudenko S. S., Saliba A. N. Method of integro-differential equations for interpreting the results of vertical electrical sounding of the soil. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2021, no. 5, pp. 67–70, doi: 10.20998/2074-272X.2021.5.09.

Відомості про авторів (About authors)

Коліушко Денис Георгійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Denis Koliushko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher, Senior researcher of the Department of Automated electromechanics systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0003-3112-4260; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Руденко Сергій Сергійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Serhii Rudenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher of Research and Design Institute "Molniya" National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0002-2544-1545, e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Коліушко Д. Г., Руденко С. С. Комбінована методика зондування ґрунту в рамках контролю стану заземлювального пристрою. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (12). С. 100-104. doi:10.20998/2413-4295.2022.02.15.

Please cite this article as:

Koliushko D., Rudenko S. Combined technique soil sounding in the framework of monitoring the condition of the grounding system. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 2(12), pp. 100–104, doi:10.20998/2413-4295.2022.02.15.

Надійшла (received) 03.06.2022