

В. І. НИЖЕВСЬКИЙ, С. К. БЕРЕЗКА, С. Ю. ШЕВЧЕНКО, І. В. НИЖЕВСЬКИЙ

УНІКАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ «СТРУМИ В ЗЕМЛІ»

Наведено короткий опис наукової лабораторії, що стала флагманом у галузі електроенергетики і яка дала змогу одержати унікальні результати із заземлень та електробезпеки, що увійшли до державних нормативних документів. Завдяки лабораторії створено відому наукову школу з вивчення процесів у заземлювальних пристроях електроустановок. Лабораторію засновано 1971 року і її опис раніше не наводився. А території лабораторії розташовані головний корпус у вигляді двоповерхової будівлі та розташований поруч генератор імпульсних напруг етажерочного типу на напругу 1,25 МВ. Схема допускає перез'єднання конденсаторів на поверххах для отримання різних ємностей у розряді. Для підключення до досліджуваного заземлювального пристрою використовується переносна повітряна лінія з розщепленими проводами. Наведено карту полів заземлювачів на території лабораторії, що дає змогу конструювати практично будь-яку конструкцію заземлювального пристрою. Використовуються поля вертикальних і горизонтальних заземлювачів різної довжини, поля складних сітчастих заземлювачів, групи одиничних вертикальних електродів різної довжини. Лабораторія має в своєму розпорядженні кілька комплектів електронних високошвидкісних осцилографів з автономним живленням, екранованих та ізованих від землі для виключення наведень. Коло питань для досліджень може бути значно розширено за умови використання вже встановлених об'єктів – експериментальної повітряної лінії напругою 220 кВ на 9 залізобетонних опорах; кабельної лінії завдовжки 600 м; стенду динамічних і термічних випробувань, обладнаного схемою для отримання струмів промислової частоти величиною до 4 кА при напрузі 0,4 кВ; на полі складного сітчастого заземлювального пристрою покладено 120 погонних метрів залізобетонних лотків для укладання в них кабелів зв'язку та керування; двох додаткових генераторів імпульсних напруг 1,6 МВ і 1 МВ (останній допускає транспортування до об'єктів натурних випробувань за межами лабораторії); випробувальних трансформаторів ІОМ-100/100.

Ключові слова: електрифікація, електроустановка, заземлювальний пристрій, унікальна лабораторія, відома наукова школа, процеси в заземлювальних пристроях.

V. I. NIZHEVSKY, S. K. BEREZKA, S. YU. SHEVCHENKO, I. V. NIZHEVSKY

UNIQUE LABORATORY "CURRENTS IN THE GROUND"

A brief description of the scientific laboratory is given, which has become a flagship in the field of electrical energy, which made it possible to obtain unique results on grounding and electrical safety, which were included in state regulatory documents. It is shown that a well-known scientific school has been created in the laboratory for the study of processes in grounding devices of electrical installations. The laboratory was founded in 1971 and has not been described previously. The article shows the main building in the form of a two-story building and a nearby stack-type pulse voltage generator for a voltage of 1,250,000 V. The circuit allows for reconnecting capacitors on floors to obtain different capacitances in the discharge. To connect to the grounding device under study, a portable overhead line with split wires is used. A map of grounding fields on the laboratory territory is provided. This allows you to design almost any design of a grounding device. Fields of vertical and horizontal grounding conductors of various lengths are used; fields of complex mesh grounding conductors; groups of single vertical electrodes of different lengths. The laboratory has several sets of self-powered electronic high-speed oscilloscopes, shielded and isolated from ground to avoid interference. The range of research questions can be significantly expanded by using already installed objects: an experimental overhead line with a voltage of 220 kV on nine reinforced concrete supports; cable line 600m long; a dynamic and thermal test stand, equipped with a circuit for obtaining industrial frequency currents of up to 4 kA at a voltage of 0.4 kV; 120 linear meters of reinforced concrete trays were laid on the field of a complex mesh grounding device for laying communication and control cables in them; two additional pulse voltage generators 1,600,000 V and 1,000,000 V (the latter allows transportation to full-scale test sites outside the laboratory); test transformers IOM-100/100.

Keywords: electrification, electrical installation, grounding device, unique laboratory, famous scientific school, processes in grounding devices.

Вступ. Проблемам вимірювання електричних параметрів землі та заземлювальних пристроїв (ЗП) присвячені фундаментальні роботи відомих вчених як вітчизняних [1–7], так і зарубіжних [8–14]. Великий внесок у цю область зробили А. Л. Вайнер, С. М. Фертік, В. М. Флору, В. І. Гуль, В. І. Ніжевський, І. В. Барбашов, В. П. Волков, Ф. Олендорф, А. Б. Ослон, А. І. Якобс, В. В. Бургсдорф, Б. Г. Меньшов, Ю. В. Целебровський та інші. У своїх роботах і вітчизняні, і зарубіжні дослідники зазначають, що однією з важливих проблем є проблема точного вимірювання опору ЗП різного призначення та електричних параметрів землі в місці розташування останніх. Це своєю чергою також дає змогу розв'язувати й питання електробезпеки.

Як відомо, електроенергетичні системи є складними технічними об'єктами, що містять різні пристрої, які безпосередньо пов'язані з електрикою. Для нормального функціонування всіх сфер

життєдіяльності людини необхідна електрична енергія різної напруги, що виробляється різними джерелами. Саме тому людина пов'язана з електрикою, яка становить для неї велику небезпеку. Розвиток електроенергетики нерозривно пов'язаний із розвитком електробезпеки та підвищенням надійності роботи будь-якої електроустановки. Усе це вимагає розвитку теорії та практики виконання заземлювального пристрою, як основного елемента будь-якої електроустановки.

Метою статті є короткий опис влаштування польової лабораторії (рис. 1) з вивчення процесів у заземлювачах під час стікання з них як імпульсних струмів блискавки, так і струмів промислової частоти.

Короткий опис наукової лабораторії. У зв'язку з 90-річчям кафедри «Передачі електричної енергії» [15] необхідно відзначити й одну з наукових її лабораторій, що заснована 1971 року і опис якої раніше не наводився.

Експериментальна база кафедри передачі електричної енергії – лабораторія «Струми в землі» – призначена для виконання робіт у галузі блискавкозахисту та перенапруг. На базі багаторічних досліджень отримані результати представлялися на організованих кафедрою Міжнародних і Республіканських конференціях із заземлень та електробезпеки, а також увійшли до державних нормативних документів [16].

Лабораторія «Струми в землі» при кафедрі передачі електричної енергії спеціалізована для дослідження процесів у заземлювальних пристроях у реальних умовах, як за імпульсних струмів (блискавки), так і за струмів промислової частоти.

Розташована лабораторія приблизно за 40 км від м. Харкова в районі селища Старий Салтів; площа всієї лабораторії 6,3 га. Відкритий майданчик, на якому розташована лабораторія, з трьох боків оточений лісом, а з четвертого боку відкрите поле сільськогосподарського призначення (рис. 1). Під'їзні шляхи забезпечують доступ до лабораторії в будь-яку погоду.

На огороженій території споруджено двоповерховий лабораторний корпус (рис. 1), оснащений вимірювальною та іншою апаратурою, яка дає змогу вести широкі дослідження імпульсних процесів і реєстрацію струмів промислової частоти з метою вивчення поведінки, як простих, так і складних заземлювальних пристроїв у натуральних умовах.

На огороженій території споруджено двоповерховий лабораторний корпус (рис. 2), оснащений вимірювальною та іншою апаратурою, яка дає змогу вести широкі дослідження імпульсних процесів і реєстрацію струмів промислової частоти з метою вивчення поведінки, як простих, так і складних заземлювальних пристроїв у натуральних умовах.

На майданчику біля будівлі лабораторії встановлено генератор імпульсних напруг (ГІН),

номінальна напруга якого $U_{\text{ном}} = 1,25 \cdot 10^6$ В, а ємність у розряді $C_{\text{розряду}} = 0,256 \cdot 10^{-6}$ Ф (рис. 3).

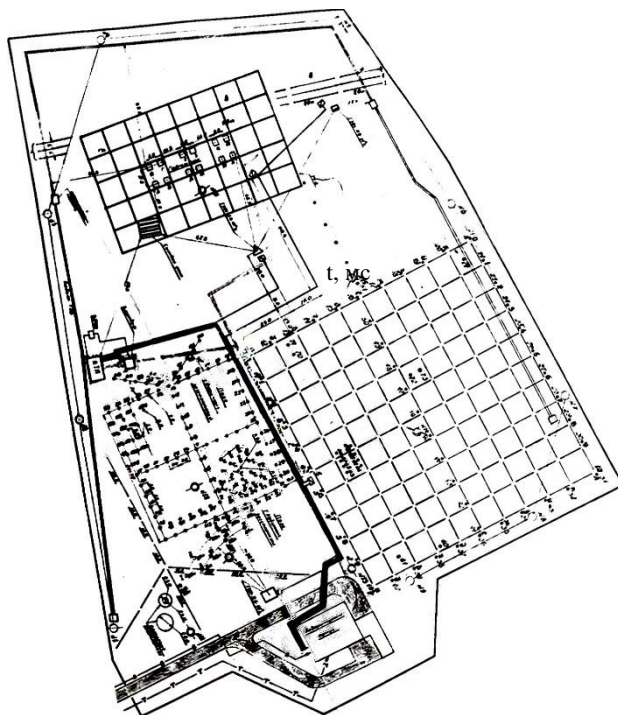


Рисунок 1 – План польової лабораторії «Струми в землі»

ГІН має конструкцію етажерочного типу. У схемі використано паперово-масляні конденсатори $U_{\text{ном}} = 125$ кВ; $C = 0,64$ мкФ. Схема допускає перез'єднання конденсаторів на поверххах для отримання різних ємностей у розряді. Керування ГІН здійснюється з пультової кімнати, розташованої на другому поверсі будівлі лабораторії (рис. 2). На цьому ж поверсі розташовані конференц-зал, фотолaboratorія, приміщення для відпочинку, духова, а також оглядова галерея. Аналогічна галерея розташована на першому поверсі.



Рисунок 2 – Основні споруди польової лабораторії

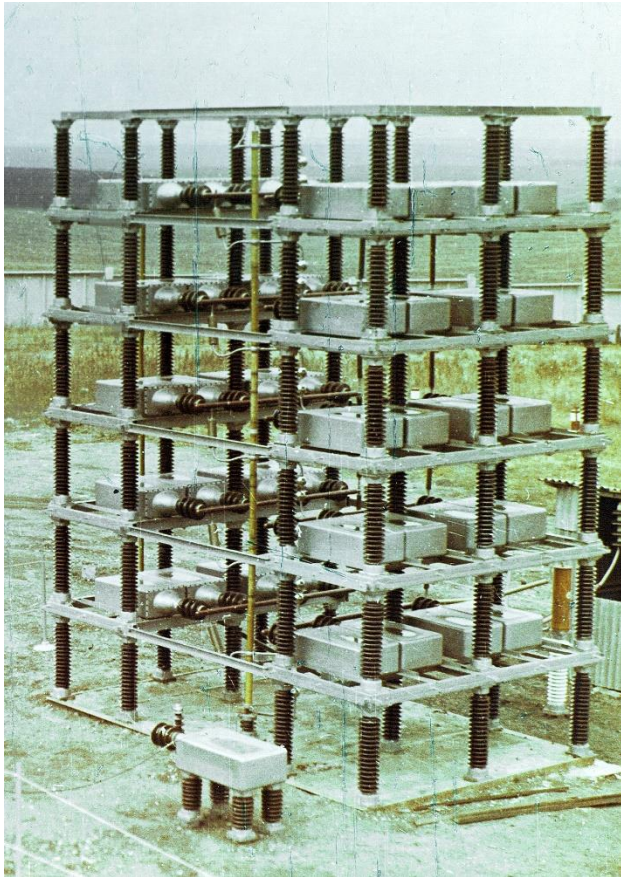


Рисунок 3 – Генератор імпульсних напруг

На першому поверсі також розташовані лабораторні кімнати з обладнанням і приладами, кімната для робочого одягу та переодягання, кімната для приготування їжі, їдальня. Зі східного боку будівлі розташована акумуляторна, а також гараж із майстернею для мікроавтобуса.

Лабораторія має в своєму розпорядженні кілька комплектів електронних високошвидкісних осцилографів з автономним живленням. Осцилографічна станція змонтована на ізолювальних підставках (рис. 4), що дає змогу операторам реєструвати імпульсні струми і напруги в будь-якій точці поля заземлювачів.

Осцилографи мають очікувальну розгортку і радіозапуск із регульованим випередженням моменту розряду ГІН.

Осцилографи захищені від електромагнітних полів імпульсних струмів, що заважають, спеціальними екранами

ГІН може створити струм розряду в довільній точці поля заземлювачів; зв'язок між ГІН і заземлювачами виконано лінією, яку легко переміщати, з розщепленими дротами (рис. 5).

Випробувальні поля заземлювачів. У лабораторії «Струми в землі» виконуються дослідження заземлювачів у натуральних умовах. Заземлювачі розташовані на окремих полях (рис. 1):

а) поля вертикальних і горизонтальних заземлювачів різної довжини;

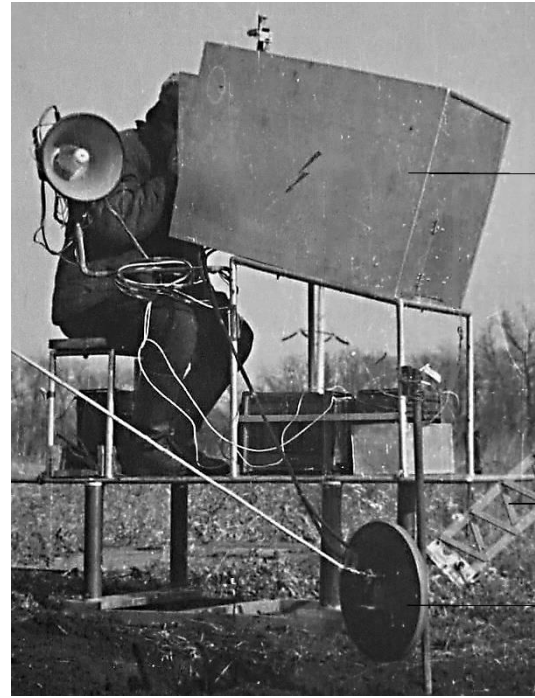


Рисунок 4 – Осцилографічна станція

б) поля складних сітчастих заземлювачів розміром $100 \times 100 \text{ м}^2$ і $50 \times 80 \text{ м}^2$.

1. Поле вертикальних заземлювачів складається зі 120 електродів, що утворюють 4 пов'язані між собою квадрати зі стороною 30 м, довжина електродів 5 м, крок розміщення 5 м. Є групи одиничних вертикальних електродів довжиною 1, 2 і 3 метри. Усі електроди одиничних вертикальних заземлювачів виконані з круглої пруткової сталі діаметром 16 мм і занурені в землю індустріальним способом. Вивід на поверхню має довжину 30–50 см, до кінців електродів приварені оцинковані виводи з різьбленням М16.

2. Поле глибинних заземлювачів складається з 10 електродів різної довжини від 5 до 72 м, частина з яких виконана обсадними трубами із зовнішнім діаметром від 12 см до 42,5 см. Глибинні електроди занурені в землю за допомогою бурової установки ударним способом.

3. Поле простих горизонтальних заземлювачів являє собою променеві електроди довжиною 10 м, 20 м і 30 м та діаметром 16 мм. Вони укладені на глибину 0,5 м і дають змогу за допомогою нескладних перемикань зібрати трипроменеві зірки з кутом 60° і 120° і довжиною променя від 10 м до 50 м.

4. Поля кільцевих електродів діаметром 3 м, 6 м і 9 м також виконані з пруткової сталі діаметром 16 мм і укладені на глибині 0,5 м.

5. Поле складного сітчастого заземлювача розміром $100 \times 100 \text{ м}^2$ складається з горизонтальних електродів довжиною 10 м кожен. Поодинокі відрізки виконані з пруткової сталі діаметром 16 мм і покладені на глибині 0,8 м з виходом на денну поверхню в 121 точці сполучення. За допомогою гнучких зв'язків можна створювати заземлювальні сітки з осередками $10 \times 10 \text{ м}^2$; $10 \times 20 \text{ м}^2$; $10 \times 30 \text{ м}^2$; $20 \times 20 \text{ м}^2$; $30 \times 30 \text{ м}^2$; $40 \times 40 \text{ м}^2$ і сторонами до 100 м.

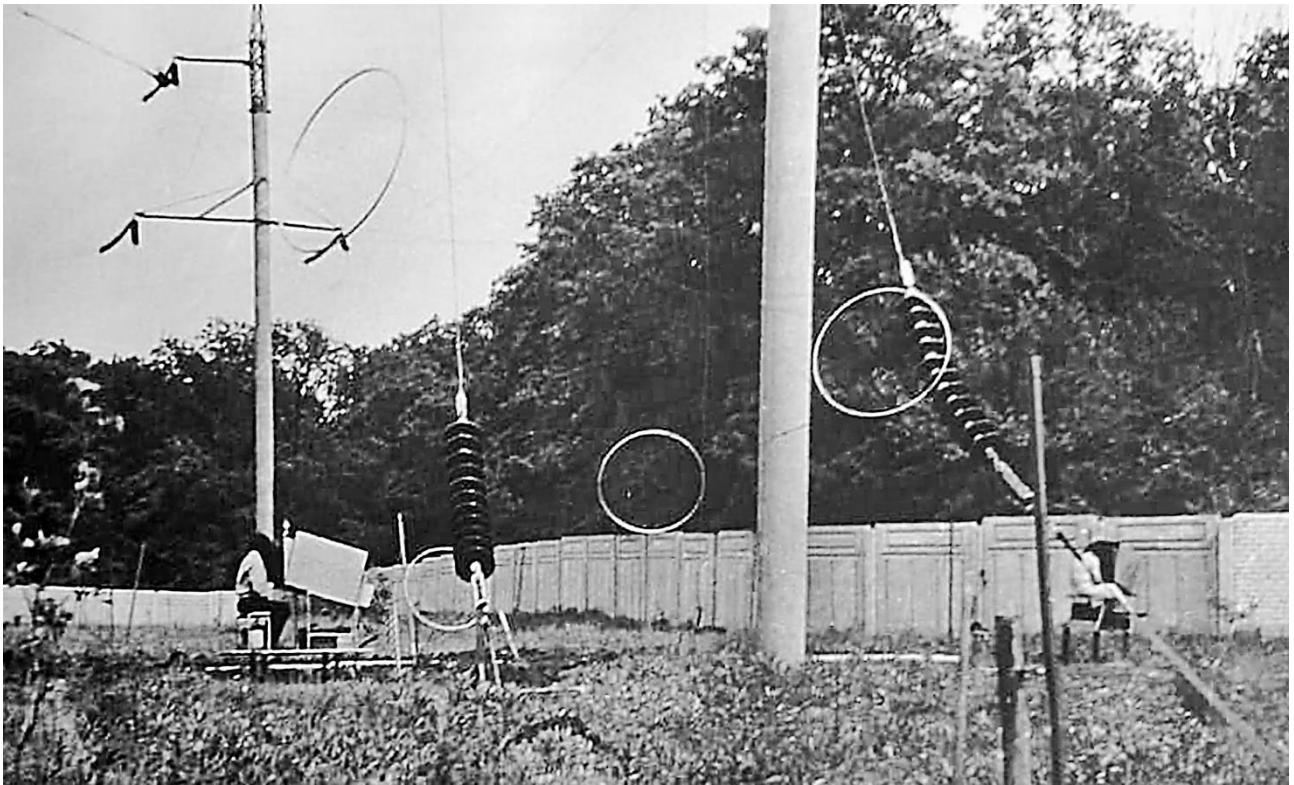


Рисунок 5 – Мобільні експерименти поля заземлювачів підключенням лінії з розщепленими дротами

По периметру сітки і вздовж центральної магістралі занурено (за допомогою віброзанурювача) вертикальні електроди довжиною 5 м діаметром 16 мм, які дають змогу доповнити складне сітчасте заземлення розміром $100 \times 100 \text{ м}^2$ і $100 \times 50 \text{ м}^2$ вертикальними електродами, розміщеними по периметру відповідного контуру.

б. Поле складного сітчастого заземлювача розміром $50 \times 80 \text{ м}^2$ являє собою сітку з осередками $10 \times 10 \text{ м}^2$ і систему 12 залізобетонних фундаментних елементів типу Ф-5. Підніжки в системі сітчастого заземлення можуть бути використані самостійно і в різних комбінаціях, а також можуть бути підключені до заземлювальної сітки.

Коло питань для досліджень у польовій лабораторії «Струми в землі» може бути значно розширено за умови використання вже встановлених об'єктів, до яких належать:

а) експериментальна повітряна лінія (рис. 6) напругою 220 кВ на 9 залізобетонних опорах зі стійками типу СН-220. Фазні проводи виконані проводами АС-120, грозозахисний трос С-70. На кінцевих опорах проводи пов'язані з анкерним пристроєм через ізолювальні вставки;

б) кабельна лінія довжиною 600 м, виконана кабелем зв'язку марки ТЗБ і розділена вимірювальними колодязями на 3 ділянки довжиною по 200 м кожна;

в) стенд динамічних і термічних випробувань, обладнаний схемою для отримання струмів промислової частоти величиною до 4 кА за напруги 0,4 кВ;

г) на полі складного сітчастого заземлювального пристрою влаштовано 120 погонних метрів залізобетонних лотків типу Л-4 для укладання в них ланцюгів зв'язку, сигналізації та управління комутаційною апаратурою підстанції;

д) два генератори імпульсних напруг, які мають такі параметри:

$U_{\text{ном}} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ В}$, $C_{\text{розряду}} = 0,0625 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ та $U_{\text{ном}} = 1 \cdot 10^6 \text{ В}$, $C_{\text{розряду}} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$, останній допускає транспортування до об'єктів натурних випробувань, зокрема й поза межами лабораторії «Струми в землі»;

е) випробувальні трансформатори ІОМ-100/100.



Рисунок 6 – Повітряна лінія 220 кВ

Висновки. Описана лабораторія є унікальною і єдиною не тільки в Україні, а й у Європі, що неодноразово відзначалося зарубіжними вченими на різноманітних конференціях.

Основні результати досліджень електричних характеристик простих і складних заземлювачів, наявних у лабораторії, як за частоти 50 Гц, так і за великих імпульсних струмів (струмів блискавки), опубліковано в наукових виданнях.

Протягом багатьох років велися роботи в таких основних напрямках:

- Дослідження і розробка надійних заземлювальних пристроїв потужних підстанцій 750 кВ у розрахунку на відведення струмів блискавки силою 50–100 кА.

- Розробка технічної документації на нові заземлювальні пристрої для електропередач надвисоких напруг, що забезпечують економію металу під час їхнього спорудження і підвищують надійність електропередачі.

- Розробка технічних пропозицій щодо уніфікації підходу до розрахунків та імпульсні характеристики елементів конструкцій заземлювальних пристроїв ліній електропередачі високої напруги.

- Керівні вказівки щодо захисту від перенапруг електротехнічних установок змінного струму 110/750 кВ.

- Дослідження і розробка заземлювальних пристроїв для керівного документа з блискавкозахисту будівель і споруд.

Крім того, спеціальні дослідження було проведено для розробки інструкції із захисту підземних кабелів зв'язку від розрядів блискавок.

Список літератури

1. Вайнер А. Л. Заземления. Харьков : ГНТИ Украины, 1938. 287 с.
2. Вайнер А. Л., Потужний А. К., Фертик С. М. Импульсные характеристики единичных заземлителей. *Электрические станции*. 1941. № 3. С. 15–19.
3. Вайнер А. Л. Стеkanie тока с элементов железобетонных фундаментов опор линий электропередачи. *Электричество*. 1960. № 12. С. 34–40.
4. Вайнер А. Л., Флору В. Н. Экспериментальное исследование и метод расчета импульсных характеристик глубинных заземлителей. *Электричество*. 1971. № 5. С. 18–22.
5. Гуль В. И., Барбашов И. В., Шейко В. П. Учет естественной проводимости железобетонного фундамента подстанции 110/10 кВ закрытого исполнения. *Вестник Харьковского политехнического института. Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок*. 1978. Вып. 143, № 6. С. 44–48.
6. Гуль В. И., Нижевский В. И. Аналитический метод расчета импульсного сопротивления вертикального заземлителя в неоднородном грунте. *Вестник Харьковского политехнического института. Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок*. 1980. Вып. 169, № 8. С. 48–52.
7. Волков В. П., Бондаренко В. Е. Расчет и проектирование заземляющих устройств электроустановок высокого напряжения : учебное пособие. Киев : УМК ВО, 1990. 116 с.
8. Ollendorff F. Erdströme: Grundlagen der Erdschluss - und Erdungs fragen. Springer, 1928. 255 p.
9. Ослон А. Б. Заземляющие устройства на линиях электропередачи и подстанциях высокого напряжения. *Итоги науки и техники ВИНТИ. Серия: Электрические станции, сети и системы*. 1966. С. 65.
10. Якобс А. И. Нормирование электрических характеристик и конструктивных параметров заземляющих устройств электроустановок с большими токами замыкания на землю. *Промышленная энергетика*. 1974. № 9. С. 18–21.
11. Бургсдорф В. В., Беляев А. С., Королев С. Г., Найфельд М. Р., Якобс А. И. Об изменении норм на заземляющие устройства

- напряжением выше 1000 В с заземленной нейтралью. *Электрические станции*. 1975. № 3. С. 35–39.
12. Рябкова Е. Я. Заземления в установках высокого напряжения. Москва : Энергия, 1978. 224 с.
 13. Бургсдорф В. В., Якобс А. И. Заземляющие устройства электроустановок. Москва : Энергоатомиздат, 1987. 400 с.
 14. Кац Е. Л., Меньшов Б. Г., Целебровский Ю. В. Заземляющие устройства электроустановок высокого и низкого напряжений. *Итоги науки и техники ВИНТИ. Серия: Электрические станции, сети и системы*. 1989. Т. 15.
 15. Барбашов И. В., Бондаренко В. О., Нижевский В. И., Шевченко С. Ю. До 90-річчя кафедри «Передача електричної енергії» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*. 2020. № 1 (1). С. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2020.01.01>.
 16. СОУ 31.2-21677681-19:2009. Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція. На заміню ГНД 34.20.303-2003 ; чинний від 2010-03-30. Вид. офіц. Київ : Міністерство палива та енергетики України, ОЕП «ГРІФРЕ», 2010.

References

1. A. L. Vainer, *Zazemleniia [Grounding]*. Kharkiv: GNTI Ukr., 1938. (in Russian)
2. A. D. Vainer, A. K. Potuzhnyi, and S. M. Fertik, "Impulsnye kharakteristiki edinichnykh zazemlitelei [Impulse characteristics of single earthing devices]", *Elektricheskie stantsii*, no. 3, pp. 15–19, 1941. (in Russian)
3. A. L. Vainer, "Stekanie toka s elementov zhelezobetonnykh fundamentov opor linii elektropredachi [Current flow from elements of reinforced concrete foundations of transmission line supports]", *Elektrichestvo*, no. 12, pp. 34–40, 1960. (in Russian)
4. A. L. Vainer and V. N. Floru, "Eksperimentalnoe issledovanie i metod rascheta impulsnykh kharakteristik glubinykh zazemlitelei [Experimental study and method of calculation of impulse characteristics of deep earth electrodes]", *Elektrichestvo*, no. 5, pp. 18–22, 1971. (in Russian)
5. V. Y. Hul, Y. V. Barbashov, and V. P. Sheiko, "Uchet estestvennoi provodimosti zhelezobetonnoho fundamenta podstantsii 110/10 kV zakrytogo ispolneniia [Accounting of natural conductivity of reinforced concrete foundation of 110/10 kV substation of closed design]", *Vestnik Kharkovskogo Politekhnicheskogo Instituta. Elektroenergetika I Avtomatizatsiia Energoustanovok*, vol. 143, no. 6, pp. 44–48, 1978. (in Russian)
6. V. Y. Hul and V. Y. Nyzhevskiy, "Analiticheskii metod rascheta impulsnogo soprotivleniia vertikalnogo zazemlителя v neodnorodnom grunte [Analytical method of calculation of impulse resistance of vertical earth electrode in inhomogeneous soil]", *Vestnik Kharkovskogo Politekhnicheskogo Instituta. Elektroenergetika I Avtomatizatsiia Energoustanovok*, vol. 169, no. 8, pp. 48–52, 1980. (in Russian)
7. V. P. Volkov and V. E. Bondarenko, *Raschet I Proektirovanie Zazemlaiushchikh Ustroistv Elektrostanovok Vysokogo Napriazheniia [Calculation and Design of Earthing Devices of High Voltage Electrical Installations]*. Kyiv: UMK VO, 1990. (in Russian)
8. F. Ollendorff, *Erdströme: Grundlagen der Erdschluss - und Erdungs fragen*. Springer, 1928.
9. A. B. Oslon, "Zazemlaiushchie ustroistva na liniakh elektropredachi i podstantsiakh vysokogo napriazheniia [Grounding devices on power transmission lines and high voltage substations]", *Itogi nauki i tekhniki VINITI. Seriya: Elektricheskie stantsii, seti i sistemy*, pp. 65–184, 1966. (in Russian)
10. A. I. Yakobs, "Normirovanie elektricheskikh kharakteristik i konstruktivnykh parametrov zazemlaiushchikh ustroistv elektroustanovok s bolshimi tokami zamykaniia na zemliu [Norming of electrical characteristics and design parameters of earthing devices of electrical installations with large earth-fault currents]", *Promyshlennaiia energetika*, no. 9, pp. 18–21, 1974. (in Russian)
11. V. V. Burhsdorf, A. S. Beliaev, S. H. Korolev, M. R. Naifeld, and A. I. Yakobs, "Ob izmenenii norm na zazemlaiushchie ustroistva napriazheniem vyshе 1000 V s zazemlennoi neutraliu [On the change

- of norms for earthing devices of voltage above 1000 V with earthed neutral]”, *Elektricheskie stantsii*, no. 3, pp. 35–39, 1975. (in Russian)
12. E. Ya. Riabkova, *Zazemleniia v Ustanovkakh Vysokogo Napriazheniia [Grounding in High Voltage Installations]*. Moscow: Energiia, 1978. (in Russian)
 13. V. V. Burhsdorf and A. I. Yakobs, *Zazemliaiushchie Ustroistva Elektroustanovok [Grounding Devices of Electrical Installations]*. Moscow: Zazemliaiushchie Ustroistva Elektroustanovok, 1987. (in Russian)
 14. E. L. Kats, B. G. Menshov, and Yu. V. Tselebrovskiy, “Zazemliaiushchie ustroistva elektroustanovok vysokogo i nizkogo napriazhenii [grounding devices of high and low voltage electrical installations]”, *Itoги nauki i tekhniki VINITI. Seriya: Elektricheskie stantsii, seti i sistemy*, vol. 15, 1989. (in Russian)
 15. I. V. Barbashov, V. O. Bondarenko, V. I. Nizhevsky, and S. Y. Shevchenko, “To the 90th anniversary of the Department of Electric power transmission of the National technical university “Kharkiv polytechnic institute””, *Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 1 (1), pp. 4–9, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2020.01.01>. (in Ukrainian)
 16. *Vyprobuvannia ta kontrol prystroiv zazemlennia elektroustanovok. Typova instruksiiia [Testing and inspection of earthing devices in electrical installations. Standard instruction]*, SOU 31.2-21677681-19:2009, Derzhavne pidpriemstvo DonORHRES, NDKPI “Molniiia”, NTU “KhPI,” Kyiv, 2010. (in Ukrainian)

Надійшла (received) 05.12.2023

Відомості про автора (-ів) / About the Author (-s)

Ніжевський Віктор Ілліч (Viktor Nizhevsky) – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8823-2628>; e-mail: victornizhevski@gmail.com

Березка Сергій Костянтинович (Sergey Berezka) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5728-744X>; e-mail: sergiy.berezka@khp.edu.ua.

Шевченко Сергій Юрійович (Sergii Shevchenko) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри передачі електричної енергії, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-7787>; e-mail: Sergii.Shevchenko@khp.edu.ua.

Ніжевський Ілля Вікторович (Ilya Nizhevskiy) – кандидат технічних наук, головний конструктор, Українсько-литовське ТОВ НВП «Дельта-ВХ», м. Харків, Україна; e-mail: victornizhevski@gmail.com.