УДК 621.316.99 doi:10.20998/2413-4295.2022.04.12

ВИБІР СПОСОБУ ОБЛАШТУВАННЯ МІСЦЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОПУСТИМОГО ЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ ДОТИКУ

Д. Г. КОЛІУШКО, С. С. РУДЕНКО*, О. Є. ІСТОМІН

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

АНОТАЦІЯ *Забезпечення допустимого значення напруги дотику в діючих електроустановках є необхідною умовою для електричної безпеки персоналу та сторонніх осіб. На основі літературних даних проаналізовано, у яких випадках досягти допустимих значень напруги дотику лише за допомогою конструкції заземлювального пристрою неможливо. Показано, що забезпечення допустимого значення напруги дотику виконується шляхом облаштування спеціальним чином як місця оперативного обслуговування обладнання, так і території відкритого розподільчого пристрою. Виконано вибір способу облаштування місця обслуговування для забезпечення допустимого значення напруги дотику на обладнанні відкритого розподільчого пристрою при однофазному замиканні на землю. При виконанні роботи були використанні статистичні методи аналізу, метод амперметра-вольтметра для експериментального визначення опору основи за методикою НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ». Вперше на основі статистичних даних було проаналізована необхідність облаштування місця оперативного обслуговування обладнання для забезпечення припустимого значення напруги дотику на діючих підстанціях класом 110 (150) кВ та 330 (220) кВ. Експериментальним шляхом визначено розкид значень опору основи. Проаналізовано найпоширеніші способи облаштування місць оперативного обслуговування обладнання: технологічні (природні), а саме: залізобетонний басейн з шаром щебеню, кабельний канал або лоток, асфальтові доріжки та спеціально створені (штучні), а саме: металева конструкція, шар щебеню, залізобетонні плити, бетонні плити без риштунку, тротуарна плитка, бетонні плити (тротуарна плитка) з домішками гравію, полімерпіщані плити. Виконано вимірювання опору основи при використанні перелічених способів на діючих підстанціях. На основі результатів експериментальних вимірювань опору основи на діючих підстанціях визначено переваги і недоліки різних способів облаштування місця обслуговування, та надані рекомендації щодо їх використання.*
Ключові слова: *підстанція; відкритий розподільчий пристрій; заземлювальний пристрій; напруга дотику; опір основи; питомий опір*

SELECTION OF THE TECHNIQUE OF ARRANGEMENT OF EQUIPMENT SERVICE AREA TO PROVIDE THE PERMISSIBLE TOUCH VOLTAGE

D. KOLIUSHKO, S. RUDENKO*, O. ISTOMIN

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

ABSTRACT *Ensuring the permissible value of the touch voltage in operating electrical installations is a necessary condition for the electrical safety of personnel and third parties. In the study, based on literature data, it is analyzed in which cases it is impossible to achieve the permissible values of the touch voltage only with the help of the design of the grounding system. It is shown that ensuring the permissible value of the touch voltage is performed by arranging in a special way both the place of operational maintenance of the equipment and the territory of the opendoor switchgear. It is study the selection a technique of arrangement of the service place to ensure the permissible value of the touch voltage on the equipment of the opendoor switchgear during a single-phase short circuit to the ground. When performing the work, statistical methods of analysis, the ammeter-voltmeter method for experimental determination of the resistance of the base according to the method of Research&Design institute "Molniya" NTU "KhPI" were used. For the first time, on the basis of statistical data, the necessity of arrangement of equipment service area to ensure an acceptable value of touch voltage at operating substations of class 110 (150) kV and 330 (220) kV was analyzed. The spread of base resistance (ground resistance of human foot) values was determined experimentally. The most common ways of arrangement of equipment service area were analyzed: technological (natural), namely: a reinforced concrete pool with a layer of crushed stone, a cable channel or tray, asphalt paths and specially created (artificial) ones, namely: a metal structure , a layer of crushed stone, reinforced concrete slabs, concrete slabs without scaffolding, paving slabs, concrete slabs (paving slabs) with gravel admixtures, polymer sand slabs. The base resistance was measured for the listed techniques at operating substations. The advantages and disadvantages of various arrangement of equipment service area are determined, and recommendations for their use are provided.*
Keywords*: substation; opendoor switchgear; grounding system; touch voltage; ground resistance of human foot; resistivity*

Вступ

У відкритих розподільчих пристроях (ВРП) високовольтних підстанцій напругою 110 кВ і вище для безпеки персоналу та надійної роботи обладнання облаштовується заземлювальний пристрій (ЗП), який представляє собою розгалужену систему з горизонтальних та вертикальних заземлювачів, з'єднаних між собою відповідно до міжнародних та вітчизняних вимог [1-8]. Така система при протіканні струмів однофазного замикання на землю (ОЗЗ) дозволяє зменшити потенціал на ЗП, вирівняти розподіл потенціалів по поверхні ґрунту, що в свою чергу приводить до зниження напруги дотику.

В Україні та світі основним параметром, що характеризує електробезпеку, є напруга дотику. В загальному випадку, вона визначається, як:

$$U_t = \left|\varphi_e - \varphi_P\right| \frac{R_b}{R_b + R_f}, \quad (1)$$

де φ_e – потенціал на конструкції обладнання, φ_P – потенціал на поверхні землі в місці обслуговування, на

© Д. Г. КОЛІУШКО, С. С. РУДЕНКО, О. Є. ІСТОМІН, 2022

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

відстані 0,8 м або 1,0 м від обладнання, R_b – опір тіла людини 1000 Ом [8]; R_f – опір основи.

Таким чином, вважається, що коли конструкція ЗП виконана відповідно до вимог [7] різниця потенціалів є відносно невеликою, а напруга дотику не перевищує допустиме значення, яке є функцією часу спрацювання захисту (див. рис. 1).

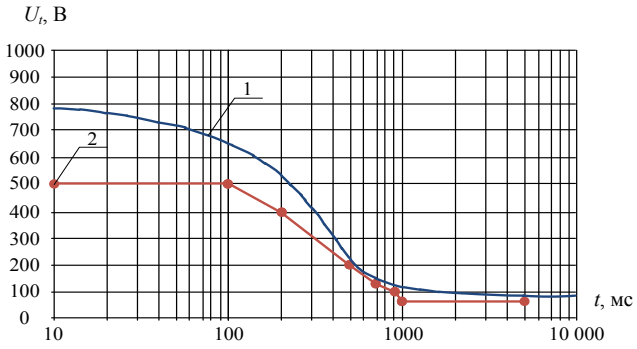

Рис. 1 – Залежність допустимої величини напруги: крива 1 згідно [1]; крива 2 згідно [7]

Проте існують такі випадки, коли досягти допустимих значень напруги дотику лише за допомогою конструкції ЗП неможливо. Це може виникнути внаслідок впливу наступних факторів або їх комбінації:

– велике значення струму ОЗЗ (в Україні може сягати 60 кА) [9];

– тривалий час дії пристроїв захисту. Наприклад, якщо час дії захисту 0,1 с, то U_t буде дорівнювати 500 В, а при часі дії захисту ≥1 с – U_t = 65 В (див. рис. 1);

– розташування електроустановки з малою діагоналлю ЗП у стислій забудові (при великому значенні струму ОЗЗ виникає значна напруга на ЗП) [9];

– високий питомий опір всіх шарів ґрунту (неефективність встановлення вертикальних заземлювачів з метою зменшення напруги на ЗП) [10] або досить суттєва товщина шару з великим питомим опором (встановлення вертикального заземлювача на потрібну глибину може бути недоцільним);

– співвідношення значень питомих опорів першого та другого шарів ґрунту значно більше одиниці (розподіл еквіпотенціалей є дуже щільним, відповідно й значення напруги дотику буде високим) [9];

– низьке значення опору розтікання струму з ніг людини (опору основи R_f) [11].

У такому випадку національними та міжнародними стандартами передбачено забезпечення допустимого значення напруги дотику шляхом облаштування спеціальним чином як місця оперативного обслуговування обладнання, так і території відкритого розподільчого пристрою. Національні стандарти України вказують, що для зниження напруги дотику може бути виконане підсипання шару щебеню товщиною від 0,1 м до 0,2 м, що фактично збільшує опір основи, як видно з (1).

Міжнародні та національні стандарти інших країн (Великобританії, США, Бразилії, Швейцарії тощо) передбачають використання різного роду ізолюючих поверхонь для збільшення опору основи (наприклад, асфальтове покриття) або облаштування спеціальних місць оперативного обслуговування з провідних матеріалів, які гальванічно приєднанні до ЗП (при опорі контактних з'єднань, які мають бути менше 0,1 Ом, різниця потенціалів між площадкою та заземленим обладнанням є близькою до нуля). Проте в жодному з цих стандартів не надано рекомендацій щодо способу облаштування місця обслуговування обладнання та вибору матеріалів. Враховуючи, що різниця між вартістю реалізації різних способів може сягати десятків разів (наприклад, використання бетонних плит або асфальтового покриття), актуальною є задача вибору способу облаштування місця обслуговування високовольтного обладнання електроустановок для забезпечення електробезпеки персоналу.

Мета роботи

Метою роботи є вибір способу облаштування місця обслуговування для забезпечення допустимого значення напруги дотику на обладнанні відкритого розподільчого пристрою при ОЗЗ.

Дослідження пропонується виконати на основі статистичної бази даних, що була накоплена в ході виконання електромагнітної діагностики стану ЗП ВРП електричних станцій та підстанцій класом напруги 110–330 кВ, а також приймально-здавальних випробувань після реконструкції ЗП за рекомендаціями, що були розроблені авторами.

1. Статистичні дані щодо необхідності збільшення опору основи

При проведені аналізу були використані відомості для підстанцій обленерго класом напруги 110 (150) кВ та НЕК «Укренерго» класом напруги 220 (330) кВ. Слід зауважити, що тут і далі було використано розподіл між електроенергетичними системами та обленерго, який існував до початку війни 2014 р. Також, на підстанціях НЕК «Укренерго» при проведенні аналізу окремо розглядалися ВРП-110 (150) кВ та ВРП-220 (330) кВ. Для підстанцій НЕК «Укренерго» об'єм вибірки склав: Дніпровська електроенергетична система (ЕС) – 20 підстанцій, Донбаська ЕС – 17, Західна ЕС – 11, Кримська ЕС – 4, Північна ЕС – 13, Центральна ЕС– 12, Південна ЕС – 7, Південно-Західна – 1. В табл. 1 наведено статистичні дані для перелічених підстанцій електроенергетичних систем щодо необхідності облаштування додатково ізолюючого шару в місці оперативного обслуговування обладнання.

Загалом було проаналізовано 84 підстанції НЕК «Укренерго» зі 134 і якщо прийняти репрезентативність вибірки, то облаштовувати місце оперативного обслуговування обладнання необхідно в середньому на 55 % ВРП-220 (330) кВ та 76 % ВРП-110 (150) кВ. При цьому діапазон необхідного опору основи для забезпечення допустимого значення напруги дотику лежить в діапазоні від 0,9 кОм до 30,0 кОм.

Таблиця 1 – Необхідність облаштування місця обслуговування для підстанцій НЕК «Укренерго»

Назва ЕС	Кількість підстанцій, %:			Діапазон значень необхідного R_f, кОм:			
				мінімальне		максимальне	
	проаналізованих від загальної кількості	необхідне збільшення R_f		ВРП-220 (330) кВ	ВРП-110 (150) кВ	ВРП-220 (330) кВ	ВРП-110 (150) кВ
		ВРП-220 (330) кВ	ВРП-110 (150) кВ				
Дніпровська ЕС	90,9	80,0	90,0	1,0	1,0	4,5	4,5
Донбаська ЕС	60,7	52,9	82,4	1,5	1,0	4,5	7,5
Західна ЕС	55,0	27,3	63,6	2,0	0,9	5,0	5,0
Кримська ЕС	23,5	0,0	0,0	–	–	–	–
Північна ЕС	92,9	61,5	84,6	1,2	30,0	1,4	30,0
Центральна ЕС	92,3	58,3	75,0	1,5	10,0	1,5	10,0
Південна ЕС	58,3	50,0	83,3	1,7	4,5	1,0	4,5
Південно-Західна ЕС	11,1	0,0	0,0	–	–	–	–

На рис. 2 наведено розподіл частості R_f для підстанцій НЕК «Укренерго».

Також було обрано низку обленерго, для яких існує можливість досить широко аналізувати географію розташування на території України, та було виконано найбільший відсоток діагностики підстанцій класом напруги 110(150) кВ відносно загальної їх кількості, зокрема це: Дніпрообленерго – 72 підстанції; Донецькобленерго – 86; Житомирообленерго – 11; Сумиобленерго – 37; Харківобленерго – 45, Кременерго – 51, Кіровоградобленерго – 19.

У табл. 2 наведено статистичні дані для підстанцій перелічених обленерго щодо необхідності облаштування додатково ізолюючого шару в місці оперативного обслуговування обладнання.

Загалом було проаналізовано 321 підстанцію 110(150) кВ обленерго, що складає приблизно 25% від загальної кількості підстанцій України відповідного класу напруги. На рис. 3 наведено розподіл частості величини R_f для вказаних підстанцій. При цьому діапазон значень опору основи для забезпечення допустимого рівня напруги дотику лежить в інтервалі від 0,7 кОм до 30,0 кОм.

Загалом, якщо прийняти репрезентативність вибірки, то облаштовувати місце оперативного обслуговування обладнання необхідно в середньому на 48 % підстанцій.

На рис. 4 наведено розподіл накопиченої частості F для всіх проаналізованих енергооб'єктів. Як бачимо, опір основи 3 кОм дозволяє забезпечити допустиме значення напруги дотику для 50 % підстанцій класом напруги 110 (150) кВ, а опір 12,5 кОм – для 95 %. При цьому, для підстанцій НЕК "Укренерго" 330 (220) кВ є характерним зміщення значень R_f в діапазон [1,0; 6,0] кОм, який фактично охоплює 95 % об'єктів, а опір основи 2,5 кОм дозволяє забезпечити допустиме значення напруги дотику для 50 % підстанцій.

2. Аналіз існуючих способів підвищення опору основу

Для визначення найбільш ефективного способу підвищення опору основи необхідно проаналізувати технічні рішення, які застосовуються на діючих підстанціях.

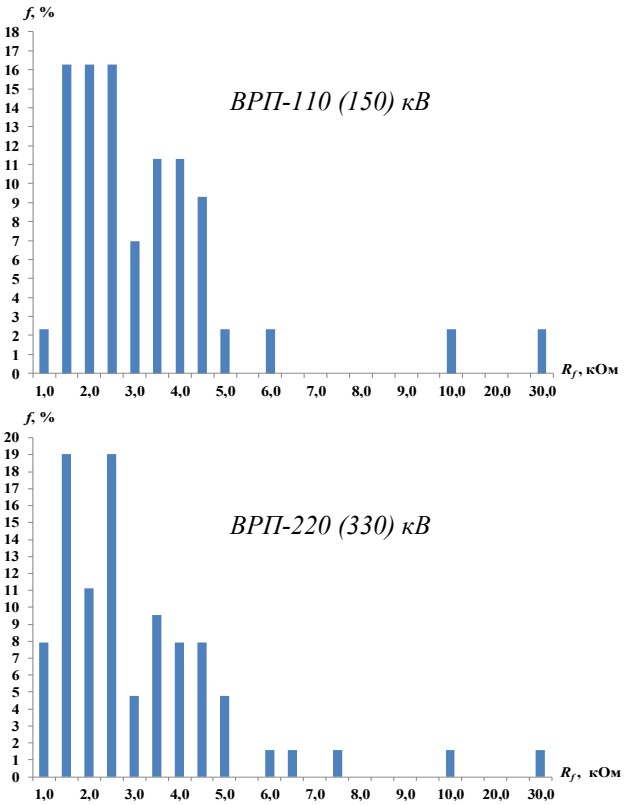

Рис. 2 – Розподіл частості f опору основи для підстанцій НЕК «Укренерго»

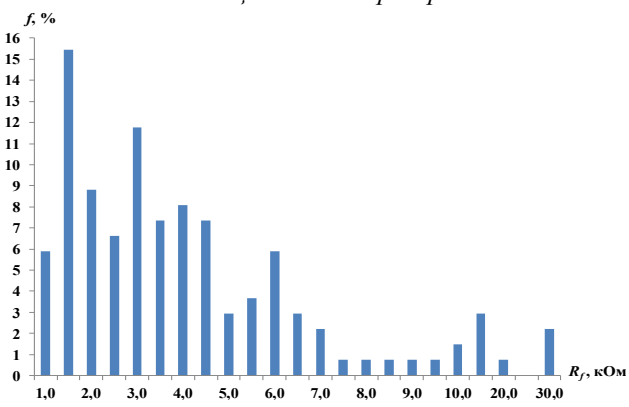

Рис. 3 – Розподіл частості f опору основи для підстанцій обленерго

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Таблиця 2 – Необхідність облаштування місця обслуговування для підстанцій обленерго

Назва обленерго	Кількість підстанцій, %:		Діапазон значень необхідного R_f, кОм:	
	проаналізованих від загальної кількості	необхідне збільшення R_f	мінімальне	максимальне
Дніпрообленерго	100,0	48,6	1,0	13,0
Донецькобленерго	91,5	58,1	0,7	10,0
Житомиробленерго	21,6	36,4	5,7	8,0
Сумиобленерго	100,0	56,8	2,5	28,0
Харківобленерго	52,3	71,1	0,9	28,0
Кременерго	68,0	15,7	1,5	4,5
Кіровоградобленерго	86,4	26,3	0,8	3,7

Можна виділити дві різних за призначенням групи: технологічні (природні) – які слугують для виконання певних функцій, але розташовані так, що можуть бути використані при обслуговуванні обладнання та спеціально створені (штучні). До перелічених груп відносяться наступні способи:

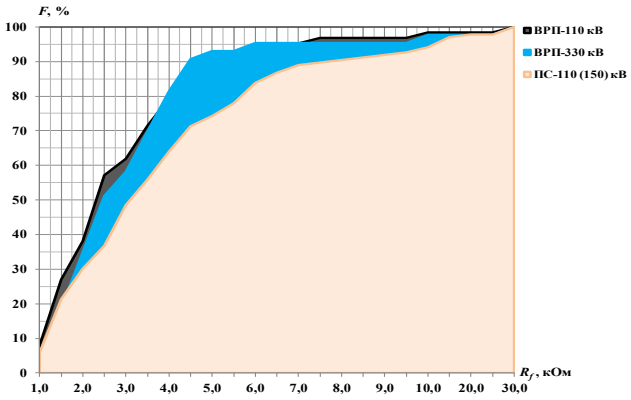

Рис. 4 – Накопичена частість F для підстанцій класом напруги 110–330 кВ

1. Технологічні:

– залізобетонні басейни з шаром щебеню (біля силових трансформаторів та вимикачів);

– асфальтові доріжки;

– залізобетонні конструкції кабельних каналів або лотків;

2. Спеціально створені:

– металева конструкція;

– шар щебеню;

– залізобетонні плити;

– бетонні плити без риштунку;

– бетонні плити з домішками гравію;

– тротуарні плитки;

– полімерпіщані плити.

З метою визначення найефективнішого способу облаштування місця обслуговування обладнання авторами були виконані вимірювання опору основи на сухій поверхні а також при її зволожені (імітація найгірших погодних умов). Вимірювання R_f проводилося за методом амперметра-вольтметра. Опір визначався між заземлювальним провідником та потенційним електродом, що імітує дві ступні людини (див. рис. 5) [11].

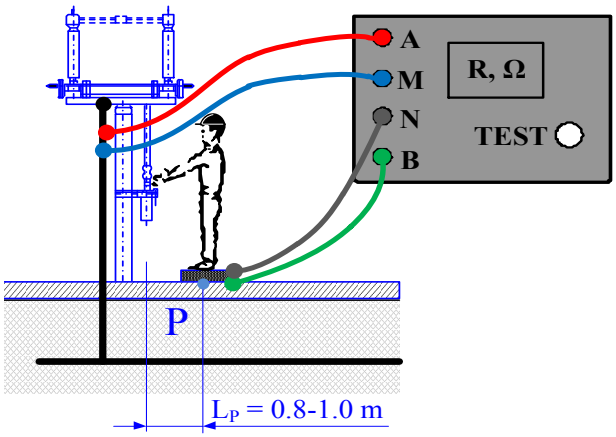

Рис. 5 – Вимірювання опору R_f

В табл. 3 наведено усереднені результати вимірювання, отримані для сухої поверхні, а також через 5 хв. та 15 хв. після зволоження. Слід зазначити, що для формування вибірки використовувалися лише значення для облаштованих місць з площею від 1 м^2.

В зв'язку з тим, що під час снігопаду, дощу, туману забороняються роботи, які вимагають застосування захисних ізолювальних засобів [12] (до них належать роботи з оперативних перемикань), орієнтуватися слід на час після закінчення опадів, тобто через 5–15 хв.

Проаналізуємо способи місць обслуговування з технологічної групи. Асфальтовані доріжки, залізобетонний кабельний канал (лоток), залізобетонний басейн з щебенем займають приблизно однакову нішу з точки зору електробезпеки, проте мають певні особливості:

1) асфальтові доріжки є відносно простим, але дієвим з точки зору електробезпеки, способом. В суху пору року та через 15 хв. після зволоження вони гарантують електробезпекудля всіх випадків, а через 5 хв. після зволоження – 95 %. При цьому даний спосіб має наступні особливості та недоліки:

– висока вартість;

– необхідність використання спеціальної техніки;

– деградування. Цей процес може розвиватися досить швидко, що значно впливає на опір основи (на ПС-110 кВ ПАТ «ДТЕК Високовольтні мережі» на низці площадок після зимового сезону з'явилися тріщини, крізь які проросла трава. При проведенні вимірювання опір на такому місці через 5 хв. після зволоження становив 1,8 кОм, хоча на інших непошкоджених – 15–50 кОм);

Таблиця 3 – Експериментально визначені значення опору основи

Спосіб виконання:	Опір основи R_f, кОм:			
	Суха поверхня	Волога поверхня		
		одразу	через 5 хв.	через 15 хв.
Технологічні (природні):				
Залізобетонний басейн з шаром щебеню	≥ 100,0	50,0–60,0	50,0–60,0	60,0–75,0
Кабельний канал (лоток)	≥ 100,0	40,0–60,0	40,0–60,0	60,0–70,0
Асфальтові доріжки	≥ 100,0	10,0-15,0	12,0–50,0	59,0–70,0
Спеціально створені (штучні):				
Металева конструкція приєднана до ЗП	0,0	0,0	0,0	0,0
Металева конструкція неприєднана до ЗП	0,001–0,1	0,001–0,1	0,001–0,1	0,001–0,1
Шар щебеню	≥ 10,0	0,8–55,0	2,0–55,0	3,0–60,0
Залізобетонні плити	9,9–22,0	0,7–1,4	1,4–1,6	1,8–2,2
Бетонні плити без риштунку, тротуарна плитка	4,0–13,8	0,25–0,6	1–1,5	1,0–2,5
Бетонні плити (тротуарна плитка) з домішками гравію	≥ 50,0	0,4-1,2	1,0-1,8	1,5-5,0
Полімерпіщані плити	≥ 100,0	2,3–4,0	20,0–24,0	37,0–42,0

2) залізобетонний кабельний канал (лоток) має високі характеристики з точки зору електробезпеки (охоплюють 100 % енергооб'єктів незалежно від зволоження) та є довговічним (практика показує, що може знаходитися в експлуатації понад 30 років) проте:

– непризначений безпосередньо для виконання оперативних перемикань;

– наявність його біля обладнання носить випадковий характер;

– має висоту від рівня землі від 20 см, що може бути незручним при виконанні оперативних перемикань;

3) залізобетонний басейн з шаром щебеню споруджують під оливонаповненим обладнанням (силовими трансформаторами, вимикачами, реакторами тощо). Його основним призначенням є відведення трансформаторної оливи у випадку витікання. Облаштування їх є надзвичайно дороговартісним й виконується при будівництві відкритого розподільчого пристрою або при масштабній реконструкції.

Далі проаналізуємо способи місць обслуговування з групи спеціально створених. Вони суттєво розрізняються за способом монтажу, опором, а також за відновленням ізоляційних властивостей після зволоження:

1) металева конструкція приєднана до ЗП є найбільш ефективною з точки зору електробезпеки облаштування місця обслуговування (забезпечує допустиме значення напруги дотику у 100 % випадків). В цьому разі напруга дотику за будь-якої погоди буде майже дорівнювати нулю, однак недоліками такої конструкції є:

– неможливість її встановлення для цілої низки існуючого обладнання;

– значна висота (≥ 0,3 м) може зробити виконання перемикань незручним. Якщо зробити площадку меншої висоти, то її буде засипати снігом або ґрунтом, що при ОЗЗ призведе до виникнення різниці потенціалів між нею та конструкцією обладнання, до того ж контакт з таким середовищем на переході з повітрям призводить до виникнення підвищеного рівня корозії;

– вартість облаштування місця обслуговування в такий спосіб буде найвищою (авторами не враховувалось вартість способів, віднесених до технологічних). Крім того, рекомендації щодо зменшення в такий спосіб напруги дотику відсутні в національних нормативних документах;

2) металева конструкція неприєднана до ЗП є найгіршим варіантом з точки зору електробезпеки, що видно з виразу (1): низьке значення опору основи при збережені різниці потенціалів призводить до високих значень напруги дотику. Тому площадки обслуговування мають в обов'язковому порядку бути приєднаними до спільного ЗП, а якість цього приєднання періодично повинна контролюватися;

3) використання щебеню найбільш ефективне при засипанні всієї території відкритого розподільчого пристрою. При цьому забезпечення тривалості використання такого покриття досить складне та матеріально витратне, так як попередньо необхідно видалити шар дерну, захистити поверхню агротканиною чи плівкою, щоб запобігти проростанню трави та поглинанню щебеню ґрунтом (такий спосіб виконання забезпечує понад 50 кОм опору основи та охоплює 100 % випадків). Невиконання цієї умови призводить до падіння опору основи до низьких значень 0,8–1,5 кОм. Крім того, виконувати оперативні перемикання на щебені в поганих погодних умовах може бути травмонебезпечним (покриття стає слизьким);

4) залізобетонні плити:

– мають досить високий опір в сухому стані й іноді при зволожені,

– є зручними в укладанні;

– експлуатація призводить до зношення покриваючого шару бетону та щебеню, починають проступати металеві частини, які знижують опір основи;

– відносно довго висихають, відновлюючи ізолюючі властивості (див табл. 4). Використання таких місць обслуговування не рекомендується;

5) бетонні плити без риштунку та тротуарна плитка (іноді з домішками гравію) є:

– зручними при монтажі;

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Таблиця 4 – Відсоток охоплення необхідного опору основи R_f для різних типів облаштування місця обслуговування

Спосіб виконання:	Відсоток охоплення, %			
	Суха поверхня	Волога поверхня		
		одразу	через 5 хв.	через 15 хв.
Технологічні (природні):				
Залізобетонний басейн з шаром щебеню	100	100	100	100
Кабельний канал (лоток)	100	100	100	100
Асфальтові доріжки	100	90–95	93–96	100
Спеціально створені (штучні):				
Металева конструкція приєднана до ЗП	100	100	100	100
Металева конструкція неприєднана до ЗП	0	0	0	0
Шар щебеню	90–100	1–100	10–100	35–100
Залізобетонні плити	90–100,0	1–10	17–20	24–30
Бетонні плити без риштунку, тротуарна плитка	60–95	<1	6–20	6–45
Бетонні плити (тротуарна плитка) з домішками гравію	100	6–10	6–30	27–92
Полімерпіщані плити	100	32–80	95–97	100

– не потребують використання спецтехніки;

– мають естетичний вигляд;

– можуть мати антиковзаючу поверхню (важливо для обслуговування обладнання за несприятливих погодних умов);

– забезпечують необхідне значення опору основи для 10–25 % енергетичних об'єктів. У разі використання автори рекомендують обов'язкові попередні випробування для перевірки опору;

6) полімерпіщані плити:

– мають достатньо високі показники з точки зору електробезпеки (через 5хв. після зволоження забезпечують допустиме значення напруги для 95 % об'єктів);

– є зручними в монтажі;

– не потребують спецтехніки;

– відносно дешеві;

– мають естетичний вигляд;

– можуть мати антиковзаючу поверхню.

Полімерпіщані плити нещодавно стали використовуватися в якості ізолюючого шару, тому невідома залежність опору основи впродовж тривалого терміну експлуатації. Авторами встановлено, що через рік експлуатації на підстанції АТ "ДТЕК Донецькобленерго"опір основи залишався незмінним в межах статистичного розкиду 21–24 кОм через 5 хв. після зволоження.

Висновки

Вперше на основі статистичних даних було проаналізована необхідність облаштування місця оперативного обслуговування обладнання для забезпечення припустимого значення напруги дотику на діючих енергетичних об'єктах. Встановлено, що для підстанцій класом напруги 110 (150 кВ) його необхідно облаштовувати в середньому на 48 % об'єктів, а для підстанцій НЕК "Укренерго" класом напруги 330 (220) кВ – 55 % для розподільчого пристрою 330 (220) та 76 % для розподільчого пристрою 110 (150) кВ.

Встановлено, що забезпечення опору основи в місці обслуговування на рівні 3 кОм дозволяє знизити значення напруги дотику до допустимого для 50 % підстанцій класом напруги 110 (150) кВ, а опір 12,5 кОм – для 95 %. Для підстанцій 330 (220) кВ значення опору основи становить для 50% та 95 % – 2,5 кОм та 6,0 кОм відповідно.

На основі результатів вимірювання на діючих підстанціях було встановлено, що найменш ефективними варіантами облаштування місця обслуговування є бетонні плити без домішок, тротуарна плитка та щебінь без агротканини: їх діапазон охоплення складає 6–30 % через 5 хв після зволоження та 6–45% через 15 хв. Найефективнішим способом зниження напруги дотику до допустимої величини є використання металевих площадок обслуговування приєднаних до ЗП або асфальтових доріжок (діапазон охоплення – 100%) за дотриманням відповідних умов експлуатації.

Оптимальним за співвідношенням якість/ціна є облаштування місць обслуговування за допомогою полімерпіщаних плит. Вони забезпечують допустиме значення напруги дотику в 95–97 % випадків через 5 хв. після зволоження та у 100 % – через 15 хв.

Автори окремо наголошують, що облаштування місць обслуговування обладнання є додатковим заходом щодо зменшення напруги дотику і не відміняє необхідності конструктивного облаштування ЗП відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Список літератури

1. *BS EN 50522:2010. Earthing of power installations exceeding 1 kVa.c.* London: BSI, 2012. 104 p.
2. *IEEE Std 80-2013 Guide for Safety in AC Substation Grounding.* New York, IEEE, 2013. 226 p. doi:10.1109/IEEESTD.2015.7109078.
3. *IEEE Standard 81-2012. IEEE 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. *Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis 1000 V ~ und 1500 V =. Teil 1: Begriffe und Schutz gegen elektrischen Schlag (Schutzmaßnahmen). (ÖVE/ÖNORM E 8001-1).* Vienna: Österreichisches Normungsinstitut, 2010. 138 s.

5. *Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstrom-verordnung)*. Bern Der Schweizerische Bundesrat, 2016. 34 p.
6. *ABNT. NBR 15751: Sistemas de aterramento de subestaçõe*s. Rio de Janeiro, 2009. p. 47.
7. *Правила улаштування електроустановок.* Міненерговугілля України. Харків: Форт, 2017. 760 с.
8. *Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція. СОУ 31.2-21677681-19:2009*. Київ: Мінпаливенерго України, 2010. 54 с.
9. Коліушко Д. Г., Руденко С. С. Фактори впливу на напругу дотику з огляду розробки рекомендацій для реконструкції заземлювального пристрою. *Технічна електродинаміка*. 2019. № 3. С. 29-36. doi: 10.15407/techned2019.03.029.
10. Permal N., Osman M., Ariffin A. M. and Kadir M. Z. A. A. The Impact of Substation Grounding Grid Design Parameters in Non-Homogenous Soil to the Grid Safety Threshold Parameters. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 37497-37509. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3063018.
11. Коліушко Д. Г., Руденко С. С., Фураєв Ю. О. Аналіз методів визначення опору розтікання струму зі ступнів людини. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* 2022. № 3 (13). С. 93-98. doi: 10.20998/2413-4295.2022.03.14..
12. *Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів ДНАОП 0.00-121-98.* Київ: Основа, 1998. 380 с.

References (transliterated)

1. *BS EN 50522:2010. Earthing of power installations exceeding 1 kVa.c.* London. BSI, 2012. 104 p.
2. *IEEE Std 80-2013 Guide for Safety in AC Substation Grounding.* New York. IEEE, 2013. 226 p. doi:10.1109/IEEESTD.2015.7109078.
3. *IEEE Standard 81-2012. IEEE 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. *Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis 1000 V ~ und 1500 V =. Teil 1: Begriffe und Schutz gegen elektrischen Schlag (Schutzmaßnahmen). (ÖVE/ÖNORM E 8001-1).* Vienna. Österreichisches Normungsinstitut, 2010. 138 s.
5. *Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstrom-verordnung)*. Bern Der Schweizerische Bundesrat, 2016. 34 p.
6. *ABNT. NBR 15751: Sistemas de aterramento de subestaçõe*s. Rio de Janeiro, 2009. p. 47.
7. *Rules of the device electroinstallations. General rules.* Minenergovugillya Ukrayiny, Kharkiv. Fort, 2017. 760 p.
8. *Test and control devices, electrical grounding. Standard instruction. SOU 31.2-21677681-19:2009.* Kyiv, Minenergovugillya Ukrayiny, 2010. 54 p.
9. Koliushko D. G., Rudenko S. S. The factors of the influence on the touch voltage from the review of the development of recommendations for the reconstruction of the grounding device. *Technical Electrodynamics*, 2019, no. 3, pp. 29-36, doi: 10.15407/techned2019.03.029.
10. Permal N., Osman M., Ariffin A. M. and Kadir M. Z. A. A. The Impact of Substation Grounding Grid Design Parameters in Non-Homogenous Soil to the Grid Safety Threshold Parameters. *IEEE Acces,* 2021, vol. 9, pp. 37497-37509, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3063018.
11. Koliushko D. G., Rudenko S. S., Furaiev Y. O. Analysis Of Methods Determination Ground Resistance of Human Foot. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology,* 2022, no. 3(13), pp. 93–98, doi: 10.20998/2413-4295.2022.03.14.
12. *Rules for the safe operation of electrical installations of consumers DNAOP 0.00-121-98.* Kyiv. Osnova, 1998. 380 p.

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 проєктно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Denis Koliushko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher of Research and Design Institute "Molniya" 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 проєктно-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

Істомін Олександр Євгенійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник Науково-дослідного та проєктно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Oleksandr Istomin – researcher of Research and Design Institute "Molniya" National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0002-5709-6459, e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Коліушко Д. Г., Руденко С. С., Істомін О. Є. Вибір способу облаштування місця обслуговування обладнання для забезпечення допустимого значення напруги дотику. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 4 (14). С. 75-81. doi:10.20998/2413-4295.2022.04.12.

Please cite this article as:

Koliushko D., Rudenko S., Istomin O. Selection of the technique of arrangement of equipment service area to provide the permissible touch voltage. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 4(14), pp. 75–81, doi:10.20998/2413-4295.2022.04.12.

Надійшла (received) 06.10.2022