УДК 621.316.9 **doi: 10.20998/2074-272X.2017.2.09**

С.С. Руденко, Д.Г. Коліушко, О.В. Кащеєв

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

На основі розрахункових експериментів проаналізовано можливі випадки невідповідності заземлювальних пристроїв нормативним вимогам та способи їх реконструкції за вимогами до напруги дотику та опору. Визначено ефективність вказаних напрямків реконструкції як з точки зору електробезпеки, так і матеріально-трудових витрат. Бібл. 3, табл. 8, рис. 6.

Ключові слова: **заземлювальний пристрій, електробезпека, реконструкція, матеріально-трудові витрати.**

На основании расчетного эксперимента проанализированы возможные случаи несоответствия заземляющих устройств нормативным требованиям и способы их реконструкции по требованиям к напряжению прикосновения и сопротивлению. Определена эффективность указанных направлений реконструкции как с точки зрения электробезопасности, так и материально-трудовых затрат. Библ. 3, табл. 8, рис. 6.

Ключевые слова: **заземляющее устройство, электробезопасность, реконструкция, материально-трудовые затраты.**

Вступ. Підстанції, що експлуатуються в Україні, переважною більшістю були спроектовані за вимогами до припустимого значення опору заземлювального пристрою (ЗП). Так як вказані енергетичні об'єкти були побудовані понад 30 років тому, то їх ЗП зазнав суттєвих змін під впливом корозійних процесів, замін та реконструкцій високовольтного обладнання тощо. Тому на даний час потрібно обрати оптимальний варіант модернізації ЗП згідно з одним із його нормованих параметрів (НП). Для приведення діючих ЗП у відповідність до сучасних нормативних вимог [1] використовується електромагнітна діагностика (ЕМД) стану ЗП [2], основною метою якої є визначення величин нормованих параметрів ЗП й розробка рекомендацій з реконструкції та модернізації ЗП.

Реконструкція ЗП електроустановки напругою понад 1 кВ в електричних мережах з глухозаземленою нейтраллю, також як і проектування, може бути виконана двома способами [2]: згідно з вимогами до припустимого значення опору ЗП або до припустимого значення напруги дотику. В існуючих дослідженнях [3] неодноразово відзначалося те, що в ряді випадків виконання ЗП у відповідності до його опору не може гарантувати електробезпеку персоналу й забезпечити припустиму величину напруги дотику. Проте до цього часу оцінка матеріально-трудових витрат з урахуванням значень НП для вибору оптимального напряму улаштування ЗП не виконувалась.

Метою роботи є визначення оптимального напряму реконструкції та модернізації заземлювального пристрою електроустановок напругою понад 1 кВ, що працюють в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Матеріали дослідження.

Розглянемо два способи реконструкції діючого заземлювального пристрою: перший – за вимогами до його опору, другий – за вимогами до напруги дотику. Аналіз розробки рекомендацій цими двома способами для реконструкції ЗП виконаємо на прикладі електричних підстанцій класом напруги 110 (150) кВ. При цьому було розглянуто три варіанти:

1) до реконструкції перевищення припустимого значення напруги дотику спостерігалося на 50 % обладнання, після реконструкції як першим, так і другим способами напруга дотику не перевищувала припустимого значення;

2) до реконструкції перевищення припустимого значення напруги дотику спостерігалося на всьому обладнанні, для забезпечення припустимого значення напруги дотику при реконструкції як першим, так і другим способами використано ізолюючий шар в місцях оперативного обслуговування обладнання;

3) до реконструкції напруга дотику та опір ЗП не перевищували припустимих значень, а під час реконструкції першим та другим способом внесено лише необхідні конструктивні рекомендації.

Розглянемо ці варіанти детальніше:

1) Після реконструкції обома способами напруга дотику не перевищує припустимого значення.

Аналіз виконаємо на прикладі діючої підстанції, результати ЕМД стану ЗП якої представлено на рис. 1, 2. При цьому суцільною товстою чорною лінією позначено заземлювачі, що розташовані під землею. Реальну назву об'єкту дослідження змінено на умовну – ПС №1.

Вихідними даними для визначення НП ЗП були: реальна схема ЗП ПС №1, що знаходиться в експлуатації, електрофізичні характеристики (ЕФХ) ґрунту (питомий електричний опір (ПЕО) I шару – 42,65 Ом·м, II шару – 25,37 Ом·м та товщина першого шару – 0,82 м), значення струму однофазного короткого замикання (КЗ) – 1,957 кА. Слід зауважити, що до виконання реконструкції ЗП перевищення припустимого значення напруги дотику (65 В при часі спрацювання резервного захисту більше 1,0 с) спостерігалося на 50 % обладнання, де можливі оперативні перемикання (а саме на: ШР Т-1, ШР Т-2, ОД Т-1, ОД Т-2 та КЗ-1), хоча значення опору ЗП не перевищувало припустимого значення 0,5 Ом.

Згідно з п. 1.7.106 ПУЕ [1] відстань між поперечними горизонтальними заземлювачами (ГЗ) для ЗП, виконаного за вимогами до його опору, рекомендується приймати в бік збільшення від периферії до центру заземлювальної сітки. При цьому перша і наступні відстані, починаючи від периферії, не повинні перевищувати відповідно 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 9,0; 11,0; 13,5; 16,0; 20,0 м. Глибина прокладання ГЗ має становити (0,5 – 0,7) м. На рис. 1 представлено ЗП підстанції з введеними рекомендаціями, необхідними для

© С.С. Руденко, Д.Г. Коліушко, О.В. Кащеєв

приведення конструктивного виконання ЗП у відповідність до вимог з його опору R_G (додаткові ГЗ позначено пунктиром).

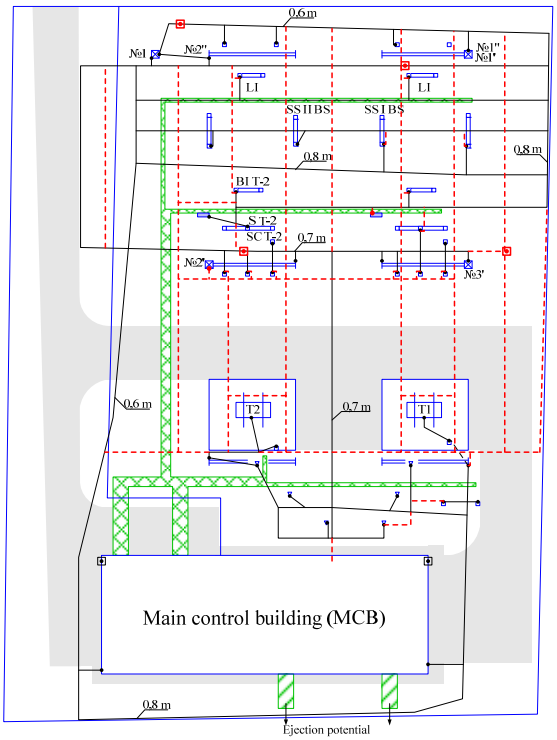

Рис. 1. Схема ЗП ПС №1, приведеного у відповідність до припустимого значення опору

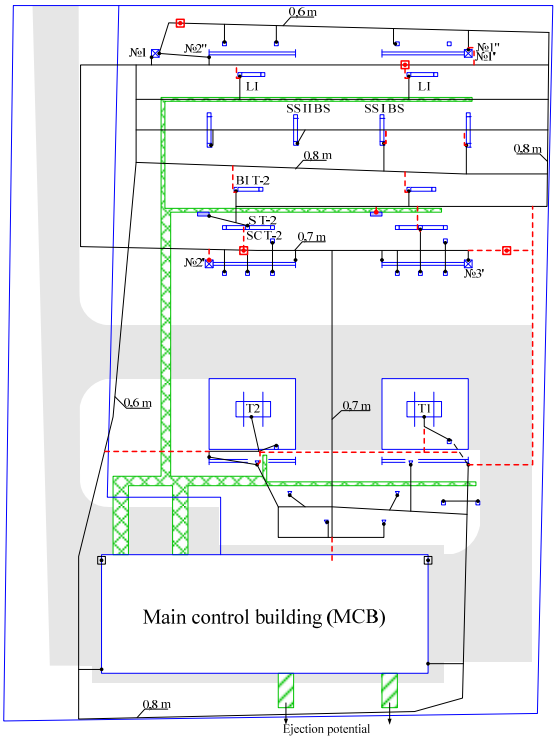

Рис. 2. Схема ЗП ПС №1, приведеного у відповідність до припустимого значення напруги дотику

Згідно з п. 1.7.105 ПУЕ для ЗП, виконаного за вимогами до напруги дотику U_t, необхідно розміщати повздовжні та поперечні ГЗ для виконання захисного вирівнювання потенціалів з урахуванням припустимої величини напруги дотику та зручності приєднання заземлюваного обладнання, глибина прокладання має бути не меншою ніж 0,3 м. Таким чином, у порівнянні з ЗП, виконаним за вимогами до його опору, вимоги до конструктивного виконання є менш жорсткими.

На рис. 2 представлено ЗП з рекомендаціями, необхідними для приведення його у відповідність вимогам до припустимого значення напруги дотику.

Розрахунок параметрів було виконано за допомогою математичного апарату, розробленого в [4]. Порівняємо значення (див. табл. 1) та розкид напруги дотику для обох варіантів виконання ЗП. Із табл. 1 слідує, що значення напруги дотику при першому способі виконання буде мати дещо менше значення, проте в обох випадках напруга дотику не буде перевищувати припустиме значення в 65 В, а розкид значень напруги дотику буде приблизно однаковим для обох випадків, тобто і в першому, і у другому випадку заземлювальна сітка буде еквіпотенційною.

Таблиця 1

Назва обладнання	Значення U_t, В		Відхилення U_t від середнього значення, %	
	ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t	ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t
SS II BS	26,1	38,3	12,8	9,9
SS I BS	23,5	33,8	1,6	–2,9
BI T-2	22,0	32,4	–4,9	–7,0
S T-2	21,1	27,5	–8,8	–21,1
SC T-2	20,6	31,6	–10,9	–9,3
SC T-1	21,2	34,2	–8,3	–1,8
right LI	25,6	39,8	12,4	2,8
left LI	26,6	37,1	–19,6	–13,9

При виконанні реконструкції ЗП першим способом матеріально-трудові витрати (див. табл. 2) будуть значно вищими (більш ніж в п’ять разів).

Таблиця 2

Назва та вид робіт		ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t
Прокладання додаткових ГЗ у ґрунті 3 групи, м		349	66
Прокладання додаткових ГЗ у ґрунті 5 групи, м		151	33
Виконання проколів під автошляхами або прохід по асфальтно-бетонному масиву	кількість	9	2
	довжина, м	60	10

2) Для забезпечення припустимого значення напруги дотику при реконструкції як за першим, так і за другим способами використано ізолюючий шар в місцях оперативного обслуговування обладнання.

Аналіз виконаємо на прикладі діючої підстанції, результати ЕМД стану ЗП якої представлено на рис. 3, 4. При цьому суцільною товстою чорною лінією позначено заземлювачі, що розташовані під землею. Реальну назву об’єкта дослідження змінено на умовну – ПС №2.

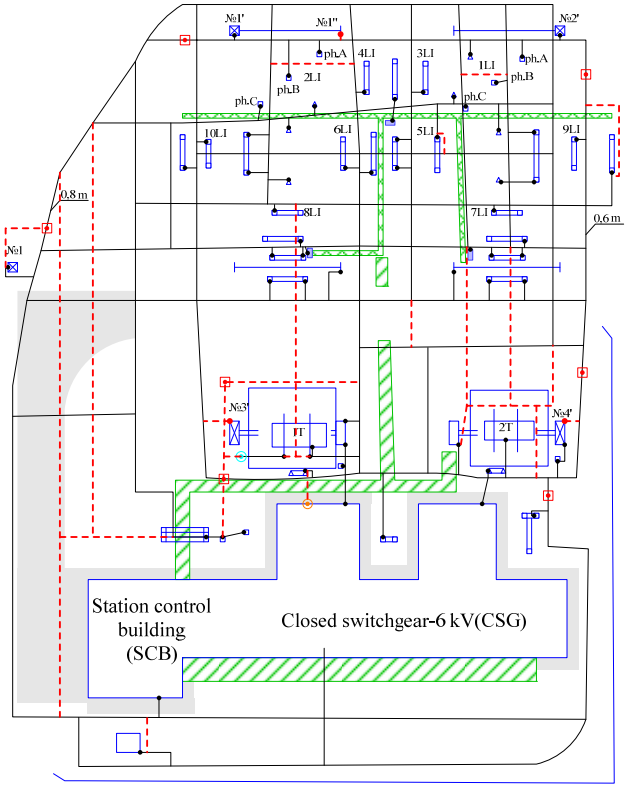

Рис. 3. Схема ЗП ПС №2, приведеного у відповідність до припустимого значення опору

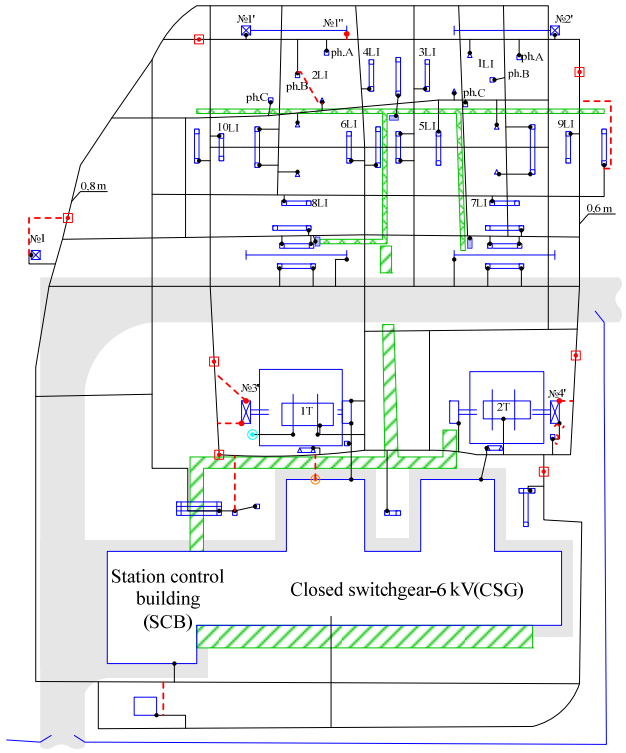

Рис. 4. Схема ЗП ПС №2, приведеного у відповідність до припустимого значення напруги дотику

Вихідними даними для визначення НП ЗП були: реальна схема ЗП ПС №2, що знаходиться в експлуатації, ЕФХ ґрунту (ПЕО І шару – 33 Ом·м, ІІ шару – 4,6 Ом·м та товщина першого шару – 1,97 м), значення струму однофазного КЗ – 10,784 кА. Слід зауважити, що до виконання реконструкції ЗП перевищення припустимого значення напруги дотику (65 В при часі спрацювання резервного захисту 0,1 с) спостерігалося на всьому обладнання, де можливе оперативне перемикання, хоча значення опору ЗП не перевищувало припустимого 0,5 Ом.

На рис. 3 представлено ЗП підстанції з введеними рекомендаціями, необхідними для приведення конструктивного виконання ЗП у відповідність до вимог з його опору ЗП (додаткові ГЗ позначено пунктиром).

На рис. 4 представлено ЗП з рекомендаціями необхідними для приведення його у відповідність вимогам до припустимого значення напруги дотику.

Порівняємо значення та розкид (див. табл. 3) напруги дотику для обох варіантів виконання ЗП.

Із табл. 3 видно, що значення напруги дотику за обома способами реконструкції перевищує припустиме значення 65 В. Тому використання ізолюючого шару необхідне для обох способів реконструкції в місцях обслуговування обладнання, що дозволяє знизити U_t до припустимого.

Таблиця 3

Назва обладнання	Значення U_t, В		Відхилення U_t від середнього значення, %	
	ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t	ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t
1LI ph. A	195,5	208,5	16,2	8,4
1LI ph. B	137,4	198,4	–18,3	3,2
1LI ph. C	134,5	155,8	–20,1	–19,0
2LI ph. A	152,7	217,3	–9,3	13,0
2LI ph. B	191,9	185,9	14,0	–3,3
2LI ph. C	196,6	214,0	16,8	11,3
3LI	173,4	189,1	3,0	–1,7
4LI	180,8	200,7	7,4	4,4
5LI	127,5	174,2	–24,2	–9,4
6LI	185,7	203,4	10,4	5,8
7LI	155,7	168,3	–7,5	–12,5
8LI	171,3	198,8	1,8	3,4
9LI	190,2	201,9	13,0	5,0
10LI	162,7	175,8	–3,3	–8,6

Розкид значень напруги дотику буде приблизно однаковим для обох випадків.

Таблиця 4

Назва та вид робіт		ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t
Прокладання додаткових ГЗ у ґрунті 3 групи, м		199	32
Прокладання додаткових ГЗ у ґрунті 5 групи, м		78	12
Виконання проколів під автошляхами або прохід по асфальтно-бетонному масиву	кількість	8	1
	довжина, м	63	3
Кількість місць укладання плит без арматури з площею 1 м^2, шт		16	16

При цьому при виконанні реконструкції ЗП за першим способом матеріально-трудові витрати на прокладання додаткових ГЗ (див. табл. 4) будуть

значно вищими (більш ніж в шість разів). Для облаштування місць оперативного обслуговування в обох випадках використано плити без металевої арматури з загальним опором 3500 Ом.

3) Напруга дотику не перевищує припустимих значень, а під час реконструкції внесено лише необхідні конструктивні рекомендації.

Аналіз виконаємо на прикладі діючої підстанції, результати ЕМД стану ЗП якої представлено на рис. 5, 6. При цьому суцільною товстою чорною лінією позначено заземлювачі, що розташовані під землею. Реальну назву об'єкта дослідження змінено на умовну – ПС №3.

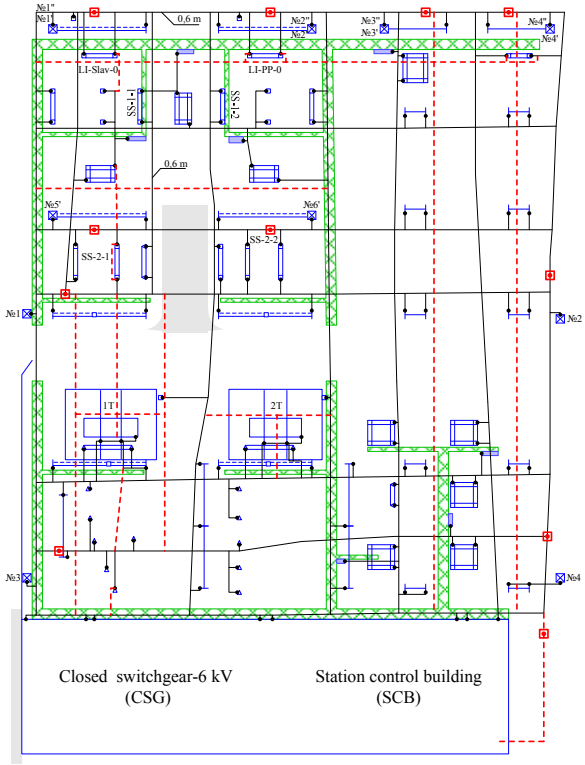

Рис. 5. Схема ЗП ПС №3, приведеного у відповідність до припустимого значення опору

Вихідними даними для визначення НП були: реальна схема ЗП ПС №3 (див. рис. 5), що знаходиться в експлуатації, ЕФХ ґрунту (ПЕО І шару – 12,1 Ом·м, ІІ шару – 15,1 Ом·м та товщина першого шару – 1,15 м), значення струму однофазного КЗ – 3,798 кА. Слід зауважити, що до виконання реконструкції значення напруги дотику не перевищувало припустиме значення (65 В при часі спрацювання резервного захисту більше 1,0 с) на всьому обладнанні. Значення опору ЗП також було меншим за припустиме 0,5 Ом.

На рис. 5 представлено ЗП підстанції з введеними рекомендаціями, необхідними для приведення конструктивного виконання ЗП у відповідність до вимог з його опору ЗП (додаткові ГЗ позначено пунктиром).

На рис. 6 представлено ЗП з рекомендаціями необхідними для приведення його у відповідність вимогам до припустимого значення напруги дотику. Як видно зі схеми, ЗП потребує встановлення лише вертикальних заземлювачів біля блискавковідводів та під'єднання SCB. Порівняємо значення та розкид U_t (див. табл. 5) для обох варіантів виконання ЗП.

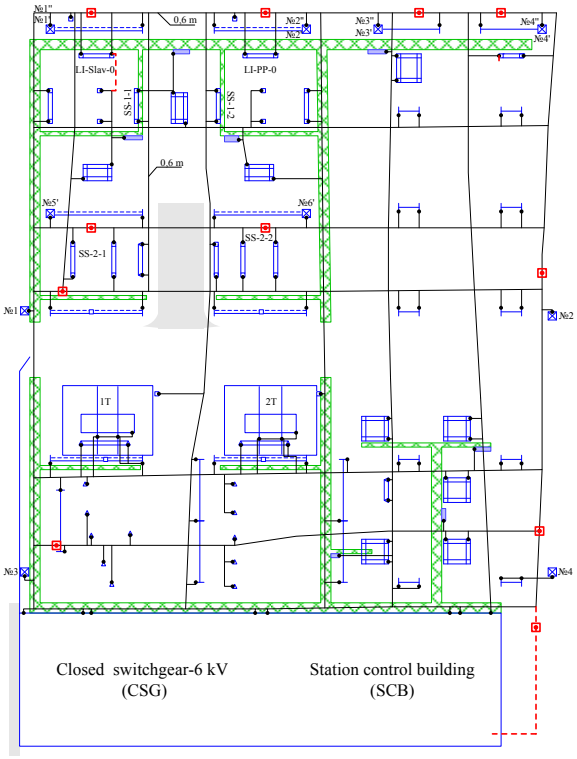

Рис. 6. Схема ЗП ПС №3, приведеного у відповідність до припустимого значення напруги дотику

Таблиця 5

Назва обладнання	Значення U_t, В		Відхилення U_t від середнього значення, %	
	ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t	ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t
LI-Slav-0	26,2	35,1	13,7	14,3
SS-1-1	23,9	28,2	3,8	–8,1
LI-PP-0	21,7	37,9	–5,8	23,5
SS-1-2	25,2	28,5	9,4	–7,2
SS-2-1	18,7	30,2	–18,8	–1,6
SS-2-2	22,5	24,3	–2,3	–20,8

Із табл. 5 слідує, що значення напруги дотику як при першому, так і при другому способі виконання не, перевищує припустиме значення 65 В. Також розкид значень U_t буде приблизно однаковим для обох випадків. При цьому при виконанні реконструкції ЗП за першим способом матеріально-трудові витрати на прокладання додаткових ГЗ (див. табл. 6) будуть практично в 8 разів вищими.

Таблиця 6

Назва та вид робіт		ЗП за вимогами до R_G	ЗП за вимогами до U_t
Прокладання додаткових ГЗ у ґрунті 3 групи, м		321	38
Прокладання додаткових ГЗ у ґрунті 5 групи, м		125	16
Виконання проколів під автодорогою або прохід по асфальтно-бетонному масиву	кількість	5	-
	довжина, м	28	-

Слід зауважити, що реконструкція ЗП за вимогами до R_G дозволяє зменшити значення опору ЗП лише на 3-6 % у порівнянні з реконструкцією ЗП, за вимогами до напруги дотику (див. табл. 7).

Таблиця 7

Назва підстанції	R_G до реконструкції ЗП, Ом	R_G після реконструкції ЗП, Ом:	
		за вимогами до R_G	за вимогами до U_t
ПС №1	0,309	0,235	0,251
ПС №2	0,088	0,083	0,087
ПС №3	0,133	0,119	0,123

У відповідності до ДСТУ Б Д.1.1-1-2013, проведено аналіз вартості реконструкції ЗП за двома напрямками для розглянутих об'єктів (див. табл. 8) з урахуванням вартості прокладання ГЗ в ґрунті різних груп, та улаштування ізолюючого шару, у разі необхідності, на місцях обслуговування обладнання.

Таблиця 8

Назва підстанції	Вартість реконструкції ЗП, тис. грн:	
	за вимогами до *RG*	за вимогами до U_t
ПС №1	42,504	8,915
ПС №2	29,423	4,640
ПС №3	45,781	5,168

Таким чином, доведена економічна ефективність проведення реконструкції та модернізації ЗП діючих енергетичних об'єктів за вимогою до припустимого значення напруги дотику.

Висновки.

1. Виконання ЗП за вимогами до його опору не гарантує електробезпеку обслуговуючого персоналу електроустановки у випадку виникнення аварійної ситуації, тобто значення опору ЗП не дозволяє однозначно судити про придатність ЗП до подальшої експлуатації.

2. Проведення реконструкції діючих ЗП найкраще виконувати згідно з вимогами до напруги дотику, що дозволить забезпечити електробезпеку обслуговуючого персоналу та надійність експлуатації обладнання в усіх режимах роботи електроустановки.

3. Виконання модернізації та реконструкції ЗП за напрямком забезпечення припустимого значення напруги дотику має високу економічну ефективність: середня економія при реконструкції енергетичних об'єктів класів напруги 110 кВ та 150 кВ складає близько 33 тис. грн. на кожен об'єкт.

Авторами за період 2015 – 2016 рр. були розроблені рекомендації для модернізації та реконструкції ЗП згідно з вимогами до напруги дотику для 10 підстанцій класом напруги 150 кВ та 20 підстанцій класом напруги 110 кВ. Тобто впровадження вказаного напрямку реконструкції дозволило навіть для досить незначної кількості підстанцій заощадити понад 1 млн. грн. для енергетичного сектору України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок [Чинне від 20.11.2014]. – Х.: Міненерговугілля України, 2014. – 793 с. – (Національний стандарт України).

2. Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція. СОУ 31.2-21677681-19:2009 – [Чинний від 2010–03–29]. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 54 с. – (Національний стандарт України).

3. Колиушко Д.Г., Колиушко Г.М., Руденко С.С. Статистический анализ соответствия заземляющего устройства электрических станций и подстанций нормируемым параметрам // Енергетика та електрифікація. – 2015. – №6. – С. 3-7.

4. Колиушко Д.Г., Руденко С.С. Математическая модель заземляющего устройства энергообъекта при наличии подстилающего слоя // Электронное моделирование. – 2014. – Т.36. – №2. – С. 89-97.

REFERENCES

1. *Natsional'nyy standart Ukrayiny. Pravila ulashtuvannya electroustanovok* [National Standard of Ukraine. Electrical Installation Regulations]. Kharkiv, Minenergovugillya Ukrayiny Publ., 2014. 793 p. (Ukr).

2. *Natsional'nyy standart Ukrayiny. SOU 31.2-21677681-19:2009. Viprobuvannya ta kontrol' prystroyiv zazemlennya elektroustanovok. Tipova instruktsiya.* [National Standard of Ukraine SOU 31.2-21677681-19:2009. Test and control devices, electrical grounding. Standard instruction]. Kyiv, Minenergovugillya Ukrayiny Publ., 2010. 54 p. (Ukr).

3. Koliushko D.G., Koliushko G.M., Rudenko S.S. Statistical analysis according grounding grid the power stations and substations for of normalized parameters. *Energetic and electrification*, 2015, no.6, pp. 3-7. (Rus).

4. Koliushko D.G., Rudenko S.S. Mathematical model of grounding connection of a power plant with under layer. *Electronic modeling*, 2014, vol.36, no.2, pp. 89-97. (Rus).

Поступила (received) 13.02.2017

Руденко Сергій Сергійович[1], *м.н.с.,*
Коліушко Денис Георгійович[1], *к.т.н., с.н.с.,*
Кащеєв Олексій Валерійович[1], *к.т.н., с.н.с.,*
[1] Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2,
e-mail: nio5_molniya@ukr.net

S.S. Rudenko[1], *D.G. Koliushko*[1], *O.V. Kashcheyev*[1]
[1] National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
2, Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Determination of direction to reconstruction of grounding system.

Purpose. *In paper the most efficient and economical way for bringing the grounding system of power facilities into compliance with requirements of normative parameters was determined.* ***Methodology.*** *The determination was based on the comparison of the calculated values of touch voltage and length of additional electrodes for reconstruction of grounding system by two ways. To calculate the software based on the method of point current source which located in the three-layer soil, method guidance potential, Gauss method and the method of ordinary least squares was used.* ***Results.*** *For three possible cases amount of material and labor costs for the reconstruction and modernization of the grounding system while maintaining the equipotent grounding system and allowable touch voltage was defined.* ***Originality.*** *For the first time the effectiveness the reconstruction of grounding system for requirements of touch voltage, not to her of resistance, both in terms of electrical safety and in terms of material and labor costs proved.* ***Practical value.*** *The implementation of results saves a national scale funds for modernization and reconstruction of existing grounding systems of power facilities.* References 3, tables 8, figures 6.

Key words: **grounding system, electrical safety, reconstruction, material and labour costs.**