

А. В. Журахівський<sup>1</sup>  
І. В. Ліщак<sup>1</sup>  
Т. В. Бінкевич<sup>1</sup>

## ІМПУЛЬСНИЙ ОПІР ЗАЗЕМЛЕННЯ ОПОР ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА НАДІЙНІСТЬ ГРОЗОЗАХИСТУ

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

*Проведено аналіз впливу зміни імпульсного опору заземлення на надійність грозозахисту повітряних ліній (ПЛ). Проведено серію математичних симуляцій для ПЛ різних класів напруг, виконаних на різних типах опор, а також побудовані криві небезпечних параметрів за різних значень імпульсного опору. Розраховано ймовірності появи небезпечних атмосферних перенапруг від величини імпульсного опору заземлення опори.*

**Ключові слова:** повітряні лінії, імпульсний опір заземлення, криві небезпечних параметрів, ймовірності небезпечних перенапруг.

### Вступ

Величина імпульсних опорів заземлювальних пристроїв (ЗП) підстанцій та опор ліній електропередач є важливим фактором, що впливає на надійність захисту електроустановок. Під локальним імпульсним опором заземлення розуміється розраховувана величина, що дорівнює відношенню миттєвих значень імпульсної напруги на заземлювачі та імпульсного струму через нього. Імпульсний опір визначається за час, що не перевищує перших одиниць мікросекунд, коли розтікання відбувається лише з ближньої зони заземлювального пристрою апарата і не охоплює всі заземлюючі пристрої електроустановки [1]. Імпульсний опір заземлювача — величина комплексна, тому в схему заміщення ЗП входять також реактивні елементи. Оскільки під час імпульсних дій не існує такої загальноприйнятої характеристики заземлювальних пристроїв, як поняття стаціонарного опору  $R$  за низькочастотних впливів, то для визначення імпульсних характеристик заземлювальних пристроїв необхідно мати криві струму і напруги на ЗП, які потім можуть оброблятися за допомогою різних алгоритмів.

Грозові відключення повітряних ліній (ПЛ) складають 10...30 відсотків від загальної кількості відключень. Їхня кількість суттєво залежить від опору заземлення опор повітряних ліній. Дослідження впливу зміни імпульсного опору заземлення опор ПЛ напругою 110 кВ і вище сприяє можливості підвищення надійності електропостачання споживачів та ефективності експлуатації електричних мереж.

*Метою роботи є відображення впливу зміни опору заземлення на надійність грозозахисту. Для дослідження впливу зміни опору заземлення на надійність грозозахисту проведено серію математичних симуляцій для ПЛ різних класів напруг, виконаних на різних типах опор. Для візуальної наочності отриманих результатів побудовані криві небезпечних параметрів за різних значень імпульсного опору (рис. 1—4).*

### Результати дослідження

Діючими Правилами улаштування електроустановок [1] нормуються найбільші допустимі значення опору заземлення опор повітряних ліній електропередавання залежно від питомого опору ґрунту вздовж траси ПЛ (табл. 1).

Такий підхід спрощує проектування, але не відповідає на питання достатності прийнятого технічного рішення.

Розглядаючи питання обсягу випробовувань та вимірювань [2], зазначимо що вимірювання слід проводити на всіх опорах з розрядниками, ОПН, захисними проміжками, роз'єднувачами, електрообладнанням з повторними заземлювачами PEN (PE) проводів (у разі використання заземлювального пристрою одночасно для електроустановок напругою до 1 кВ) — після монтажу, переобладнання, ремонтів, а також в експлуатації не рідше ніж один раз на 6 років; на ПЛ, які

відпрацювали 25 років і більше, — за рішенням технічного керівника споживача; на тросових опорах ліній напругою 110—150 кВ у разі виявлення на них слідів перекриття або руйнування ізоляторів електричною дугою.

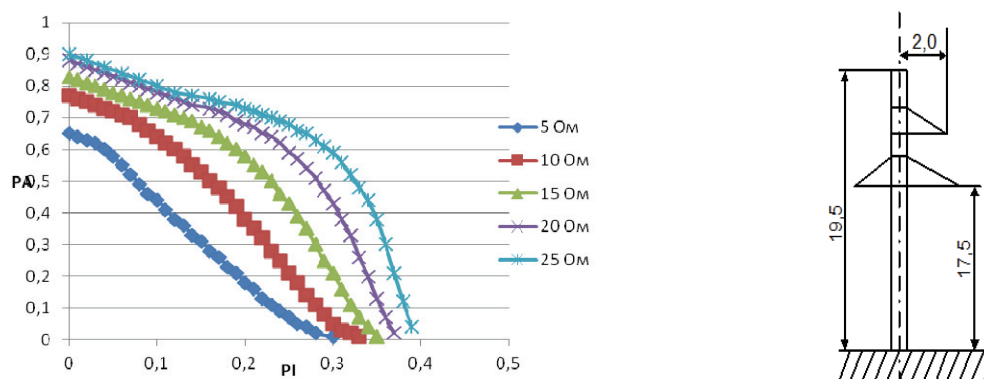


Рис. 1. Крива небезпечних параметрів для опори типу ПБ-110-1 напругою 110 кВ

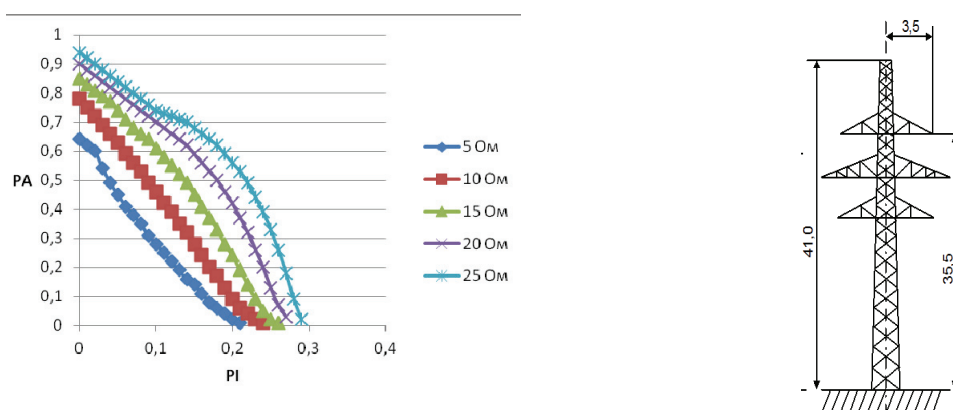


Рис. 2. Крива небезпечних параметрів для опори типу П-220-2 напругою 220 кВ

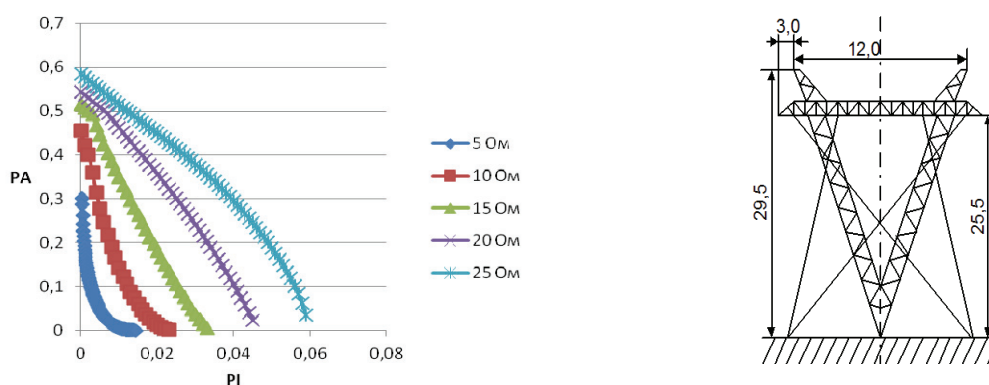


Рис. 3. Крива небезпечних параметрів для опори типу П-330-5 напругою 330 кВ

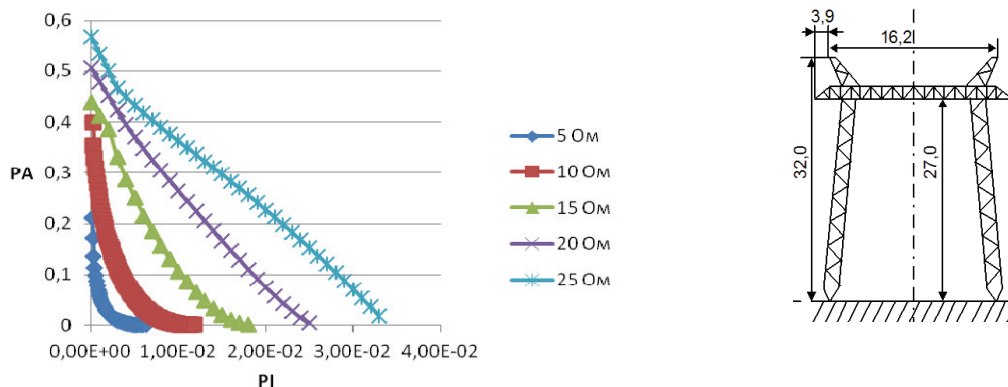


Рис. 4. Крива небезпечних параметрів для опори типу ПБ-2 напругою 500 кВ

Найбільші допустимі значення опору заземлювальних пристроїв повітряних ліній

Характеристика електроустановки та заземлювального об'єкта	Величина, що вимірюється	Значення опору, Ом, не більше
Опори залізобетонні, металеві та дерев'яні, на яких підвішений трос або встановлені пристрої грозозахисту; опори залізобетонні та металеві ПЛ напругою 35 кВ і такі ж опори ПЛ напругою 3—20 кВ у населеній місцевості, а також заземлювачі електрообладнання, встановленого на опорах ПЛ 110 кВ і вище*	Опір заземлювача за питомого опору ґрунту, Ом·м: до 100 більше 100 до 500 більше 500 до 1000 більше 1000 до 5000 більше 5000	10 15 20 30 $6 \cdot 10^{-3}$
Заземлювачі електрообладнання на опорах ПЛ напругою 3—35 кВ	Опір заземлювача	Згідно з [2]
Опори залізобетонні та металеві ПЛ напругою 6 (10) кВ у ненаселеній місцевості	Опір заземлювача за значення питомого опору ґрунту, Ом·м: До 1000  Більше 1000	Забезпечується природною провідністю підземної частини опори  500

На інших опорах вимірювання слід проводити вибірково на 2 % від загальної кількості опор, особливо на ділянках з найагресивнішими, зсувними ґрунтами і такими, що видуваються або мають погану провідність, після монтажу, переобладнання, ремонтів, а також в експлуатації не рідше ніж один раз на 12 років [2].

Варто також відмітити методи досягнення нормативних значень опору заземлення під час проведення контрольних випробувань в процесі експлуатації. Ґрунти будь-якого роду — пісок, глина, чорнозем — в абсолютно сухому стані мають великий питомий опір (понад  $10^4$  Ом·м), тобто практично є непровідниками струму. Таким чином, проблема зниження питомого опору ґрунту, який значною мірою визначається властивостями його неоднорідного середовища, є важливою задачею.

Загальний опір заземлення залежить від опору прилеглих до заземлювача шарів ґрунту. Тому можна добитися зниження опору заземлення зниженням питомого опору ґрунту лише в невеликій області навколо заземлювача [3].

Сьогодні з цією метою, в місцях з високим питомим опором ґрунту  $\rho$ , застосовують різні методи штучного зниження його. Штучне зниження питомого опору ґрунту досягається або хімічним шляхом за допомогою електrolітів, або шляхом укладання заземлювачів в котловани з насипним вугіллям, коксом, глиною.

Досвід показав, що максимальне зменшення опору заземлення досягається використанням різних електrolітів. Такий спосіб полягає в тому, що навколо заземлювачів ґрунт просочується різними розчинами електrolіту: хлористого натрію, хлористого кальцію, сірчанокислої міді (мідного купоросу) тощо [3]. Проблема цих методів полягає в короткій тривалості ефекту за використання електrolітів і опір заземлювача зростає в процесі експлуатації.

Контроль опору заземлювальних пристроїв грозозахисту ліній виконується вимірюванням їх стаціонарного опору  $R$ . Перехід від вимірюваної величини  $R$  до імпульсного опору здійснюється за використанням імпульсного коефіцієнта [4].

Аналізуючи отримані криві небезпечних параметрів для окремих типів опор різних класів напруги (рис. 1—4) розраховані ймовірності появи небезпечних атмосферних перенапруг від величини імпульсного опору заземлення опори. Результати розрахунків наведено в табл. 2 та на рис. 5.

Таблиця 2

Результати залежності ймовірності появи небезпечних для ізоляції ПЛ атмосферних перенапруг від величини опору заземлення опори

$U$ , кВ	110	220	330	500	750
$R$ , Ом	$P(A, I)$	$P(A, I)$	$P(A, I)$	$P(A, I)$	$P(A, I)$
5	0,112	0,0705	0,00177	0,0007	0,00003
10	0,167	0,1085	0,0054	0,003	0,00015
15	0,186	0,1375	0,0108	0,0043	0,00075
20	0,253	0,169	0,0172	0,0075	0,0015
25	0,28	0,1935	0,0248	0,012	0,0036

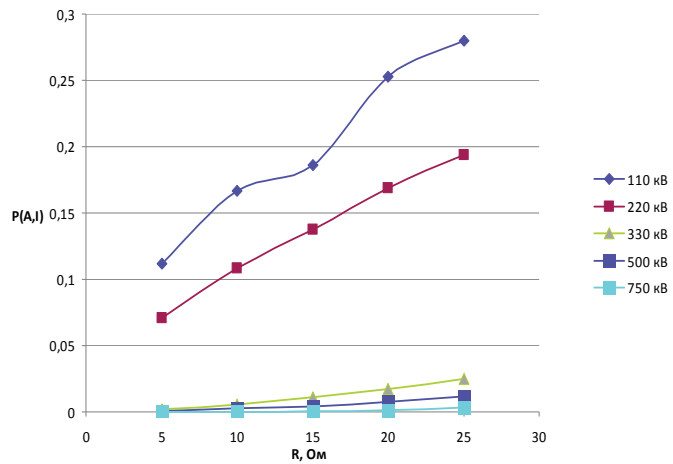


Рис. 5. Графіки залежності ймовірності пошкодження ізоляції ПЛ від величини опору заземлення опори

### Висновки

- Діючими Правилами улаштування електроустановок нормуються найбільші допустимі значення опору заземлення опор повітряних ліній електропередавання залежно від питомого опору ґрунту вздовж траси ПЛ. Такий підхід спрощує проектування, але не відповідає на питання достатності прийнятого технічного рішення.
- Зі збільшенням імпульсного опору заземлення в 2 рази ймовірність появи небезпечних для ізоляції ПЛ атмосферних перенапруг для класу напруг 110—220 кВ зростає в 1,5...1,65 рази, а для класу напруг 330—750 кВ зростає істотніше.
- Величини імпульсних опорів заземлення опор вздовж траси ПЛ можуть істотно варіюватись. Зменшуючи величини опорів деяких з опор ПЛ можна збільшити надійність грозозахисту даних ПЛ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Правила улаштування електроустановок. — 3-тє вид, перероб. і доп. / Мінпаливенерго України. — Київ, 2010. — С. 736.
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів / Міністерство палива та енергетики України. — Х.: вид-во «Форт», 2012. — 368 с.
- Целебровский Ю. В. Импульсные сопротивления заземления молниеотводов ОРУ подстанций / Ю. В. Целебровский, С. В. Нестеров, В. А. Цилько // Первая Российская конференция по молниезащите : сб. докл. ; Сибирская энергетическая академия. — Новосибирск, 2007. — С. 243—248.
- Техника высоких напряжений / [Борисоглебский П. В., Дмоховская Л. Ф., Ларионов В. П. и др.] // ГЭИ. — М. — Ленинград, 1963.
- Анализ результатов измерений сопротивления заземления опор ВЛ с тросом при модернизации заземляющих устройств / [А. Н. Новикова, А. Н. Лубков, О. В. Шмараго и др.] // Электрические станции. — 2007. — № 9.
- Методика и результаты измерений локальных импульсных сопротивлений заземлителей оборудования подстанций / А. Н. Данилин, В. В. Колобов, В. Н. Селиванов, П. И. Прокопчук // Сборник докладов 9-й Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности «ЭМС-2006». 20—22 сентября 2006 г. — СПб. : ВИТУ, 2006. — С. 426—430.
- Данилин А. Н. Исследование локальных импульсных сопротивлений протяженных подземных проводников / А. Н. Данилин, Д. В. Куклин, В. Н. Селиванов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — 2010. — № 1 (95). — С. 250—254.
- Chisholm W. A. Comparison of low frequency resistance and lightning impulse impedance on transmission towers [Електронний ресурс] / W. A. Chisholm, E. Petrasche, F. Bologna // X International Symposium on Lightning Protection, 9—13 November 2009, Curitiba, Brazil. P. 329—334.
- Petrache E. Evaluating the transient impedance of transmission line towers / E. Petrasche, W. A. Chisholm, A. Phillips // IX International Symposium on Lightning Protection, 26-30 November 2007, Foz do Iguaçu, Brazil.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 13.10.2015

**Журахівський Анатолій Валентинович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри електричних систем та мереж;

**Лицак Ігор Володимирович** — провідний спеціаліст кафедри електричних систем та мереж;

**Бінкевич Тарас Володимирович** — аспірант кафедри електричних систем та мереж, e-mail: 0507019417@mail.ru.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

A. V. Zhurakhivskyi<sup>1</sup>  
I. V. Lishchak<sup>1</sup>  
T. V. Binkevych<sup>1</sup>

## Impulse Grounding Resistance of Towers of Transmission Lines and Its Impact on Reliability Lightning Protection System

<sup>1</sup>National University «Lviv Polytechnic»

*The analysis of the impact of changes impulse resistance of grounding on reliability of lightning transmission lines (TL) was performed. There have been performed some series of mathematical simulations for different classes of voltage, made on different types of towers and dangerous curves were constructed for parameters at different impulse resistance. It was calculated the probability of dangerous atmospheric overvoltage from the value of impulse resistance grounding support.*

**Keywords:** transmission lines, impulse resistance grounding support, dangerous curves parameters, probability of dangerous overvoltage.

*Zhurakhivskyi Anatolii V.* — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Electrical Systems and Networks;  
*Lishchak Ihor V.* — Leading Specialist of the Chair of Electrical Systems and Networks;  
*Binkevych Taras V.* — Post-Graduate Student of the Chair of Electrical Systems and Networks, e-mail: 0507019417@mail.ru

A. B. Жураховский<sup>1</sup>  
И. В. Лищак<sup>1</sup>  
Т. В. Бинкевич<sup>1</sup>

## Импульсное сопротивление заземления опор воздушных линий и его влияние на надежность грозозащиты

<sup>1</sup>Национальный университет «Львовская политехника»

*Проведен анализ влияния изменений импульсного сопротивления заземления на надежность грозозащиты воздушных линий (ВЛ). Проведена серия математического моделирования для различных классов напряжения на различных типах опор, а также построены кривые опасных параметров при разных значениях импульсного сопротивления. Рассчитана вероятность появления опасного атмосферного перенапряжения в зависимости от значения импульсного сопротивления заземления опоры.*

**Ключевые слова:** воздушные линии, импульсное сопротивление заземления, кривые опасных параметров, вероятность опасного перенапряжения.

*Жураховський Анатолій Валентинович* — д-р тех. наук, професор, професор кафедри електричних систем і мереж;

*Лищак Ігорь Володимирович* — ведучий спеціаліст кафедри електричних систем і мереж;

*Бинкевич Тарас Володимирович* — аспірант кафедри електричних систем і мереж, e-mail: 0507019417@mail.ru