

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКОВАНИХ ПЕРЕНАПРУГ НА ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НАПРУГОЮ 6-35 кВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ПРОВОДІВ**

Дривецький С. І.

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*

*Проведено експериментальні дослідження зон захоплення ліній електропередавання з різними типами проводів, а також вимірювання величини індукованого на проводах імпульсу перенапруги.*

**Постановка проблеми.** В даний час в Україні все більш широке поширення набувають захищені проводи для ПЛ, це обумовлено технічною політикою Міністерства палива та енергетики. Провід в захисній оболонці для повітряних ліній 6-35 кВ, були розроблені з метою підвищення надійності розподілу і передачі електроенергії. Застосування проводів в захисній оболонці має кілька суттєвих переваг, а саме: надійність, економічну доцільність. При явних перевагах має недолік, який визначається в необхідності здійснювати захист ПЛ від грозових перенапруг.

Поняття грозозахисту настільки різнобічне, що визначають методи вибору підходящої захисту від загрози в різних регіонах різні. Факторами вибору методу захисту є грозова активність і її інтенсивність в кожному конкретному регіоні, характерні чорні територіального розташування лінії ПЛ і питомий опір ґрунту, на якому розташована лінія ПЛ. При виборі методу захисту не можна залишати без уваги матеріал, з якого виконані опори ПЛ.

Грозостійкості ПЛ з захищеними проводами, як правило, розраховується тільки для першого імпульсу розряду блискавки, так як ймовірність перекриття ізоляції при впливі наступних імпульсів на порядок і менше, ніж при впливі першого імпульсу. Облік наступних імпульсів в оцінці грозостійкості виправданий тільки в деяких спеціальних випадках при великій індуктивності опор (багатоопорні ВЛ на одностоякових опорах, великі переходи ПЛ через водне перепони і т.д.).

Згідно зі статистикою, частота ушкоджень зменшилася з 4,5 пошкоджень на 100 км в рік для неізольованих проводів до 0,9 пошкоджень на 100 км в рік для захищених проводів.

Так як висота підвісу проводів на ЛЕП 6-35 кВ мала, то ймовірність прямих ударів блискавки в саму лінію досить невелика, в порівнянні з наведеними перенапруженнями. Ця обставина робить актуальними питання вивчення грозостійкості ПЛ з захищеними проводами саме при впливі індуктивного перенапруження. [1]

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз досвіду експлуатації розподільних електричних мереж показує, що їх надійність нижче, ніж у мереж вищих класів напруги. Пошкодження в розподільних мережах обумовлюють більшу частину збитку, пов'язаного з перервами в електропостачанні споживачів. Однією з основних причин аварій і порушень є грозові перенапруги на повітряних лініях (ПЛ), що викликають імпульсні перекриття і руйнування ізоляторів і призводять до дуговим замикань, з супутнім пошко-

дження обладнання, відключень ліній. Аварійні відключення ПЛ 6-35 кВ через грозових перенапруг складають до 40% від загального числа їх відключень. Через низьку імпульсної міцності ізоляція розподільних мереж схильна перекриттям як від перенапруг при прямих розрядах блискавки, так і від індуктивних перенапруг при розряді блискавки поблизу лінії. Останні є основною причиною грозових вимкнень і пошкоджень обладнання мереж 6-35 кВ, складаючи в деяких випадках до 90%, а при проходженні траси ПЛ по лісовому масиву і до 100% від їх загальної кількості. Таким чином, надійність електропостачання споживачів багато в чому залежить від ефективності грозозахисних заходів. Такий об'єктивний стан проблеми грозозахисту розподільних ПЛ приводило до визнання неминучості їх грозових аварійних вимкнень і пошкоджень в силу відсутності економічно доступних технічних засобів.

У той же час, здійснювана в останні роки в нашій країні технічна політика, спрямована на застосування на розподільних ПЛ захищених проводів, істотно сприяла виробленню і прийняттю нових прогресивних технічних рішень в області грозозахисту. [2]

Повітряні лінії з захищеними проводами (ПЛЗ) мають відчутні експлуатаційно-технічні переваги перед ПЛ з неізольованими проводами з меншою пошкоджуваністю, надійності електропостачання споживачів, безпеки, матеріаломісткості, габаритам, але вимагають спеціального рішення їх грозозахисту.

Особливістю проблеми грозозахисту ПЛЗ є те, що в разі відсутності спеціальних заходів при грозовому перекритті ізолятора лінії, супроводжуваному пробоем твердої ізоляції проводу, що утворюється з великою ймовірністю дуга промислової частоти не має можливості переміщатися по дроту і горить в місці пробоем ізоляції до моменту відключення лінії. Це може привести до випалу ізоляції проводу, ізолятора лінії, а в разі великих струмів к.з. - до перепаду проводу.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є дослідження зон захоплення для різних типів проводів і порівняння наведених перенапруг, що виникають в ПЛЗ при ударах блискавки поблизу ліній.

**Основні матеріали дослідження.** Багаторічний досвід будівництва та експлуатації повітряних ліній електропередач 6-35 кВ (ПЛ) з оголеними проводами показав недостатню надійність таких ліній і їх підвищену небезпеку. За рішення цієї проблеми близько 40 років тому взяли вчені-електротехніки скандинавських країн, - країн з найвищим у Європі рівнем споживання електроенергії на душу населення, в яких

необхідно було не переривати безперерйне електропостачання споживачів. Виконаний цими вченими великий обсяг науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт дозволив розробити новий тип ПЛ з самоутримними ізолюваними проводами (СІП), які отримали скорочене найменування ПЛІ - повітряні лінії ізолювані. Були розроблені проводи з так званим захисним покриттям або захищені проводи, тому що вони мають ізоляцію не на повну напругу відносно землі, тобто не на фазну напругу, а на 50-60% фазної напруги. Це проводи із зшитого поліетилену, їх технологія виробництва добре освоєна, тому вони отримали широке розповсюдження в світі. Такі проводи вирішують цілу низку проблем притаманних таким лініям, наприклад, одна з найсерйозніших проблем – це мережні резонанси, котрі пов'язані з дотиками гілок до проводів лінії, в результаті цього може виникнути так званий схемний резонанс.

Основні переваги ПЛІ з СІП в порівнянні з ПЛІ з неізолюваними проводами:

- значне зниження часу і витрат при електромонтажу і обслуговуванні, а також витрат на виконання аварійно-відновлювальних електромонтажних робіт;
- спрощене конструктивне виконання опор (відсутність ізоляторів і траверс);
- виключення як міжфазного замикання, так і замикання на "землю";
- відсутність необхідності при монтажі ПЛІ підготовки траси, вирубки дерев і просік;
- нескладне обслуговування ПЛІ в процесі експлуатації, істотно підвищує безпеку таких ліній.

Завдяки цим перевагам, ПЛІ в даний час широко застосовуються в електромережах розвинених країн світу, в тому числі в електромережах України. [3]

У лабораторії надвисоких напруг кафедри "Передача електричної енергії" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" була створена модель ПЛІ, що дозволяє моделювати лінію з захищеними та голими проводами. Ця модель дає можливість виконати експерименти для дослідження та визначення зони захвату лінії при різних параметрах цієї лінії та дослідити величину наведених перенапруг, що виникають у ВЛЗ, при ударах блискавки поблизу ліній при різних геометричних параметрах ліній.

Для проведення експериментів було обрано вихідні параметри які відповідають основним принципам моделювання та не ускладнюють проведення експериментів. Були розраховані коефіцієнти моделювання для визначення геометричних параметрів моделі і визначено, що коефіцієнт подібності для струмів 10 кА дорівнює 43, а для 20 кА – 68. Таким чином було розраховано модельну висоту підвісу проводу, вона буде дорівнювати наступним значенням:  $h_1 = h_5 = 0,2$  м;  $h_2 = h_6 = 0,35$  м;  $h_3 = h_7 = 0,13$  м;  $h_4 = h_8 = 0,22$  м.

Зона захвату блискавки, це площа, з якої лінія приймає прямі удари. Ця зона залежить від значної кількості параметрів, таких як: тип проводу, висота підвісу проводів, радіусу проводів, відстані між фазами, напругою в лінії, струму блискавки, швидкістю наростання струму, погодою, типу нейтралі, опору заземлення та багато інших.

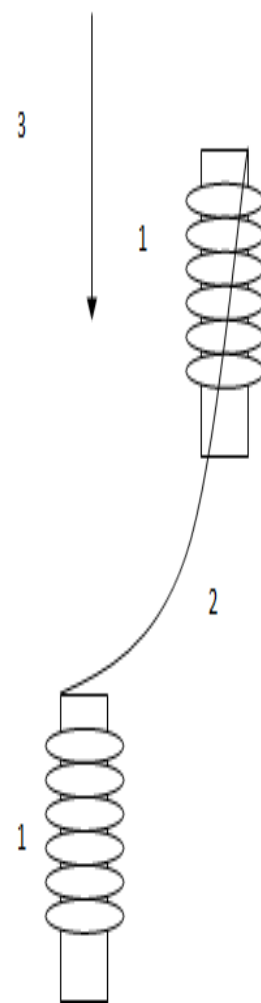


Рисунок 1 – Загальний вигляд моделі: 1 – опорний ізолятор, 2 – захищений провід, 3 – електрод, що імітує блискавку.

У наших дослідженнях визначено вплив таких параметрів як:

- тип проводу;
- висота підвісу проводу, що залежить від класу напруги лінії;
- струм блискавки.

Для проведення експериментів параметри моделі бралися для типових опор ПМ 10-1 для ліній 6 кВ і ПС 35П-5М для ліній 35 кВ.

Висота підвісу проводів для опори ПМ 10-1 дорівнює 9 м, а для опори ПС 35П-5М - 15 м.

В якості досліджуємих проводів використовувались проводи СІП 3 1\*50-20 та АС-50/8.

Дослідження проводились для двох, найбільш розповсюджених, струмів блискавки, 10 та 20 кА.

В ході проведення експериментів, параметри моделі були визначені наступними: електрод знаходився на висоті 1 м від поверхні "землі"; на висоті від 0,13 до 0,345 м від поверхні "землі" був підвищений захищений або голий провід. Зарядний напруга ГНа становила 80 кВ на поверх, що в загальній сумі становило близько 1 МВ поданого на електрод. [4]

За результатами проведених досліджень, отримані результати були внесені до таблиці 1.

Таблиця 1 - Модельні результати експериментальних досліджень

Висота підвісу провoda, $H_{\text{под}}$ , м	Відстань, з якої провід приймає прямі удари блискавки, X, м	
	СИП 3 1*50-20	АС – 50/8
0,2	0,25	0,37
0,35	0,425	0,62
0,13	0,17	0,245
0,22	0,27	0,4

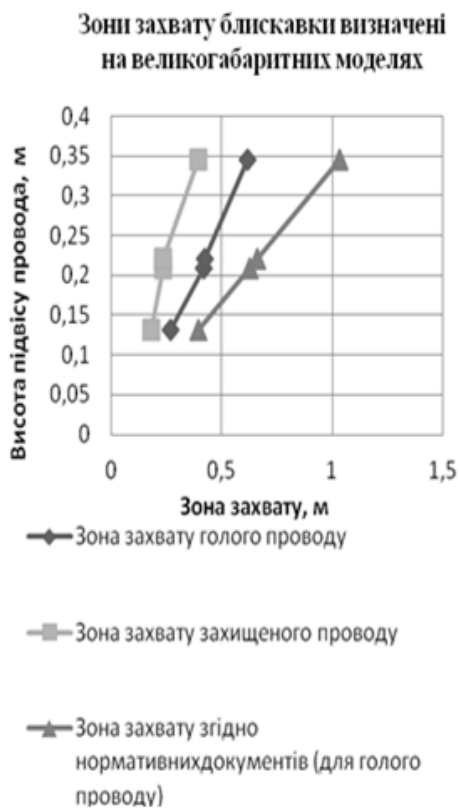


Рисунок 2 – Експериментальні значення захоплення блискавки для різних типів провoda в порівнянні з нормативним значенням.

Використовуючи отримані результати зон захоплення для різних типів провoda для подальшого дослідження величини наведених перенапруг.

При проведенні експериментальних досліджень параметри моделі були наступними:

- Електрод був на висоті 1 м від поверхні "землі";
- На висотах 0,135 м, 0,21 м, 0,35 м від поверхні "землі" був підвішений захищений та неізольований провід, підключений до ємкісному делителю напруги

500 кВ з оптичною розв'язкою, до якого був підключений осцилограф;

- Електрод, що імітує блискавку був зрушений на різних відстанях від підвішеного захищеного провoda;

- Зарядний напруга ГІН становила 55 кВ на поверх, що в загальній сумі склало близько 660 МВ, який був поданий на електрод.

При впливі напруги ГІН на електрод, що імітує блискавку, відбувався пробій повітряного проміжку "електрод - земля". Це призводило до виникнення на дроті індукованої перенапруги. [5]

Були отримані наступні графіки, верхнім значенням є відстань від провoda до електрода імітуючого блискавку; нижнім значенням – є величина наведеної перенапруги (рис. 3-6).

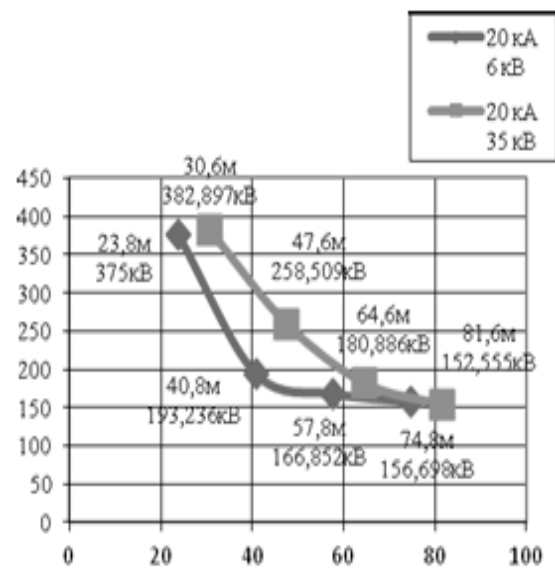


Рисунок 3 – Графіки для провoda СИП 3 1\*50-20 з струмом блискавки 20 кА, для класів напруг 6 кВ та 35 кВ

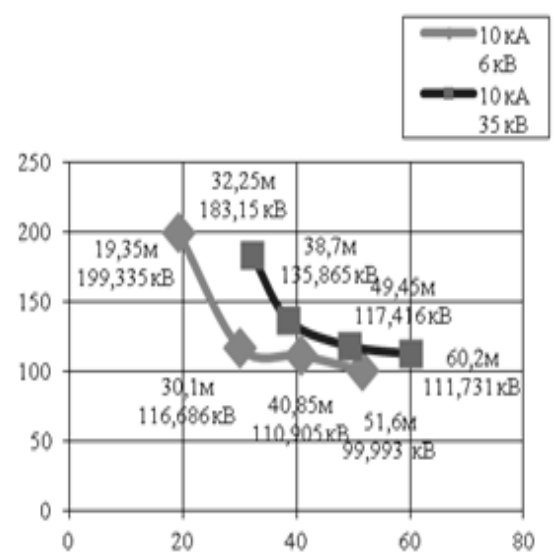


Рисунок 4 – Графіки для провoda СИП 3 1\*50-20 з струмом блискавки 10 кА, для класів напруг 6 кВ та 35 кВ

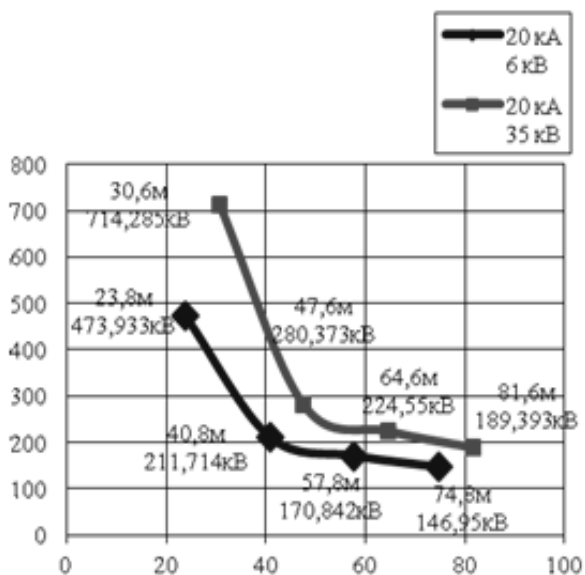


Рисунок 5 – Графіки для проводу АС 50/8 зі струмом блискавки 20 кА, для класів напруг 6 кВ та 35 кВ

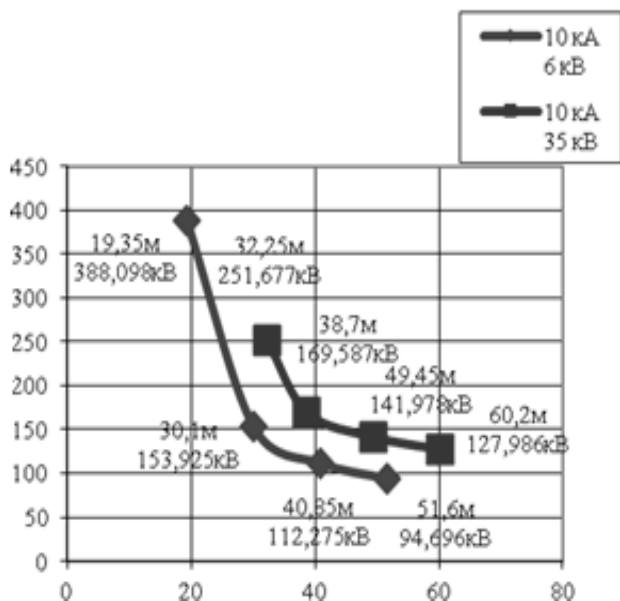


Рисунок 6 – Графіки для проводу АС 50/8 зі струмом блискавки 10 кА, для класів напруг 6 кВ та 35 кВ

**Висновки.** Таким чином, проведені експериментальні дослідження електромагнітних процесів, що виникають у ПЛЗ при ударах блискавки поблизу ліній, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Експериментально визначені величини зон захоплення прямого удару блискавки повітряними лініями з різним конструктивним виконанням проводів.

2. Порівняння експериментально отриманих та розрахункових (за нормативними документами) значень зон захоплення виявило суттєві відмінності їх величини.

3. З графіків можна зробити висновок, що лінії з неізольованими проводами при ударах блискавки поблизу лінії, наводять на своїх фазах індуковані напруги значно більші, ніж лінії з захищеними проводами.

## Список використаних джерел

1. Подпоркин Г. В. Защита компактных ВЛ 10 кВ от грозовых индуцированных перенапряжений / Г. В. Подпоркин, В. Е. Пильщиков, А. Д. Сиваев // Энерго-инфо. – 2007. – № 4. – С. 35-39.
2. Юриков А. П. Защита линий электропередач от грозовых перенапряжений / А. П. Юриков - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 88с.
3. Базелян Э. М. Физика молнии и молниезащиты / Э. М. Базелян, Ю. П. Райзер. – М: Физматлит, 2001. – 320 с..
4. Danylchenko D. Development of method for determining the number of direct lighting strikes if overhead lines with protected wires / S. Shevchenko, D. Danylchenko // IEEE First Ukraine Conference of Electrical and Computer Engineering (UKRCON), p. 479-482.
5. S. Shevchenko Lightning damage of air lines with protected wires / S. Shevchenko, D. Danylchenko, S. Drivetskiy // Sciences of Europe № 19 (19) vol. 1 2017. pp. 52-57.

## Аннотация

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУЦИРОВАННОГО ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ НА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-35 КВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПРОВОДОВ

Дривецкий С. И.

*Проведены экспериментальные исследования зон захвата линий электропередачи с различными типами проводов, а также измерения величины индуцированного на проводах импульса перенапряжения.*

## Abstract

### INVESTIGATION OF INDUCED OVERVOLTAGE ON A POWER LINE OF 6-35 KV WITH DIFFERENT TYPES OF WIRES

S. Drivetskiy

*Experimental studies of zones of capture of transmission lines with different types of wires, as well as measurement of the value of induced on wires of an overvoltage pulse have been carried out.*