

## УРАЖЕННЯ БЛИСКАВКОЮ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ З ЗАХИЩЕНИМИ ПРОВОДАМИ

*Шевченко С.*

*Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», професор*

*Данильченко Д.*

*Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», аспірант*

*Дривецький С.*

*Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», аспірант*

### LIGHTNING DAMAGE OF AIR LINES WITH PROTECTED WIRES

*Shevchenko S.*

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", professor*

*Danylchenko D.*

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", graduate student*

*Dryvetskyi S.*

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", graduate student*

#### АНОТАЦІЯ

У даній статті розглянуті проблеми захисту ізольованих проводів від грозових перенапруг. Проаналізовано вплив грозових розрядів як при прямому влучанні в провід, так і при потрапленні блискавки в землю поруч з ізольованим проводом. В ході досліджень були виявлені зони захоплення для різних типів проводів, як голого, так і захищеного. Було експериментально доведено рівності амплітуд і форм прикладених напруг та наведених блискавкою перенапруг на захищеному проводі.

#### ABSTRACT

This article deals with the problems of protecting insulated wires from storm overvoltages. The influence of lightning discharges is analyzed both in the case of direct feeding into the wire, and when lightning strikes the earth next to an isolated wire. In the course of the studies, capture zones were identified for various types of wires, both bare and protected wires. It was experimentally proved that the amplitudes and forms of the applied stresses and the lightning-transmitted overvoltages on the protected wire were proved.

**Ключові слова:** Повітряна лінія електропередач, захищений провід, голий провід, блискавка, зона захвату блискавки, наведені перенапруги, амплітуда, грозовий розряд.

**Keywords:** Air power line, protected wire, bare wire, lightning, seizure area, overvoltages, amplitude, lightning discharge.

**Постановка проблеми.** Багаторічний досвід будівництва та експлуатації повітряних ліній електропередавання 6-35 кВ з оголеними проводами показав наявність суттєвих проблем при їх експлуатації. Тому технічна політика України в електроенергетиці передбачає, при новому будівництві та реконструкції усіх повітряних ліній (ПЛ) використання захищених проводів. Такі проводи вирішують цілу низку проблем притаманних лініям, наприклад, одна з найсерйозніших – це мережеві резонанси.

Основні переваги ПЛЗ в порівнянні з ПЛ з голими проводами:

- значне зниження часу і витрат при електро-монтажу і обслуговуванні, а також витрат на виконання аварійно-відновлювальних електромонтажних робіт;
- спрощене конструктивне виконання опор;
- зменшення площі землі, що відводиться під ЛЕП;
- виключення як міжфазного замикання, так і замикання на «землю»;
- безпеку обслуговуючого персоналу.

Лінії з захищеними проводами дали можливість збільшити пропускну здатність лінії, за рахунок зменшення відстані між проводами, ємності через це збільшились, таким чином зменшився хвильовий опір і збільшилась натуральна потужність та межу пропускну здатності ПЛЗ. Як з'ясувалось в процесі експлуатації такі лінії мають також і недоліки. Одним з основних та потребуючих обов'язкового вирішення є захист проводів таких ліній від грозових перенапруг. Для ПЛ з голими проводами грозові перенапруги були менш небезпечні, оскільки в лініях з такими проводами електрична дуга має властивість переміщатися уздовж проводу, що призводить до збільшення її довжини та відповідно і до погашення.[1] На відміну від цього в лініях з захищеними проводами захищений ізоляцією провід пробивається в певному місці. При цьому ізоляція не дозволяє дузі переміщатися уздовж дроту, вона продовжує горіти на дроті тільки в місці пробією до тих пір, поки цей провід не перегорить і не обірветься.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Існують різні думки з приводу форми та амплітуди

наведеної перенапруги на ЛЕП, деякі дослідники вважають що вони можуть змінюватися і бути відмінними по формі та амплітуді від напруги, що генерується індукованими перенапругами на проводі, відповідно вивчення цього питання дуже важливе для того, щоб зрозуміти яким чином захищати ПЛЗ. [2] Крім того відомо, що кількість прямих влучень залежить від площі з якої лінія збирає розряди блискавки, визначення такої площі одна з актуальних задач, яка вирішувалась в нашому дослідженні. При розрахунку кількість прямих ударів блискавки у ПЛЗ 6-35 кВ досить мала, за рахунок невеликої висоти подібних ліній, однак необхідно враховувати те що, ізоляція лінії пошкоджується не тільки прямими ударами блискавки. Небезпеку для неї становлять удари блискавки поблизу лінії, що супроводжуються виникненням наведених на ПЛЗ перенапруг. Як показують досліди багатьох авторів, наведені перенапруги для ліній такого класу мають досить великі значення амплітуди напруги та призводять до пробую систем ізоляції «провід-ізолятор». Дослідження як прямих, так і наведених перенапруг носять вельми важливий характер. Адже при атмосферних перенапругах виникають досить великі імпульси перенапруг, котрі призводять до пробую ізоляції та протіканню струму дуги в місці

де стався пробій. Вірогідність переходу перекриття в дугу завжди дорівнює 100%.

**Мета статті.** Метою дослідження було визначення зони захвату для голого і захищеного проводу та їх порівняння. [3] Зона захвату – це площа, з якої провід збирає прямі удари блискавки. Відстань від електроду імітуючого блискавку до точки з якої, відбуваються прямі влучання блискавки в провід, визначає цю площу. Також важливим питанням було порівняти імпульси та амплітуди наведених перенапруг, що виникають при ударі блискавки поблизу захищеного проводу. Та визначення величина наведеної перенапруги на самому проводі.

**Матеріали і методи дослідження.** У лабораторії надвисоких напруг кафедри «Передача електричної енергії» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» була створена модель ПЛ, що дозволяє моделювати лінію з захищеними та голими проводами. [4] Ця модель дає можливість виконати експерименти для дослідження та визначення зони захвату лінії при різних параметрах цієї лінії та дослідити форму і величину наведених перенапруг, що виникають у ВЛЗ, при ударах блискавки поблизу ліній при різних геометричних параметрах ліній.

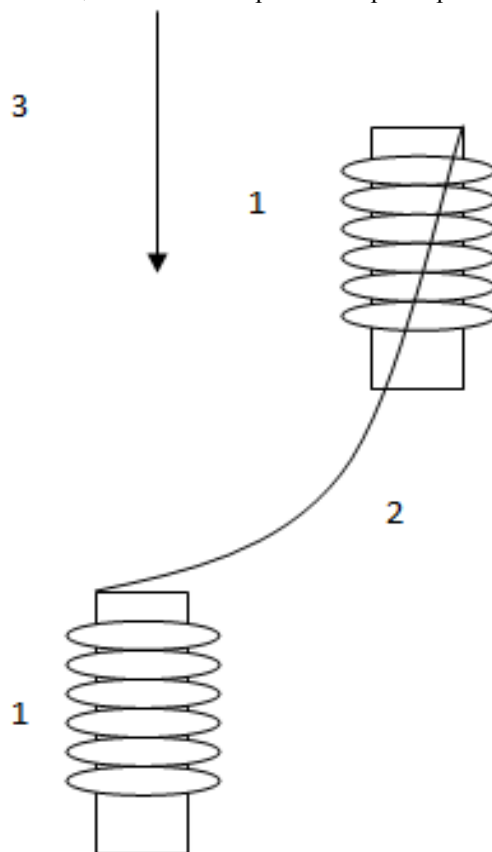


Рис. 1. Загальний вигляд моделі.

1- опорний ізолятор, 2-захищений провід, 3-електрод, що імітує блискавку.

В якості джерела високої напруги використовувався генератор імпульсної напруги (ГІН) з максимальною напругою 2.4 МВ, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 2. ГІН зібраний по однопо-

луперіодній схемі з використанням 24 конденсаторів ємністю 0,25 мкФ і напругою 100 кВ. Живлення ГІНа здійснюється через підвищувальний трансформатор 200 / 100000 В.

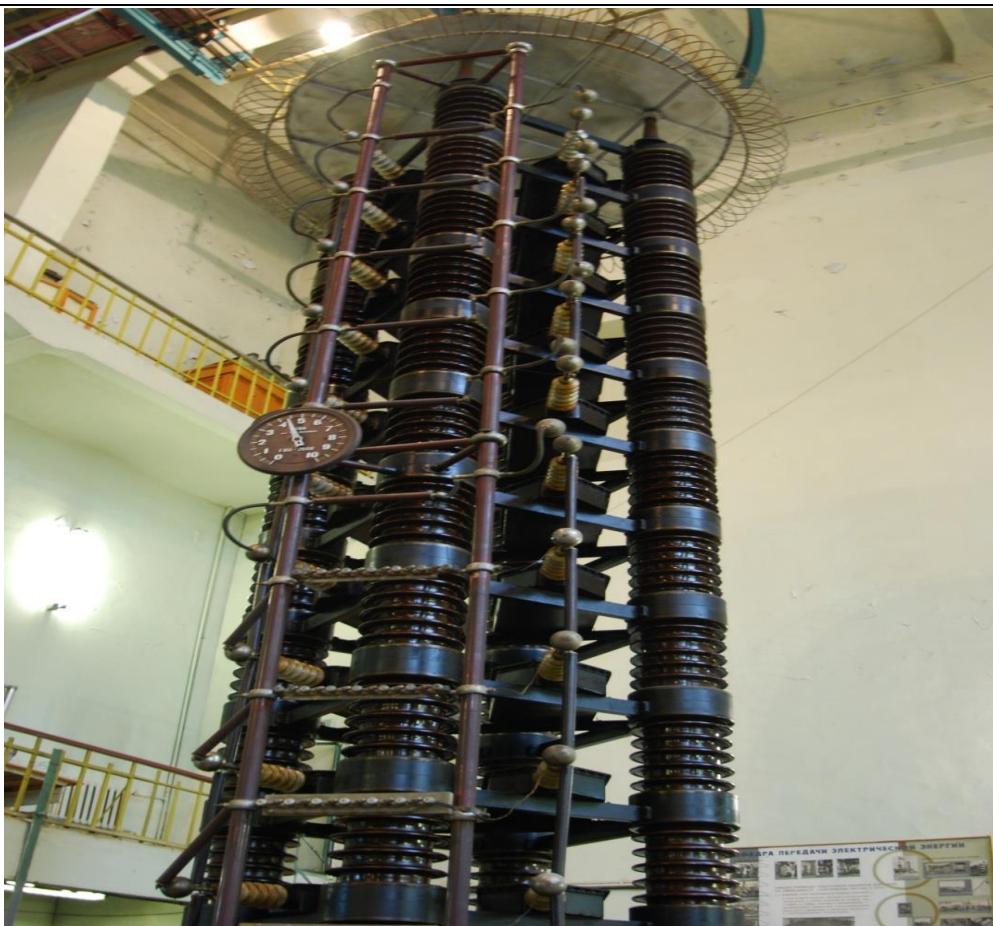


Рис. 2. - Генератор імпульсних напруг 2,4 МВ.

#### Дослідження зони захвату блискавки повітряних ліній з захищеними та голими проводами.

Одним з питань, пов'язаних з розрахунком грозовостійкості ПЛ, є визначення вражаємості ліній прямими ударами блискавки. Існуючі оцінки числа ударів блискавок, які стягуються лінією, носять емпіричний характер. [5] Однак, з впровадженням захищених проводів змінилась і зона захвату блискавки.

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.

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 и 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 досліджуваних проводів використовувались проводи СИП 3 1\*50-20 та АС-50/8.

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

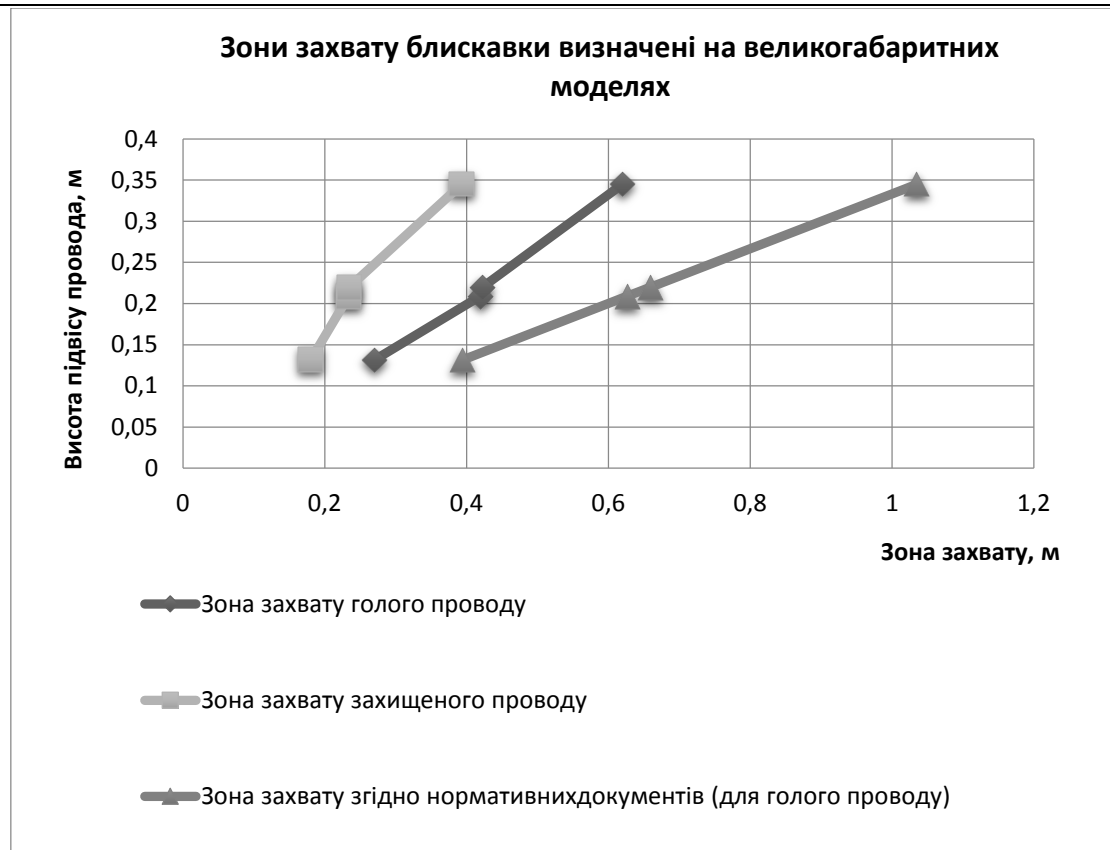
В ході проведення експериментів, параметри моделі були визначені наступними: електрод знаходився на висоті 1 м від поверхні «землі»; на висоті від 0,13 до 0,345 м від поверхні «землі» був підвішений захищений або голий провід. Зарядний напруга ГНа становила 80 кВ на поверх, що в загальній сумі становило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

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

Таблиця 1

Моделльні значення зон захвату блискавки отриманих на моделі

Висота підвісу проводу, $H_{\text{под}}$ , 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



Таблиця 2

Реальні значення зон захвату блискавки для різних типів проводів, класів напруги лінії та різного струму блискавки.

Значення струму блискавки та напруги на проводі	Відстань, з якої провід приймає прямі удари, м	
	СП 3 1*50-20	АС – 50/8
$I_6 = 10 \text{ кА}; U = 6 \text{ кВ}$	10,75	15,91
$I_6 = 10 \text{ кА}; U = 35 \text{ кВ}$	18,275	26,72
$I_6 = 20 \text{ кА}; U = 6 \text{ кВ}$	11,56	16,66
$I_6 = 20 \text{ кА}; U = 35 \text{ кВ}$	18,35	27,2

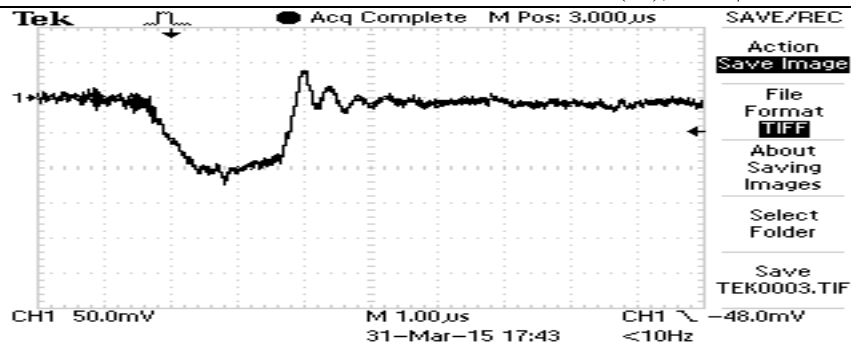
Як видно з отриманих результатів, зона захвату голого проводу майже у два рази перевищує зону захвату захищеного проводу і приблизно в два рази перевищує висоту підвісу проводу, в той час як нормативні документи стверджують що зона захвату дорівнює три висоти підвісу.

#### Дослідження форми та амплітуди наведених перенапруг у захищених проводах.

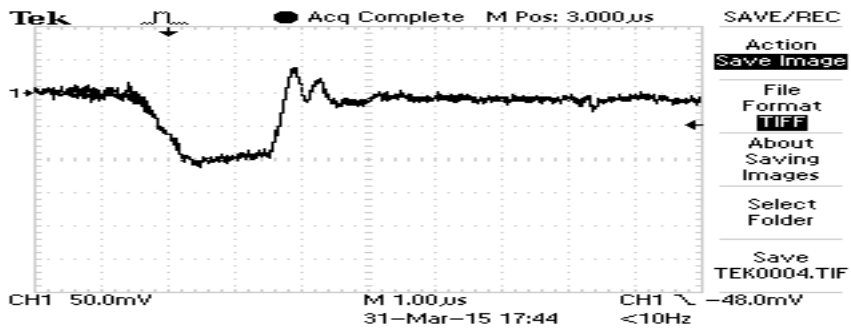
В ході проведення експериментів з вихнення індукованих перенапруг, параметри моделі були задані наступними: електрод знаходився на висоті 1

м від поверхні «землі»; на висоті 0,35 м від поверхні «землі» був підвішений захищений провід, підключений до ємкісного дільника напруги 500 кВ з оптичною розв'язкою, до якої був підключений осцилограф фірми Tektronix модель TDS 1012; електрод, що імітує блискавку був розміщений на відстані 0,8 м від підвішеного захищеного проводу. Зарядний напруга ГІНа становила 80 кВ на поверх, що в загальній сумі становило близько 1 МВ поданого на електрод.

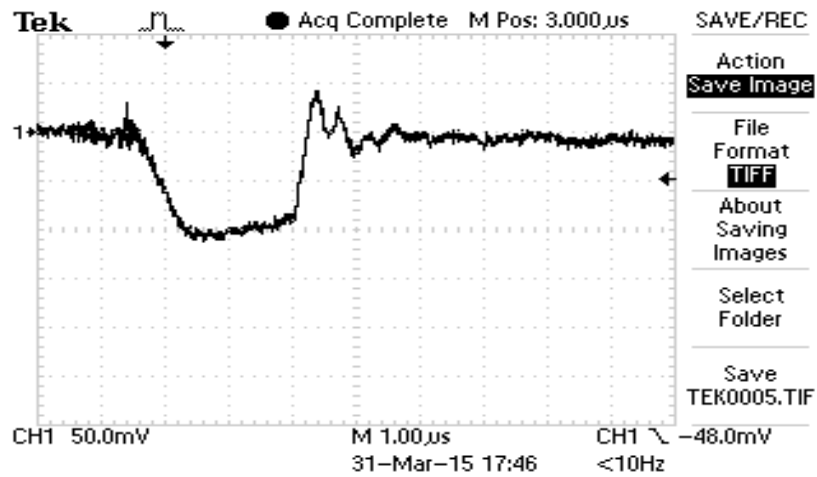
В результаті були отримані наступні осцилограми:



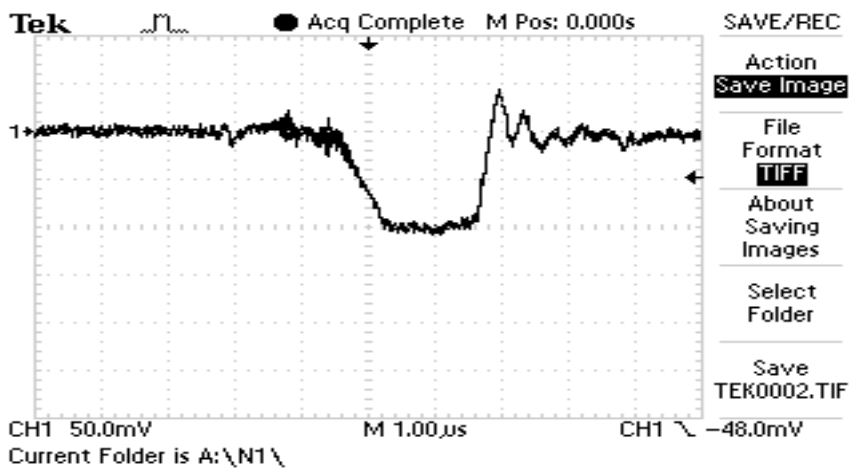
a)



б)



в)



г)

Рис. 3. а); б) величина наведеної напруги складала 60 кВ,  
в); г) форма наведеного на захищеному дроті перенапруги

На рис.5 «в» видно форму напруги, яка подавалася на електрод і форму напруги, яке наводилася на дроті рис.5 «г» в ході експерименту. Добре видно, що фронт хвилі практично не змінився. Це дозволяє зробити висновок про практично повний збіг фронтів наведеного та подається імпульсів напруги.

Отримані осцилограми показують, що форма прикладеного і наведеного імпульсів напруги, не змінилася. Величина наведеної напруги при описаних параметрах моделі виявилася рівною 60 кВ, що свідчить про досить високий ступінь зв'язку проводу і каналу імпульсного розряду. Якщо врахувати ту обставину, що прикладений імпульс мав величину 1мВ то коефіцієнт зв'язку в цьому випадку дорівнював 0,05. Якщо припустити, що струм реальної блискавки дорівнює 10 кА, то при таких умовах моделювання на дроті наведеться напруга 60кВ, що цілком достатньо для пробою ізоляторів ПЛЗ.

#### **Висновки.**

1. Отримані результати експериментів дозволяють зробити висновок, що зона захвату захищеними проводами в 2 рази менше зони захвату голими проводами.

2. Інформація що подається в нормативних документах з питання грозозахисту не відповідає дійсності та вимагає доопрацювання у питанні захисту ПЛ середніх класів напруг та у питанні використання захищених проводів.

3. Було виявлено, що форма подаваного і наведеного імпульсу, на дроті не змінюється.

4. В результаті проведених експериментів, була виміряна величина наведеної напруги, при вибраних умовах експерименту, перебувала в межах 60 кВ.

#### **Література**

1. Шаманов Д. Преимущества самонесущих изолированных проводов 6...35 кВ. Способы защиты воздушных линий от грозových перенапряжений // Новости электротехники. – 2002. – № 3 (15).

2. Шевченко С.Ю., Ермоленко Б.Ф., Данильченко Д.А., Дривецкий С.И. Поражаемость воздушных линий распределительных сетей с защищенными проводами грозowymi разрядами // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2016. - №3 (1175). – С. 101 – 107.

3. Адлер Ю. П., Грановский Ю. В., Маркова Е. В. Теория эксперимента: прошлое, настоящее, будущее, — М.: Знание, 1982.

4. Базелян Э. М., Горин Б. Н., Левитов В. Н. Инженерные и физические основы молниезащиты.— М.: Гидрометеоздат, 1974.

5. Sergey S., Dmitry D. Defeat of overhead lines transmission networks with protected wires from lightning strike //Applied Physics (YSF), 2015 International Young Scientists Forum on. – IEEE, 2015. – pp. 1-4.