

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ВІД ДІЙ БЛИСКАВОК

Корнєв В.С., магістрант, Шостак В.О., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Розряди блискавки можуть впливати на роботу повітряних ліній (ПЛ) внаслідок попадання блискавок безпосередньо у фазні проводи, у грозозахисні троси та опори/вежі, у споруди, дерева чи у землю поблизу ліній [1, 2]. В залежності від класу напруги ліній внесок окремих способів впливу варіюється. Зокрема, на лініях низьких класів напруги і розподільних значна кількість перекирів і коротких замикань пов'язана із появою індукованих перенапруг внаслідок розрядів поблизу ліній. І ця кількість може помітно перевищувати число таких наслідків від прямих уражень. Для ліній електропередавання (ЛЕП) основна кількість небезпечних ситуацій пов'язана саме з прямими ураженням у лінії [1].

Традиційними способами покращення грозозахисту ліній: використання грозозахисних тросів на ЛЕП, зменшення опору заземлювачів веж та посилення ізоляції фазних проводів. В Україні захисні пристрої різних типів (розрядники вентильні, РВ; розрядники трубчасті, РТ; захисні іскрові проміжки, ІП; обмежувачі перенапруг нелінійні, ОПН) використовувалися в основному на підстанціях (ПС) та в лініях лише на підходах до ПС.

Питання грозозахисту ліній залишається актуальним – для збереження цілісності ізоляції і обладнання, економічно виправданого зменшення кількості грозових відключень, зменшення габаритів ліній і зон відчуження та ін. [1, 3, 4]. Протягом останніх десятиріч в світі розроблялося і впроваджувалося чимало нових технічних рішень для покращення грозостійкості ліній [1, 4-8]. Один з напрямків стосується використання захисних пристроїв на ізоляторах ліній, як ЛЕП так і розподільних. Зокрема, в Росії і в Україні в розподільних мережах з повітряними лініями із захищеними проводами (ПЛЗ) застосовують так звані розрядники довгоіскрові (РДІ), розрядники мультикамерні (РМК) і ізоляторирозрядники мультикамерні (ІРМК) [1, 6].

Отже, є багато нових рішень, які варто враховувати при проектуванні нових чи модернізації існуючих ліній.

Мета роботи. Огляд і аналіз технічних рішень щодо захисту повітряних ЛЕП та розподільних ліній від дії блискавок.

Матеріали і результати досліджень. Технічні рішення щодо покращення грозозахисту повітряних ліній стосуються різних компонентів системи блискавозахисту і підходів [1, 4-8]. Зокрема, можна виділити такі напрямки:

- 1) Троси – уточнення місця розташування, конструктивного виконання, розрахунок захисних характеристик з урахуванням сучасних моделей перехоплення блискавки і методів (електрогеометричний метод, ЕГМ, зокрема, з моделлю сфери, що котиться; прогресуючого лідера та ін.);

- 2) Заземлювачі – застосування сумішей з високою електропровідністю, «хімічні стрижні», каскадні конструкції заземлювачів, обміднені елементи та ін.;
- 3) Ізоляція – посилення, модернізація, нові типи ізоляційних конструкцій;
- 4) Захисні пристрої вздовж лінії – на всій довжині чи на окремих критичних ділянках, на всіх чи на окремих фазах, на проводах однієї лінії у випадку багатофазової системи чи на проводах кількох ліній, для ЛЕП чи розподільних мереж, в т.ч. для ПЛЗ;
- 5) Компактні опори для ЛЕП із застосуванням лінійних засобів захисту;
- 6) Влаштування на опорах одночасно ЛЕП та розподільних ліній;
- 7) Системи моніторингу – відеореєстрація місця розряду блискавки на лінії чи поблизу неї, фіксація спрацювань захисних пристроїв та параметрів струму блискавки, дистанційна реєстрація блискавок за електромагнітним полем, що випромінюється від них;
- 8) Захист від впливів блискавок на засоби керування, вимірювання і автоматики в енергосистемі.

Деякі з цих напрямків розглянуто у даній роботі. Для ліній різних класів напруги окремі аспекти можуть відрізнятися.

Вимикання внаслідок грози класичних повітряних ЛЕП напругою 220 - 750 кВ із грозахисними тросами. В [1] наведено результати аналізу автоматичних вимикань ліній класів 220-750 кВ електромереж ДП «НЕК «Укренерго» внаслідок ударів блискавок протягом 2006–2011 рр. (табл. 1).

Таблиця 1 – Вимикання ПЛ ДП «НЕК «Укренерго» протягом 2006-2011 рр., зумовлені блискавками, та їх наслідки [1]

Напруга ПЛ, кВ	Вимикання							
	Всього	Без пошкодження лінійних елементів	З пошкодженням лінійних елементів	Класифікація ушкоджень				
				З пошкодженням ізоляції у гірляндах фаз	З пошкодженням ізоляції в підвісці тросу	Обрив (розрив) гірлянди	Обрив троса	З пошкодженням провода
750	21	14	7	4	1	1	-	1
330	241	190	51	22	3	16	9	1
220	130	93	37	26	2	9	-	-

Більшість з цих ПЛ є конструктивно неоднорідними – на різних ділянках траси можуть бути різні типи опор, один чи два грозахисні троси чи без тросів, різні електропровідності ґрунту. Опір заземлення опор R_z є в межах від 10 до 30 Ом (згідно з ПУЕ). На деяких ділянках трас ПЛ проходять в одному коридорі з іншими ПЛ, вони взаємно екрануються, за рахунок чого зменшується кількість грозових вимикань [1]. Ці всі особливості та тривалість і інтенсивність гроз впливають на кількість вимикань кожної ПЛ.

Наприклад, нерівномірність розподілу тривалості гроз навіть по трасі однієї з ПЛ 330 кВ («Курахівська ТЕС – Запорізька 750») представлено на рис. 1. На різних ділянках вона відрізняється до двох разів. Також ця ПЛ мала довгу ділянку без грозозахисних тросів (від 65 до 145 км) і вимикалася 27 разів, причому майже всі КЗ (короткі замикання) з вимкненням ПЛ від ударів блискавки трапилися на ділянці без тросу (18 вимкнень із 21 за 6 років; на рис. 1 місця КЗ позначено вертикальними лініями). З другого боку, можна зазначити, що на тих ділянках, де і присутні троси, навіть за найнижчої тривалості гроз (40 грозових годин на рік, на відмітках 25.1 та 26.5 км), теж відбулися КЗ. Це може бути викликано дією перенапруг як внаслідок попадання блискавки у трос/опору, так і від прориву блискавки (з невеликим струмом зворотного удару) через захист у фазний провід.

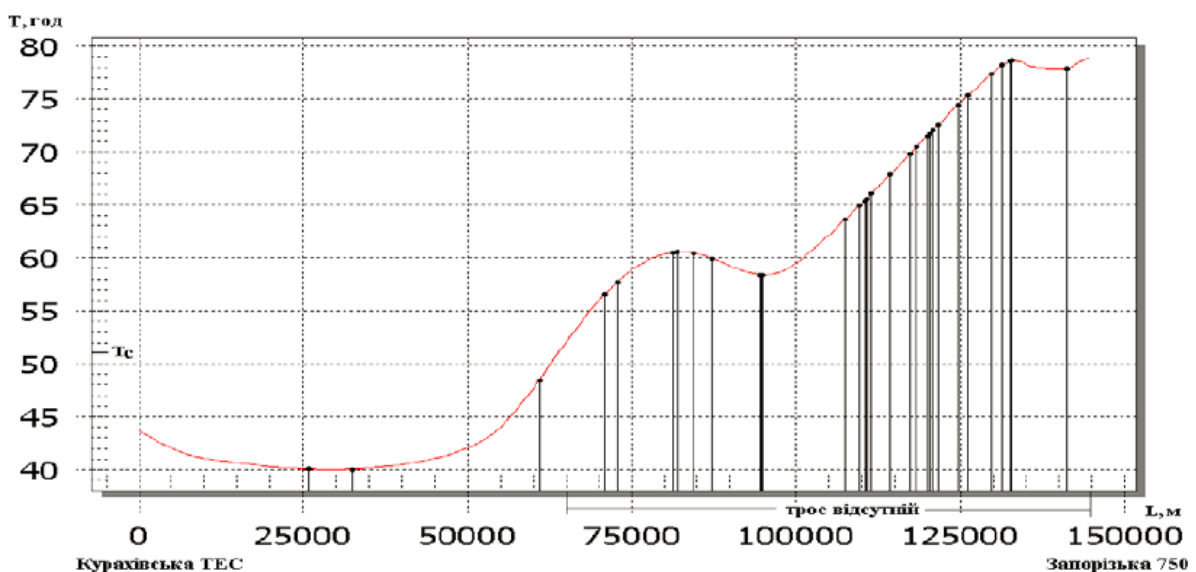


Рисунок 1 – Середньостатистичне число грозових годин вздовж траси ПЛ 330 кВ «Курахівська ТЕС – Запорізька 750» з позначенням місць КЗ, які виникли під час гроз [1]

У табл. 1 також подано класифікацію вимкнень ПЛ, зумовлених блискавками. Зокрема, видно, що доля грозових вимкнень з пошкодженнями лінійних елементів становить від 27 до 72 % від всіх грозових вимкнень.

Враховуючи значну кількість відключень від грозової діяльності, які призводять до пошкодження ізоляції у підвісних гірляндах і руйнування гірлянд, актуальним залишається питання підвищення рівня ізоляції цих ЛЕП [1] або застосування інших способів для покращення їхньої грозостійкості. Таке рішення як посилення гірлянди ізоляторів на один елемент знижує кількість відключень від грозової діяльності більш ніж на 10%, але в деяких країнах цей метод вважають економічно недоцільним [1].

Лінія стандартної конструкції з тросом та компактна лінія без троса. В модельних дослідженнях [4] робота в умовах дії блискавок компактною лінією 123 кВ без грозозахисного тросу порівнюється з такою для лінії стандартної (звичайної) конструкції, яка має грозозахисний трос. Умови

моделювання: лінії – одноколові, критична напруга перекриття (CFO) лінійної ізоляції для обох ліній становить 590 кВ, прогони ліній – 175 м, питома щільність уражень блискавок у землю – 2,8 розрядів/км²/рік. Імпульсний імпеданс опор лінії стандартної конфігурації становить 180 Ом, тоді як для опор компактної лінії – 205 Ом. Опір заземлення опор при невеликих струмах коливається від 10 Ом до 80 Ом, а у програмі розрахунків реалізовано також нелінійну модель іонізації ґрунту біля заземлювача, яка може відбуватися при великих струмах.

Конфігурації опор з ізоляторами та провідниками наведено на рис. 2 [4]. Компактна лінія має композитні лінійні литі ізолятори. В цій одноколовій лінії фазні провідники розташовано за дельта-конфігурацією. Лінійні розрядники (LSA) встановлено лише на верхній фазі цієї лінії і вони мають рівень максимальної тривалої робочої напруги (MCOV) у 84 кВ [4]. (Як згадувалося у вступі, захисні елементи на лінійній ізоляції можуть бути різних типів, в т.ч. ОПН. Але для спрощення їх всі узагальнено часто називають «лінійні розрядники»). У цьому випадку провідник верхньої фази відіграє також роль грозозахисного проводу. Висоти розташування нижніх провідників для ліній обох конструкцій є однаковими (16 м).

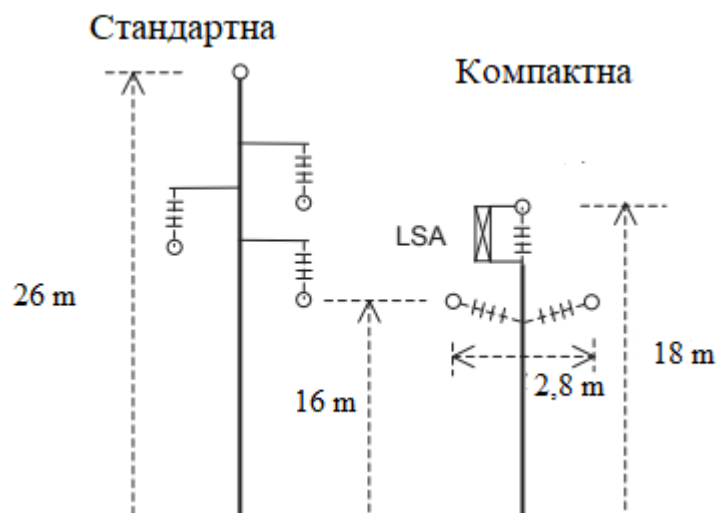


Рисунок 2 – Стандартна з захисним тросом та компактна без тросу одноколові конструкції ліній [4]

За результатами моделювання [4], зокрема, отримано (табл. 2): ширину збирання блискавок у лінію (W_E), кількість блискавок, зібраних лінією (N_L), і середнє значення величин струмів (I_M) блискавок, що уражують лінії.

Таблиця 2 – Результати електрогеометричного моделювання [4]

Параметр	Стандартна	Компактна
W_E , м	147,4	96,3
N_L , розрядів/100 км/рік	41,3	26,9
I_M , кА	31,9	30,3

Грозостійкість ліній визначалася для ряду значень опору заземлення опор і великої кількості (тисяча для кожної лінії) моделювань електромагнітних процесів в лініях [4], які виникають внаслідок їх ураження блискавками з різними, статистично визначеними, параметрами. Частину результатів цих досліджень наведено на рис. 3.

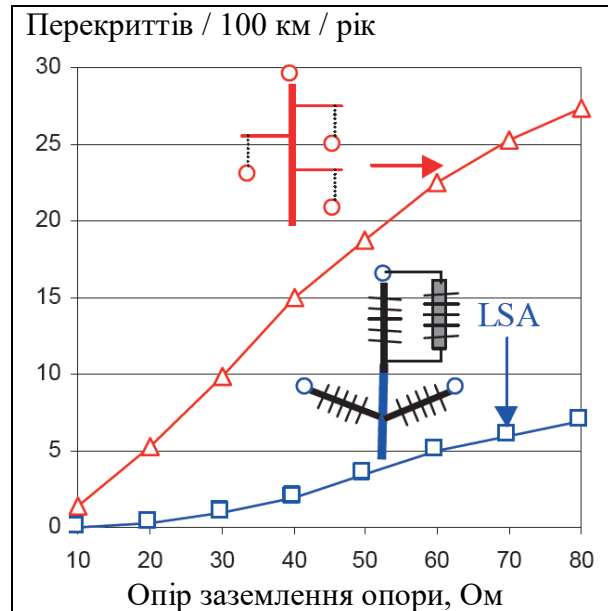


Рисунок 3 – Порівняння кількості перекриттів для одноколових ліній з конфігураціями згідно рис.2: стандартної лінії з грозозахисним тросом (верхня крива, червоні трикутники) та компактної лінії без троса (нижня крива, сині квадрати) [4]

З рис. 3 видно, що компактна лінія без окремого троса, але з розрядниками на верхній фазі, має набагато кращу грозостійкість, ніж лінія стандартної конструкції з грозозахисним тросом. Серед причин цього можна назвати такі [4]: - компактна лінія має меншу висоту і, відповідно, збирає менше блискавок, ніж лінія звичайної конструкції; - компактна лінія має розташування провідників, яке забезпечує добру електромагнітну взаємодію верхнього провідника з іншими фазовими провідниками, що знижує різницю потенціалів між ними; така взаємодія додатково покращується завдяки коронному ефекту; - перекриття на одному (центральному) провіднику повністю виключаються завдяки установці лінійного розрядника; - лінійний розрядник, встановлений на верхньому провіднику, впливає також на розподіл перенапруги на опорі (вежі), що зменшує перенапруги між верхнім провідником та нижніми фазними провідниками.

Застосування лінійних розрядників на багатоколових повітряних лініях з різними класами напруги. На одно- та багатоколових лініях лінійні захисні пристрої використовують на всіх чи на окремих фазних провідниках, на всіх чи окремих опорах, в т.ч. з чергуванням фаз, на яких ставлять захисні пристрої, якщо вони забезпечені не для всіх фаз. У роботі [5] проведено цікаве дослідження із застосування лінійних розрядників на багатоколових лініях з

різними класами напруг: зверху розміщуються два кола ЛЕП класу 138 кВ, а нижче на тій же опорі розміщено коло розподільної лінії (РЛ) класу 44 кВ. Оскільки рівень ізоляції РЛ є нижчим, ніж у обох кіл ЛЕП, то в такій конфігурації майже всі грозові перекриття будуть на РЛ. В цьому випадку частина струму блискавки відводиться у проводи РЛ і тим самим зменшується доля струму, що протікає через опір заземлювача опори, і рівень підйому потенціалу на цьому опорі. Також позитивний ефект виникає від електромагнітної взаємодії проводів ЛЕП та РЛ. Щоби уникнути перекриттів на РЛ, на ній ставлять лінійні захисні пристрої (LSA). На фазах кіл ЛЕП LSA не ставлять. В дослідженні [5] проаналізовано багато варіантів установки LSA (без них, на окремих чи на всіх фазах РЛ) для різних значень опору заземлювача (10 ... 100 Ом) і проведено порівняння цих випадків за показником кількості перекриттів на ізоляції ЛЕП. Зокрема, виявляється, що їх можна практично повністю виключити при установці захисних пристроїв на всіх трьох фазах РЛ. І це працює навіть за високих опорів заземлювача. Показано, що таким чином можна суттєво покращити грозостійкість кіл ЛЕП за рахунок використання набагато дешевших захисних пристроїв для РЛ в порівнянні з такими для ЛЕП.

Система захисту від блискавки ліній з ізолюваними проводами. Для повітряних ліній з захищеними проводами (ПЛЗ), потрібно мати спеціальні рішення, щоби при індукованих напругах від дії блискавки виключати пробій твердої ізоляції проводу в зоні біля вершка опори і подальше випалювання ізоляції та перепалювання проводу. Такі небезпечні пошкодження можуть виникати внаслідок фіксації каналу розряду (дуги) в одній точці на проводі [1].

Для вирішення цієї проблеми застосовують захисні пристрої, грозозахисні троси, частково зачищають ізоляцію проводів та ін. Зокрема, як приклади, можна загадати такі рішення [1]: 1) японська система – із зовнішнім іскровим розрядником; 2) американська – знято ізоляцію проводу біля ізолятора; 3) фінська – з дугозахисними «рогами» і навитим провідником без ізоляції на основному ізолюваному проводі поблизу вершка опори; 4) російська – із застосуванням довгоіскрових і мультикамерних розрядників та ізоляторів-розрядників мультикамерних [6].

Використання засобів для зменшення опорів заземлювачів опор (веж). Одним із способів зменшення впливів від розрядів блискавок на повітряні лінії є зменшення опорів заземлювачів опор. Це особливо актуально для ліній, траси яких проходять по територіям з великим питомим опором ґрунтів, в гірській місцевості і т.п. Для досягнення менших значень опорів заземлювачів навколо заземлювальних електродів заливають суміші з підвищеною електропровідністю (бентоніти та ін.). Такі конструкції інколи називають хімічними стрижнями [7].

Для більш ефективного використання цих засобів їх можна встановлювати спочатку на окремих критичних ділянках ліній, проводити спостереження за змінами у грозостійкості ліній, а потім, згідно результатів, коригувати прийняті підходи, комбінувати різні грозозахисні засоби і т.п. [7].

Системи моніторингу. Для повітряних ліній (переважно для ЛЕП вищих класів напруги) в останнє десятиріччя все ширше застосовують системи

моніторингу грозової активності вздовж трас ліній і реєстрації місця ураження блискавками. Найбільш успішно в питанні відеореєстрації блискавок на об'єктах електроенергетики просунулися у Китаї [8] та Японії, де існує кілька систем, в яких відеокамери встановлено на опорах ліній і передають записи через Інтернет-мережу до центру обробки інформації і керування. Такі пристрої відеореєстрації потрібні і для систем блискавкозахисту інших споруд з великими розмірами (вітроелектричні установки, сонячні фотоелектричні станції та ін.) [9]. Також сучасні лінійні засоби захисту мають можливість фіксувати і дистанційно передавати дані щодо їх спрацювання.

Висновки. 1) Традиційне застосування на ЛЕП грозозахисних тросів суттєво знижує кількість перекриттів і руйнувань лінійної ізоляції внаслідок дії блискавок, але не виключає їх повністю. Методи розрахунку захищеного об'єму під тросом продовжують розвивати. 2) Для ЛЕП та РЛ значне покращення грозостійкості може досягатися за допомогою лінійних захисних пристроїв (ОПН, розрядники). 3) Для ЛЕП у випадку застосування захисних пристроїв можливі варіанти як з грозозахисним тросом, так і без нього. Також, з точки зору зменшення кількості перекриттів та відключень внаслідок блискавок, ефективним є використання компактних ліній. 4) На багатоколових лініях для ЛЕП ефективним є спосіб захисту пристроями у колі РЛ. 5) РЛ з ізольованими проводами (ПЛЗ) потрібно і можливо захищати від пошкоджень внаслідок індукованих блискавками перенапруг шляхом застосування спеціальних захисних пристроїв в зоні проходження проводів на опорі. 6) Важливим є застосування систем моніторингу уражень ліній блискавками.

Перелік посилань

1. Аналіз сучасного зарубіжного та вітчизняного досвіду влаштування систем блискавкозахисту об'єктів електричних мереж. – К.: НЕК “УКРЕНЕРГО”, 2012.-75с.
2. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащита. – Москва: Физматгиз, 2001.-320 с.
3. Базелян Э. М. Практика молниезащиты. Оценка целесообразности защиты от воздействия молнии // Новости электротехники, 6(66), 2010, 4 с.
4. S. Sadovic, D. Lepley, E. Brocard, J. M. George, Line surge arresters applications on the compact transmission lines // Journal of Energy, vol. 60, Number 1–4 (2011), Special Issue, p. 41-46.
5. S. Sadovic, T. Sadovic, Line surge arresters applications on the multi circuit overhead lines // Journal of Energy, vol. 60, Number 1–4 (2011), Special Issue, p. 75-80.
6. G. V. Podporkin, E. S. Kalakutsky, V.E. Pilshikov, A. D. Sivaev, Lightning protection of electric power overhead distribution lines by long-flashover arresters in Russia lines // Journal of Energy, vol. 60 Number 1–4 (2011), Special Issue, p. 101-109.
7. D. Miškovic, I. Uglešić. Decreasing backflashover numbers on medium voltage overhead lines located in regions with high soil resistivity // Journal of Energy, vol. 60, Number 1–4 (2011), Special Issue, 29-30.
8. Shanqiang G., Biwu Y., Chun Z., Tao W. and Qing L. (2016). Application of lightning optical path monitoring system on 500 kV transmission lines in mountain area. *Proc. 33rd Intl Conf. on Lightning Protection, ICLP-2016*, Estoril, Portugal, p. 1-5.
9. Shostak V., Prylepa R., Kozlov O. Tests of Video Cameras for Lightning Monitoring System // *Proc. Int. Conf. on Lightning Protection, ICLP-2018*, Poland, 2018, ID139 (p. 139.1-7).