

Кирисов Ігорь Геннадійович, асистент кафедри автоматизації енергетичних процесів
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. вул. Університетська 16, 61003

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГРОЗОВИХ ПЕРЕНАПРУГ НА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ УКРАЇНИ

В статті розглядаються питання впливу грозових перенапруг на повітряні лінії. Визначені можливі наслідки при ударі блискавки у різні елементи повітряної лінії. Запропоновані варіанти вирішення проблеми, які виникають в наслідок удару блискавки у повітряну лінію. Зазначено, що джерелом грозових перенапруг є природна електрика грозових хмар, яка у вигляді блискавки уражає об'єкти на землі. Показано, що хвилі перенапруги, які виникають у струмоведучих частинах під час ударів блискавки, поширюються, проникаючи в обмотки трансформаторів, машин, впливаючи на ізоляцію ліній і апаратів. Час впливу атмосферних перенапруг дуже малий (від одиниць до сотень мільйонних часток секунди), однак величина цих перенапруг за відсутності спеціальних заходів захисту може сягати мільйонів вольтів. Обґрунтовано, що головною небезпекою для лінії є прямий удар блискавки у фазні проводи з подальшим перекриттям ізоляції від перенапруг, що виникають при цьому. Після закінчення імпульсу струму блискавки на місці перекриття залишається провідний канал з газом, який не встиг деіонізуватися, по якому під дією робочої напруги може продовжувати протікати струм промислової частоти. В процесі ліквідації замикань на лінії, викликаних грозою, витрачається ресурс роботи вимикачів; трансформатори та інші устаткування мережі піддаються електродинамічним і термічним діям струмів короткого замикання. Значна частина замикань супроводжується подальшим розвитком аварії, що вимагає відключення лінії на тривалий термін з порушенням нормального електропостачання споживачів. Ймовірність грозового відключення лінії залежить від багатьох причин: інтенсивності грозової діяльності в районах, розташованих уздовж траси лінії, номінальної напруги мережі, її конструкції, матеріалу опор та ін. Показано, що ефективність блискавкозахисту визначають окремо для розрахункових випадків ураження лінії. Запропоновано заходи, що визначають ефективність блискавкозахисту окремо для розрахункових випадків ураження та які здатні запобігти безпосереднім ударам блискавки в захищені об'єкти і організувати протікання струмів блискавки по безпечному шляху. Визначено окремі місця ліній, які вимагають додаткових заходів захисту.

Ключові слова: грозозахист; блискавка; надійність; електрична мережа; захист.

Кирисов Игорь Геннадьевич, ассистент кафедры автоматизации энергетических процессов
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина. Ул. Университетская 16, 61003

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ УКРАИНЫ

В статье рассматриваются вопросы воздействия грозовых перенапряжений на воздушные линии. Определены возможные последствия при ударе молнии в различные элементы воздушной линии. Предложенные варианты решения проблемы, которые возникают в результате удара молнии в воздушную линию. Указано, что источником грозовых перенапряжений является природное электричество грозовых туч, которая в виде молнии поражает объекты на земле. Показано, что волны перенапряжения, возникающие в токоведущих частях при ударах молнии, распространяются, проникая в обмотки трансформаторов, машин, воздействуя на изоляцию линий и аппаратов. Время воздействия атмосферных перенапряжений очень мал (от единиц до сотен миллионных долей секунды), однако величина этих перенапряжений при отсутствии специальных мер защиты может достигать миллионов вольт. Обосновано, что главной опасностью для линии является прямой удар молнии в фазные провода с последующим перекрытием изоляции от перенапряжений, возникающих при этом. После окончания импульса тока молнии на месте перекрытия остается ведущий канал с газом, который не успел деионизироваться, по которому под действием рабочего напряжения может продолжаться протекать ток промышленной частоты. В процессе ликвидации замыканий на линии, вызванных грозой, расходуется ресурс работы выключателей; трансформаторы и другое оборудование сети подвергаются электродинамическим и термическим действиям токов короткого замыкания. Значительная часть замыканий сопровождается последующим развитием аварии, что требует отключения линии на длительный срок с нарушением нормального электроснабжения потребителей. Вероятность грозового отключения линии зависит от многих причин: интенсивности грозовой деятельности в районах, расположенных вдоль трассы линии, номинального напряжения сети, ее конструкции, материала опор и др. Показано, что эффективность молниезащиты определяют отдельно для расчетных случаев поражения линии. Предложены меры, определяющие эффективность молниезащиты отдельно для расчетных случаев поражения и которые способны предотвратить непосредственные удары молнии в защищаемые объекты и организовать

протекание токов молнии по безопасному пути. Определены отдельные места линий, которые требуют дополнительных мер защиты.

Ключевые слова: молниезащита; молния; надежность; электрическая сеть; защита.

Kirisov Igor Gennadevich, assistant of energy processes automation department
Ukrainian engineer-pedagogical academy, Kharkiv, Ukraine. Str. Universitetska 16, 61003

ANALYSIS OF LIGHTNING SURGE INFLUENCE ON UKRAINIAN ELECTRIC NETWORK POWER LINES

The article discusses the impact of lightning surges on overhead lines. The possible effects of lightning in different elements of the overhead lines. Proposed solutions to the problems that arise as a result of a lightning strike to the overhead line. Provided that the source of the lightning overvoltage is the natural electricity of the thunderstorm clouds, which in the form of lightning to hit targets on the ground. It is shown that the wave surge occurring in the current-carrying parts when lightning strikes, distributed, penetrating into the windings of transformers, machines, affecting the insulation lines and equipment. The time of exposure to atmospheric overvoltage is very small (from a few to hundreds millionths of a second), but the magnitude of these overvoltages in the absence of special measures of protection may reach millions of volts. It is proved that the main danger for the line is a direct lightning strike to the phase conductor, with subsequent overlap of insulation from over-voltages that occur at the same time. After the end of the lightning current pulse in the overlap remains the leading channel with the gas, which had not deansoffice, which under the action of operating voltage may continue to leak current of industrial frequency. In the process of elimination of the fault line caused by lightning, consumed the life of the switches; transformers and other network equipment are subjected elektrodynamik and thermal action of short circuit currents. A significant part of the circuit is followed by the development of the accident that requires a trip line for a long time with the disruption of the normal supply. The probability of a storm off of a line depends on many factors: the intensity of storm activity in the areas along the highway line, the nominal voltage of the network, its design, material of supports etc. Shown that the effectiveness of lightning protection is determined separately for the estimated cases of damage of the line. The proposed actions, determining the effectiveness of lightning protection is calculated separately for cases of damage and which is capable of preventing direct lightning strikes to the protected objects and to organize the flow of lightning currents at a safe way. Define a single space lines, which require additional protection measures.

Keywords: lightning; reliability; electrical network protection.

Вступ

Дослідження провідних вчених свідчать, що клімат України, протягом останніх десятиліть вже почав змінюватися і згідно результатів моделювання – для території України в майбутньому продовжуватиметься зростання температури повітря та відбуватиметься зміна кількості опадів протягом року [2]. Чималої шкоди сільському господарству, населенню та електроенергетичній галузі України завдають несприятливі метеорологічні явища. Вони мають значну територіальну відмінність та інтенсивність, по-різному виявляються в певні пори року. У теплий період часто проходять грози, кількість яких на рівнинній частині становить 23–30 на рік. Гроза несе значну небезпеку. За даними Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки МНС України щорічно по Україні відбувається порядку 1600 пожеж від грозових розрядів блискавки [3]. Блискавка являє собою природне явище, яке приносить величезний збиток економіці України. Цей збиток пов'язаний і з безпосереднім ураженням людей і тварин, і з пожежами в житлових і виробничих приміщеннях, з вибухами небезпечних об'єктів, з виникненням лісових пожеж.

Удари блискавки в лінії електропередачі або поблизу них призводять до появи імпульсних перенапруг, небезпечних як для ізоляції самих ліній, так і для електрообладнання підстанцій. Значний матеріальний збиток пов'язаний і з непрямим впливом грозових розрядів. Він обумовлений порушеннями технологічних процесів внаслідок виходу з ладу систем технологічного управління, мікропроцесорних та комп'ютерних пристроїв управління, регулювання, вимірювання, сигналізації тощо.

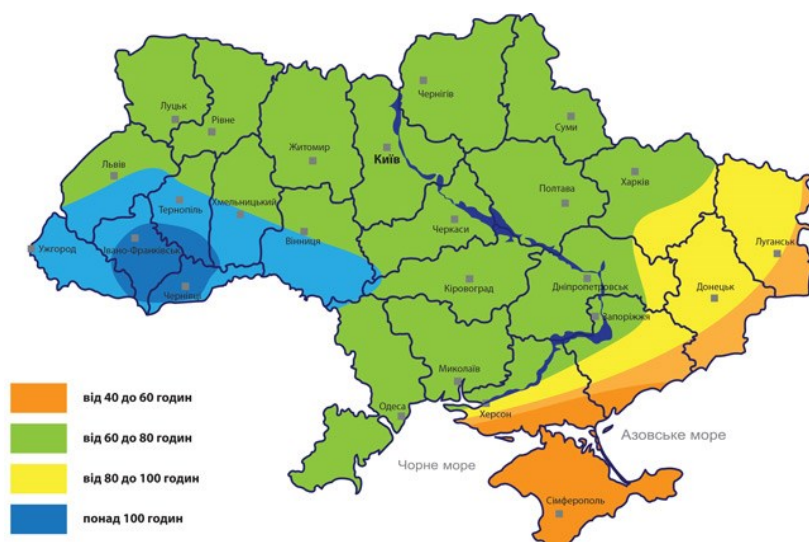


Рис. 1 Середньорічна тривалість гроз в Україні

Основною причиною виходу з ладу ізоляції об'єктів електроенергетики, перерви в електропостачанні і витрат на його відновлення до теперішнього часу є ураження блискавкою об'єктів електроенергетики [3].

Основна частина

Джерелом грозових перенапруг є природна електрика грозових хмар, яка у вигляді блискавки уражає об'єкти на землі. Хвилі перенапруги, що виникають у струмоведучих частинах під час ударів блискавки, поширюються, проникаючи в обмотки трансформаторів, машин, впливаючи на ізоляцію ліній і апаратів. Час впливу атмосферних перенапруг дуже малий (від одиниць до сотень мільйонних часток секунди), однак величина цих перенапруг за відсутності спеціальних заходів захисту може сягати мільйонів вольтів.

Повітряні лінії щорічно вражаються десятками прямих ударів блискавки на 100 км за 100 грозових годин. Головною небезпекою для лінії є прямий удар блискавки у фазні проводи з подальшим перекриттям ізоляції від перенапруг, що виникають при цьому. Після закінчення імпульсу струму блискавки на місці перекриття залишається провідний канал з газом, який не встиг деіонізуватися, по якому під дією робочої напруги може продовжувати протікати струм промислової частоти.

В процесі ліквідації замикань на лінії, викликаних грозою, витрачається ресурс роботи вимикачів; трансформатори та інше устаткування мережі піддаються електродинамічним і термічним діям струмів короткого замикання. Значна частина замикань супроводжується подальшим розвитком аварії, що вимагає відключення лінії на тривалий термін з порушенням нормального електропостачання споживачів.

Ймовірність грозового відключення лінії залежить від багатьох причин: інтенсивності грозової діяльності в районах, розташованих уздовж траси лінії, номінальної напруги мережі, її конструкції, матеріалу опор і т. д.

З підвищенням класу напруги лінії, як правило, збільшуються її довжина, висота опор, а отже, і ймовірність ураження лінії блискавкою, тому на лініях електропередачі вищих класів напруги, які виконуються на металевих і залізобетонних опорах, зазвичай підвішують блискавкозахисні троси з малим кутом захисту, що забезпечує малу ймовірність ураження блискавкою фазних проводів лінії, а достатньо малий імпульсний опір заземлення опор знижує ймовірність зворотного перекриття з опори на провід під час удару блискавки в опору або трос поблизу опори (рис. 2).

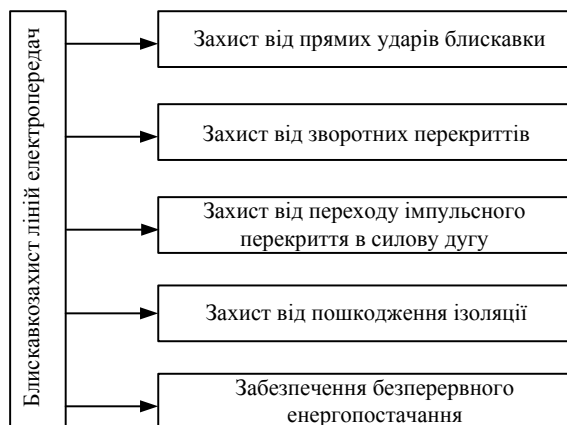


Рис. 2. Класифікація задач блискавкозахисту ліній електропередач [4]

Ефективність блискавкозахисту визначають окремо для розрахункових випадків ураження лінії (рис. 3 і рис. 4):

Високу надійність блискавкозахисту повітряних ліній електропередачі забезпечують такі заходи: підвищення блискавкозахисних тросів з достатньо малими кутами захисту; зниження імпульсного опору заземлення опор; підвищення імпульсної міцності ізоляції ліній і зниження ймовірності встановлення дуги (зокрема, використання дерев'яних траверс і опор); застосування ізольованої нейтралі або дугогасильного реактора; використання автоматичного повторного ввімкнення ліній [4].

Розраховані за методикою [3], питомі числа грозових відключень під час різних видів ураження лінії показують, що порядок отриманих оцінок сумарного питомого числа відключень n_{Σ} , в основному, узгоджується з даними на основі досвіду експлуатації (табл. 2 і рис. 5).

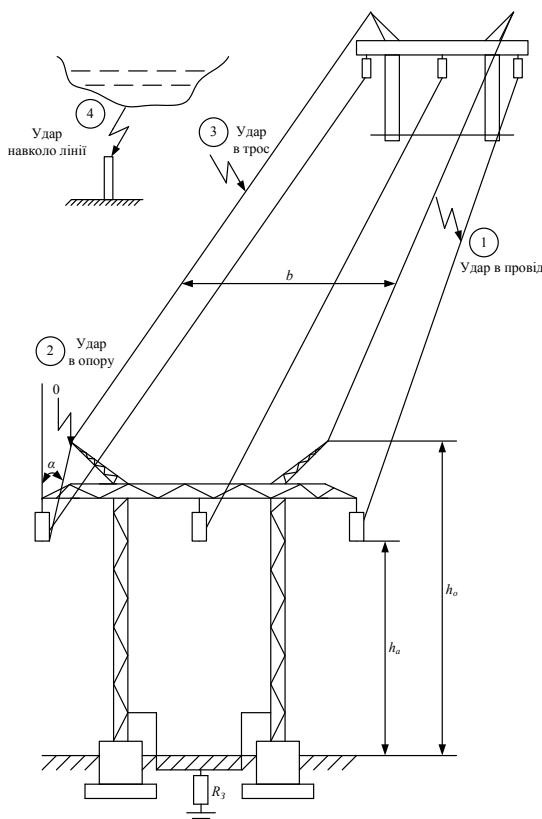


Рис. 3. Розрахункові випадки ураження лінії з тросами блискавкою [3]

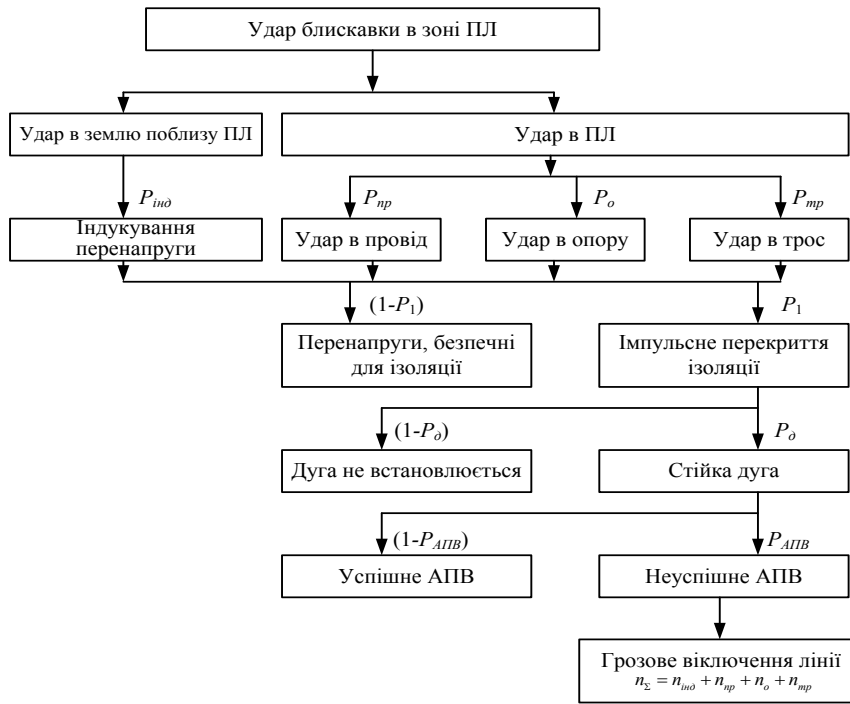


Рис. 4 Логічна схема розвитку грозових аварій ПЛ 110 кВ [4]

Відносний розподіл між кількістю відключень: 1 – прорив блискавки на провід n_{nr} ; 2 – удари блискавки в вершину опору n_o ; 3 – удари блискавки в трос n_{tr} ; 4 – індуквані перенапруги n_{ind} ; а) ПЛ–750 кВ, 1 ланцюг; б) ПЛ–500 кВ, 2 ланцюги; в) ПЛ–330 кВ, 1 ланцюг; г) ПЛ–220 кВ, 2 ланцюги; д) ПЛ–220 кВ, 1 ланцюг; е) ПЛ–110 кВ, 2 ланцюги; ж) ПЛ–110 кВ, 1 ланцюг. Лінії 35 кВ на металевих опорах захищаються тросами лише в особливо відповідальних випадках. Зазвичай вони і без тросів виявляються грозостійкими.

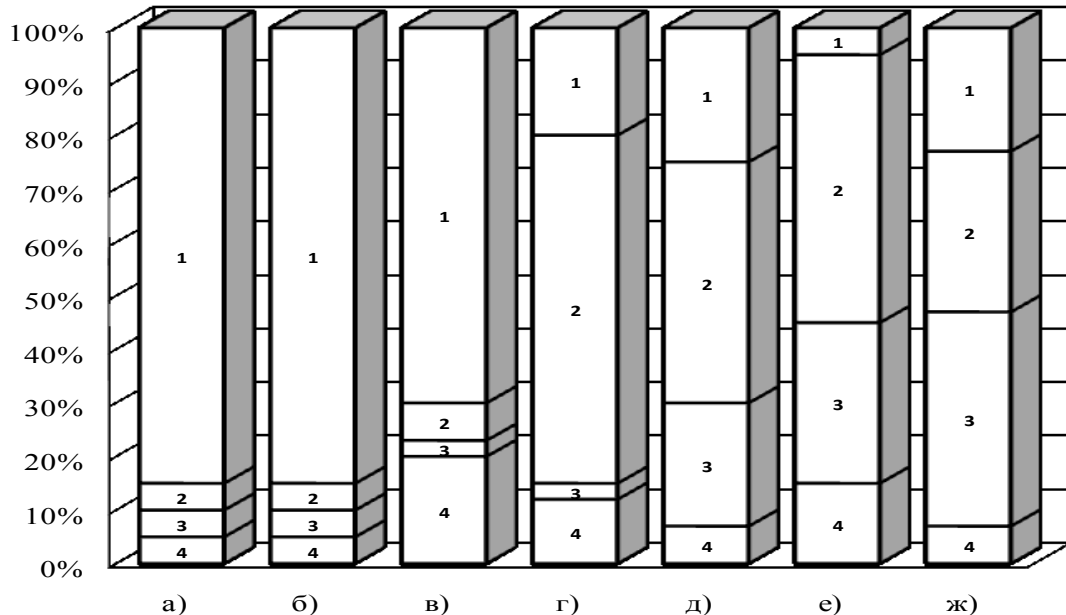


Рис. 5. Діаграма ймовірного числа відключень ліній різних класів напруг n_{Σ} на 100 км і 100 грозових годин[3]

Як наголошувалося вище, основними блискавкозахисними заходами тут є використання ізольованої нейтралі або дугогасильного реактора, а також АПВ. Як видно з

Табл. 3, де наведені типові характеристики ліній 6–35 кВ і оцінки питомого числа грозових відключень за різних розрахункових дій, для ліній 35 кВ на металевих опорах вже істотна частка відключень визначається індукованими перенапругами.

Лінії 35 кВ на дерев'яних опорах мають вищу надійність блискавкозахисту за рахунок використання високої імпульсної міцності дерева. Наведені в табл. 3 значення питомого числа їх відключень мають орієнтовний характер, оскільки імпульсна міцність дерева, за літературними даними, може змінюватися в два – три рази залежно від ступеня зволоження і стану деревини. Крім того, опір заземлення залізобетонних пасинків на дерев'яних опорах, які не мають струмовідвідних спусків, не нормується, що може привести до великого розкиду його значень на реальній лінії.

Лінії 3–20 кВ як на металевих, так і на дерев'яних опорах також не мають тросового захисту і захищаються від грозових дій за допомогою дугогасильного реактора або ізольованої нейтралі і АПВ. На опорах з ослабленою ізоляцією, з підвищеною ймовірністю грозового ураження доцільно встановлювати вентиляльні розрядники або ОПН [4].

Таблиця 2

Характеристики грозозахисту ВЛ 110–750 кВ

Номінальна напруга, кВ	110	110	220	220	330	500	750
Матеріал опор	З/бетон	Метал	З/бетон	Метал	Метал	Метал	Метал
Марка проводів	АС-120	АС-150	АСО-330	АСО-330	2АСО-400	3АСО-400	4АСУ-400
Кількість і тип ізоляторів на опорі	8ПС6-Б	8ПС6-Б	14ПС6-Б	14ПС6-Б	22ПС6-Б	28ПС12-А	2x41ПС12-А
Захисний кут троса α , град.	31,2	20,7	29,0	24,2	22,6	22,7	24,7
Імпульсний опір заземлення опор R_{zi} , Ом	20	15	15	10	10	10	10
Питоме число прямих ударів блискавки в рік для $T_q=100$ год. і при довжині лінії $l=100$ км– $N_{публ}$ уд/100 км 100 год.	100	165	182	227	153	174	207
Питоме число відключень лінії в рік під час удару блискавки у провід n_{np} , 1/рік	0,06	0,06	0,23	0,18	0,22	0,11	0,063
Питоме число відключень лінії в рік під час удару блискавки в опору n_o , 1/рік	0,81	1,73	0,41	0,45	0,002	<0,001	<0,001
Питоме число відключень лінії в рік під час удару блискавки у трос n_{mp} , 1/рік	0,43	0,89	0,13	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001
Питоме число відключень лінії в рік унаслідок індукованих перенапруг n_{ind} , 1/рік	0,25	0,38	0,03	0,04	0,003	<0,001	<0,001
Питоме число грозових відключень лінії в рік n_{Σ} , 1/рік	1,55	3,06	0,80	0,68	0,23	0,11	0,066

Окремі місця ліній вимагають додаткових заходів захисту: перетини ліній електропередачі між собою; перетини ліній електропередачі з лініями зв'язку, трамвайними лініями і лініями електрифікованої залізниці; опори ліній електропередачі з пониженою електричною міцністю ізоляції (dielectric strength); високі опори перехідних прогонів; відгалуження до підстанцій на відпайках і секційні роз'єднувачі на лініях; кабельні вставки на лініях.

Характеристики блискавкозахисту ПЛ 6–35 кВ

Номинальна напруга $U_{ном}$, кВ	6	6	35	35
Матеріал опор	дерево	з/бетон	дерево	метал
Марка проводів	АС-50	АС-70	АС-95	АС-120
Кількість і тип ізоляторів на опорі	ШС10-А	ШС10-А	2ПС6-Б	3ПС6-Б
Імпульсний опір заземлення опор $G_{із}$, Ом	40	40	30	20
Питоме число прямих ударів блискавки ппубл в рік за $T_{ч}=100$ год. І довжині лінії $l=100$ км	55	50	66	96
Питоме число відключень лінії в рік під час прямих ударів блискавки ппуб, 1/рік	3,6	13,0	0,55	7,9
Питоме число відключень лінії в рік під час індукованих перенапруг пінд, 1/рік	0,001	7,3	0,001	1,3
Питоме число грозових відключень лінії $n_s=n_{пуб}+n_{інд}$, 1/рік	3,6	20,0	0,55	9,2

Висновки

Захисту об'єктів електроенергетики від прямих ударів блискавки і від перенапруг завжди приділялася велика увага. З метою такого захисту використовуються блискавковідводи, обмежувачі перенапруг, розрядники, відповідні системи заземлення. Мета цих заходів – запобігти безпосередні удари блискавки в захищені об'єкти і організувати протікання струмів блискавки по безпечному шляху.

Список використаної літератури:

1. Базелян Э. М. Физические и инженерные основы молниезащиты / Базелян Э. М., Горин Б. Н., Левитов В. И. – Л. : Гидрометеоздат, 1976. – 223 с.
2. Шевченко О. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна Кліматичний форум східного партнерства О. Шевченко Друк: Муфлаер, Київ: 2014, 74 с.
3. Свіридов М. І. Аналіз грозозахисту елементів електричної мережі [Електронний ресурс] / М. І. Свіридов // Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23–24 березня 2016 р.
4. Собчук, В. С. Перенапруги і блискавкозахист в електричних системах [Текст] : навч. посіб. / В. С. Собчук, Н. В. Собчук, О. Б. Бурикін ; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2010. – 145 с.

References:

1. Bazelian Э. М. Fyzycheskye y ynzhenernye osnovy molnyezashchyty / Bazelian Э. М., Horyn B. N., Levytov V. Y. – L.: Hydrometeoyzdat, 1976. – 223 s.
2. Shevchenko O. Otsinka vrazlyvosti do zminy klimatu: Ukraina Klimatychnyi forum skhidnoho partnerstva / O. Shevchenko. – Druk: Myflaer, Kyiv: 2014, 74 s.
3. Sviridov M. I. Analiz hrozozakhystu elementiv elektrychnoi merezhi [Elektronnyi resurs] / M. I. Sviridov // Materialy XLV Naukovo-tekhnichnoi konferentsii VNTU, Vinnytsia, 23–24 bereznia 2016 r.
4. Sobchuk V. S. Perenapruhy i blyskavkozakhyst v elektrychnykh systemakh [Tekst] : navch. posib. / V. S. Sobchuk, N. V. Sobchuk, O. B. Burykin ; Vinnyts. nats. tekhn. un-t. - Vinnytsia: VNTU, 2010. – 145 s.

Прийнята до друку 11.11.2019 р.