



Проектування електричних мереж з огляду на протиожеледові заходи

Г.П. Крижов, Т.Є. Удод, кандидати техн. наук

Редакція «Електропанорами» регулярно інформує читачів про нові норми і правила, які регламентують різні аспекти проектування, а також надійної, ефективної та безпечної експлуатації електроустановок. Так, зокрема, упродовж декількох попередніх років було докладно розглянуто зміст нових розділів Правил улаштування електроустановок, що набрали чинності у 2006 році. Після цього було розроблено низку нормативних і довідково-методичних документів щодо проектування та спорудження електричних мереж і боротьби з метеорологічними впливами на них.

До уваги читачів – докладний розгляд нормативного документа СОУ-Н МЕН 40.1-37471933-62:2012 «Проектування електричних мереж з урахуванням протиожеледових заходів. Методичні вказівки» (далі – Вказівки), затвердженого наказом Міністерства енергетики України від 16 грудня 2011 р. № 854.

Вказівки містять вступну частину (розділи: 1 – Сфера застосування; 2 – Нормативні посилання; 3 – Терміни та визначення понять; 4 – Позначки та скорочення), основну частину (розділи: 5 – Загальні положення; 6 – Проектування повітряних ліній електропередачі в складних кліматичних умовах; 7 – Компактні проводи для обмеження ожеледоутворення на повітряних лініях електропередачі; 8 – Особливості застосування класів безвідмовності повітряних ліній електропередачі в окремих ожеледно-вітрових районах), а також один додаток. Загальний обсяг Вказівок становить 34 сторінки.

Докладно розглянемо зміст окремих розділів Вказівок.

У розділі 1 «Сфера застосування», зокрема, зазначається, що ці Вказівки призначено для забезпечення підвищення надійності роботи повітряних ліній електропередачі напруження від 35 до 750 кВ та запобігання аваріям у електричних мережах України за умов екстремальних ожеледно-вітрових впливів. Наведено додаткові вимоги, які необхідно враховувати під час проектування нових або реконструкції існуючих повітряних ліній електропередачі, які експлуатуються за складних кліматичних умов.

Вказівки призначено для використання на підприємствах, в установах і організаціях, які здійснюють проектування, будівництво та експлуатацію повітряних ліній електропередачі на-

пруження від 35 до 750 кВ. Зазначено, що Вказівки не поширюються на ПЛ, будівництво яких визначають за спеціальними правилами, нормами і постановами (контактні мережі електрифікованих залізниць, міського електротранспорту; лінії для електропостачання сигналізації, центрального блокування; ПЛ, що не належать до мереж загального призначення, тощо).

У розділі 3 «Терміни та визначення понять» роз'яснено деякі терміни, які не було визначено у Правилах улаштування електроустановок. Це, зокрема, терміни, установлені в СОУ 40.1-00013741-36:2010 (багатоколова опора, багатоколова повітряна лінія, багатогранний гнучий стояк), а також у ГІД 34.20.501 (клас безвідмовності повітряних ліній електропередачі).

Розділ 5 «Загальні положення» містить два підрозділи.

У підрозділі 5.1 «Ожеледно-паморозеві навантаження на повітряні лінії електропередачі» підкреслено, що урахування кліматичних навантажень і впливів є визначальним під час проектування нових ПЛ. У разі реконструкції діючих ПЛ це питання стає ще більш актуальним щодо конструктивного виконання опор, оскільки виникає багато обмежень, пов'язаних із розміщенням нових конструкцій на відведених земельних ділянках.

Усі конструктивні елементи ПЛ повинні протидіяти низці навантажень, зокрема змінних, до яких головним

чином належать ожеледно-паморозеві навантаження.

Ожеледно-паморозеві відкладення, що діють на всі елементи ПЛ, розрізняють за такими видами:

- кристалічна паморозь (білий осад, який складається із кристалів льоду ніжної тонкої структури щільністю від 0,01 до 0,12 г/см³);

- зерниста паморозь (снігоподібний пухкий лід матово-білого кольору, який утворюється з переохолоджених крапель туману та мряки, щільністю від 0,1 до 0,4 г/см³);

- ожеледь (шар матового або прозорого льоду, який утворюється в разі швидкої зміни погоди з переохолоджених крапель туману або мряки або шляхом осаджування переохолодженого дощу, щільністю від 0,5 до 0,9 г/см³);

- мокрий сніг (сніг, що налипає на проводах за температур, наближених до 0 °С і в разі зниження температури може створювати муфту щільністю від 0,2 до 0,6 г/см³).

Слід зазначити, що з погляду статичної дії на проводи кристалічна паморозь не дає істотного додаткового навантаження, але може спричиняти вібрацію з частотою 2 – 4 Гц через збільшення діаметра проводу з памороззю. Гасник Стокбріджа здебільшого не здатний протидіяти такій вібрації, що призводить до передчасного зносу проводу від знакозмінних навантажень і його обривів. Вказівками передбачено для боротьби з такою вібрацією



Таблиця 1

| Вплив ожеледі | | | Тиск вітру (за відсутності ожеледі) | | Тиску вітру (у разі ожеледі) | | Тиск вітру на проводи, вкриті ожеледдю | |
|---------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|--|-------------------------|
| Район | Вага ожеледі, Н/м | Стінка ожеледі, мм | Район | Тиск вітру, Па | Район | Тиск вітру, Па | Район | Навантаження вітру, Н/м |
| 1 | 8 | 12 | 1 | 400 | 1 | 150 | 1 | 4 |
| 2 | 12 | 16 | 2 | 450 | 2 | 200 | 2 | 6 |
| 3 | 15 | 19 | 3 | 500 | 3 | 250 | 3 | 8 |
| 4 | 20 | 22 | 4 | 550 | 4 | 300 | 4 | 10 |
| 5 | 30 | 28 | 5 | 600 | 5 | 350 | 5 | 12 |
| 6 | 40 | 34 | | | 6 | 400 | 6 | 14 |

здійснювати за рахунок застосування прогонів різної довжини або підвіски вантажів, що чергуються, в прогоні з різними інтервалами.

Поява **зернистої паморозі** обумовлена швидким замерзанням найдрібніших переохолоджених крапель води, які при цьому зберігають свою первинну форму. Зазвичай, вітер носить такі краплі на провід і тому відкладення паморозі відбувається з навітряного боку. У разі напрямку вітру впоперек лінії провід отримує ексцентричне вертикальне навантаження, що призводить до закручування проводу. Поступово наростаючи, паморозь поширюється на велику частину його поверхні, досягаючи в діаметрі 150 – 200 мм, що, як правило, призводить до катастрофічних навантажень для опор і проводів повітряних ліній (особливо у сполученні з дією вітру). Найефективніший конструктивний засіб боротьби з таким видом ожеледоутворення – це додання проводу більшої жорсткості на кручення. У такому разі відкладення залишається однобоким, що різко знижує його масу.

Ожеледь – це шар щільного льоду склоподібної однорідної або склоподібно-шаруватої будови. Ожеледь утворюється в морозну погоду за температури повітря в приземному шарі від -1 до -5 °C і рідше – від -5 до -10 °C. Товщина шару ожеледі залежить від тривалості та швидкості її наростання, а також від характеру і напрямку вітру. Вплив жорсткості проводу на кручення на величину відкладення ожеледі позначається мало, особливо в разі слабого вітру і напрямку його уздовж лінії, оскільки обмерзання звичайно рівномірно поширюється по всій поверхні проводу. Найефективнішим методом боротьби з таким видом ожеледі є плавлення його в режимі профілактичного нагріву. Збільшення жорсткості проводу на кручення використовується як додатковий засіб, що полегшує плавлення ожеледі.

Мокрий сніг зазвичай випадає в разі додатної температури повітря. Наліпання мокрого снігу може призвести до обмерзання проводів і тросів. У процесі наліпання мокрого снігу, у міру збільшення ексцентриситету відкладення і зростання товщини його стінки, відбувається прослизання сніжного осаду вздовж зовнішньої обмотки в нижню частину проводу, а також закручування проводу при міцнішому зчепленні з ним одностороннього екс-

центричного відкладення. При цьому слід зазначити, що цей вид відкладення характеризується найбільшою швидкістю наростання (до 300 г на годину порівняно з 80 – 100 г/год для ожеледі). Вказівками рекомендовано, перш за все, здійснювати конструктивний захист проводів від наліпання мокрого снігу за допомогою вантажів-обмежувачів закручування проводу або снігоперешкоджаючих кілець.

Ожеледно-паморозева суміш утворюється в результаті почергового наростання ожеледі та паморозі. Залежно від кількісних співвідношень ожеледі та паморозі об'ємна вага суміші може бути від 0,2 до 0,6 г/см³. Для такого відкладення характерне ексцентричне відкладення на проводі, тому Вказівками вважається, що найефективнішим засобом є збільшення жорсткості проводу на кручення.

Щодо можливих напрямків розвитку процесів впливу ожеледних навантажень на нормальну роботу ПЛ, то вказівками розглянуто такі викликані відкладеннями головні напрямки:

- за сильної ожеледі, сильного вітру під час ожеледі, у разі перевищення розрахункових механічних навантажень мають місце пошкодження (руйнування) ПЛ;

- за незначної ожеледі можуть виникати вторинні явища, як, наприклад, галопування проводів, що призводять до перекриття між проводами та руйнування ізоляції;

- унаслідок неоднорідності відкладень на проводи і троси під час ожеледі, вітру під час ожеледі виникають зміни габаритних розмірів між ними та відповідно їх перекриття.

У підрозділі 5.2 «Урахування кліматичних навантажень під час проектування повітряних ліній електропередачі», зокрема, зазначається, що визначення кліматичних навантажень і впливів під час розрахунку і вибору

конструкцій ПЛ має виконуватися на підставі ДБН В.1.2-2:2006 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування» та глави 2.5 ПУЕ-2006. При цьому розрахункові навантаження під час проектування ПЛ беруться за критерієм забезпечення безвідмовної роботи механічної частини ПЛ під дією зовнішніх чинників за розрахунковий період експлуатації зі встановленою вірогідністю.

Прийняті згідно з ПУЕ-2006 чотири класи безвідмовності беруться залежно від напруги ПЛ (1КБ – для ПЛ до 1 кВ, 2КБ – для ПЛ 1 – 35 кВ, 3КБ – для ПЛ 110 – 330 кВ і 4КБ – для ПЛ 500 – 750 кВ). Основою для визначення навантажень ПЛ у класах безвідмовності є їх характеристичні значення, які для ПЛ напругою 10 – 750 кВ обчислено за середнього періоду повторюваності 50 років.

За характеристичними значеннями впливів територію України поділяють на райони. Номери районів для кожного з впливів є незалежними один від одного і визначаються за своєю картою районування. У **табл. 1** наведено перелік прийнятих районів за кожним із впливів зі значенням параметрів, що характеризують відповідний вплив.

Характеристичні значення кліматичних навантажень і впливів під час проектування ПЛ приймають на підставі карт територіального районування України.

Вплив ожеледі визначають за її характеристичними значеннями:

- для лінійних елементів ПЛ – за максимальним навантаженням;
- на площинних елементах ПЛ – за стінкою ожеледі.

Усі характеристичні значення визначено для рівнинної місцевості на висоті 10 м над поверхнею землі, на проводі діаметром 10 мм.

У Вказівках зазначено, що основним джерелом інформації про кліматичні



Таблиця 2

| Вид розрахунку | Середній період повторюваності, роки | | | |
|---|--------------------------------------|-----|-----|-----|
| | 1КБ | 2КБ | 3КБ | 4КБ |
| Несної здатності опор і фундаментів | 30 | 50 | 150 | 500 |
| Переміщень опор і фундаментів та тріщинистості кості залізобетонних конструкцій | 5 | 10 | 15 | 25 |
| Проводів, тросів, ізоляторів, арматури | 5 | 10 | 15 | 25 |

навантаження є статистичні дані спостережень метеостанцій Українського гідрометеорологічного центру. Інструментальні спостереження за ожеледдю мережі метеостанцій виконують на стандартних верстатах із жорстко закріпленими проводами діаметром 5 мм, розташованими на висоті 2 м у напрямку географічних меридіан і широт.

Крім того, на великих електричних підстанціях інструментальні спостереження за кліматичними навантаженнями виконують за допомогою спеціальних експериментальних прогонів або на ожеледно-вітрових постах. В експериментальних прогонах використовують проводи діаметром 10 і 24 мм за висоти їх розташування 10 м. Спостереження ведуть у двох режимах: у режимі очікування з періодичним увімкненням чи в автоматичному режимі.

Середній період повторюваності розрахункових значень навантажень на ПЛ визначають за **табл. 2** залежно від класу безвідмовності.

У розділі 6 «Проектування повітряних ліній електропередачі в складних кліматичних умовах» розглянуто три питання (підрозділи 6.1, 6.2 та 6.3).

У підрозділі 6.1 «Території зі складними кліматичними умовами» зазначено, що такими вважають райони з підвищеними кліматичними навантаженнями і впливами. Згідно з картами кліматичного районування до таких районів належать:

- райони за характеристичним значенням ожеледі – 4 і вище;
- райони за характеристичним значенням вітрового тиску – 4 і вище;
- райони, де вітровий тиск під час ожеледі перевищує 250 Па незалежно від району за ожеледдю;
- гірська місцевість.

Щодо цього пункту Вказівок слід зазначити, що на теперішній час розглядається внесення змін до Правил улаштування електроустановок, де, можливо, буде уточнення щодо віднесення до районів з підвищеними кліматичними навантаженнями і впливами також і району 3, де, за даними експлуатації, спостерігались часті пошкодження.

Частково це зауваження враховано пунктом 6.1.3 Вказівок, де зазначено, що до районів із складними кліматичними умовами належать також райони, де аварійність ПЛ від впливу ожеледно-вітрових навантажень перевищує середню в регіоні, незалежно від району за тиском вітру або району за ожеледдю згідно з картами кліматичного районування або регіональними картами.

У підрозділі 6.2 «Вимоги до повітряних ліній електропередачі, які проектують і експлуатують у складних кліматичних умовах» зазначено, що найважливішим завданням під час проектування нових і реконструкції існуючих ПЛ у районах із складними кліматичними умовами є вибір оптимальних варіантів забезпечення заданого рівня надійності. Для таких районів значення розрахункових кліматичних навантажень на ПЛ необхідно визначати із залученням спеціалізованої організації. При цьому необхідно враховувати можливість і частоту появи в районі підвищених ожеледних і ожеледно-вітрових навантажень і за можливості уникати ділянок району, на яких за місцевими умовами можна очікувати підвищення навантажень або інтенсивного галоупування проводів.

Щодо передгірської або гірської місцевості, то у Вказівках звертається увага на те, що потрібно враховувати можливість локального посилення швидкості вітру.

У підрозділі 6.3 «Технічні заходи щодо зменшення впливу ожеледних навантажень на повітряні лінії електропередачі. Плавлення ожеледі» зазначено, що найефективнішим, але не завжди здійсненним є спосіб видалення ожеледі шляхом плавлення електричним струмом. Застосування гідрофобних покриттів сьогодні практично обмежується обладнанням підстанцій (найефективніше – для роз'єднувачів). Для ПЛ рекомендовано застосування ізоляційних покриттів і конструкцій з гідрофобними властивостями. Інші способи видалення ожеледі, як недостатньо ефек-

тивні та важко здійснені, сьогодні не можуть бути рекомендованими.

Правилами улаштування електроустановок встановлено, що у районах зі складними кліматичними умовами, а також у районах із частою повторюваністю та інтенсивністю галоупування проводів і тросів треба передбачати плавлення ожеледі на проводах і блискавкозахисних тросах.

Для організації плавлення ожеледі потрібно завчасно розробити проект, який містить схеми та необхідне обладнання. Під час проектування слід першочергово використовувати серійне обладнання, а у разі необхідності використання для плавлення несерійного обладнання (установки плавлення постійним струмом, ВДТ та інші пристрої) треба враховувати те, що вони мають бути виготовленими із серійних комплектувальних за індивідуальними проектами, узгодженими та затвердженими згідно з нормативними документами. Слід також зазначити, що плавлення ожеледі із застосуванням електричного струму не можна виконати одним якимось універсальним способом. Це пояснюється тим, що залежно від сполучень довжини і перерізів проводів (тросів), а також залежно від наявності на підстанціях відповідних джерел живлення необхідної напруги і достатньої потужності виникає потреба у великій кількості різновидів схем.

Вказівками передбачена можливість здійснення плавлення ожеледі на проводах такими способами:

- змінним струмом на ПЛ, що перебуває в роботі (з продовженням живлення споживачів, які підключені до ПЛ, що обігрівается);
- змінним струмом на ПЛ, що залишається під робочою напругою, але потребує відключення споживачів;
- змінним струмом на виведеній з роботи ПЛ;
- постійним струмом на виведеній з роботи ПЛ;
- постійним струмом із почерговим виведенням із роботи фаз ПЛ (із частковим обмеженням передавання потужності).

Крім того, у проекті слід передбачати профілактичне обігрівання електричним струмом на період можливого ожеледоутворення з метою запобігання утворенню ожеледних відкладень.

Характерними прикладами застосування першого способу є плавлення так званим способом ЗВД-60 (зустрічного вмикання джерел із зсувом

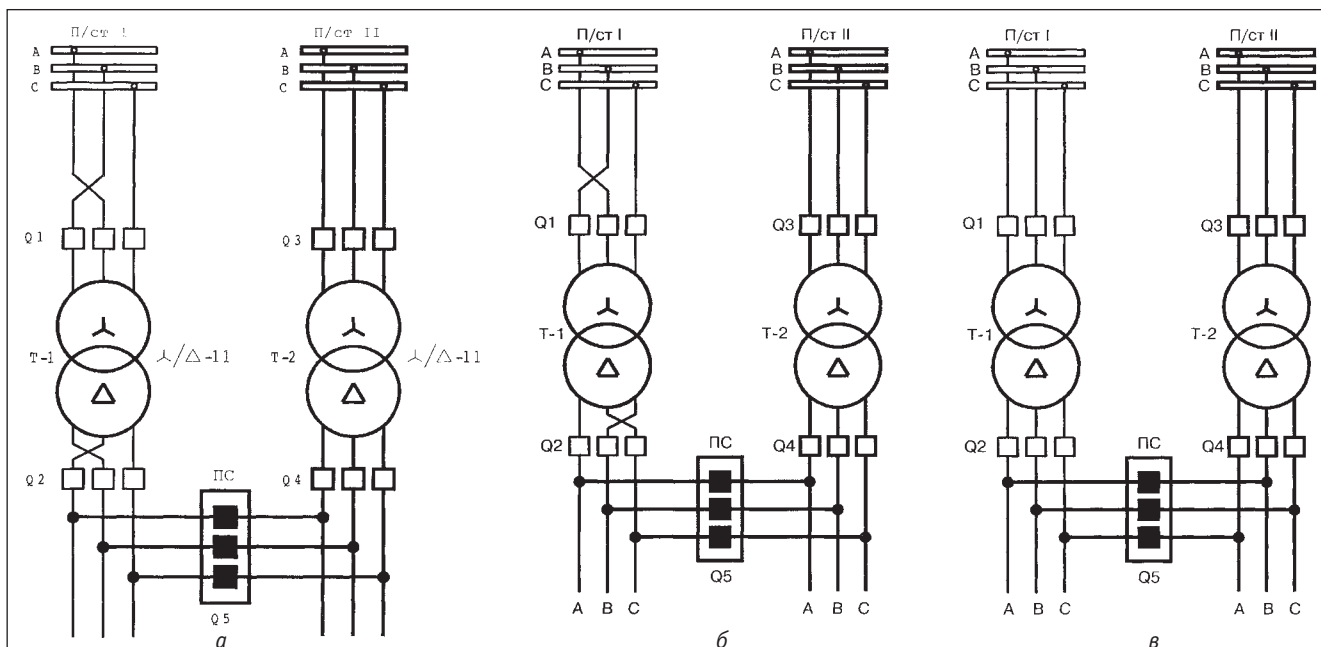


Рис. 1. Схеми плавлення ожеледі на ПЛ із двостороннім живленням способом зустрічного вмикання джерел (ЗВД) зі створенням кутового зсуву однойменних фаз: а – на 60 ел. градусів (ЗВД-60); б – на 120 ел. градусів (ЗВД-120); в – на 180 ел. градусів (ЗВД-180)

однойменних фаз на 60 електричних градусів), плавлення з використанням регульованих трансформаторів (ВДТ, ЛРТ), увімкнутих у коло плавлення з таким самим зсувом, а також плавлення пульсуючим струмом від джерела живлення плавлення, що розташоване на потенціалі проводу (може бути як змінного, так і постійного струму).

З метою одержання низки схем із можливістю охоплення плавлення ПЛ різної довжини слід враховувати те, що у розподільних мережах напругою 35–110 кВ використовують трансформатори із схемою з'єднання обмоток $Y/\Delta-11$, для яких можливе здійснення перемикачів, за яких можна одержати кутові зсуви векторів однойменних фаз напруги джерел плавлення на 60, 120 і 180 електричних градусів (рис. 1). Відповідно розрізняють способи плавлення ожеледі штучно створеним коротким замиканням (КЗ) – для радіальних ліній електропередачі та ЗВД-60, ЗВД-120 і ЗВД-180 – для мережі із двостороннім живленням.

Плавлення способом штучного КЗ використовують у разі якщо:

- необхідно виконувати плавлення ожеледі на ПЛ безпосередньо в цій мережі (з виведенням із робочої схеми);
- ПЛ напругою 110–330 кВ виведено з робочої схеми спеціально для виконання плавлення ожеледі за напруги джерела, нижчої за номінальну.

Завдяки найсприятливішому співвідношенню між активними й реактивними опорами ПЛ плавлення оже-

леді за допомогою постійного струму доцільно застосовувати для проводів великого перетину (240 мм² і більше) у разі великих відстаней між проводами (понад 4–5 м). Тому плавлення ожеледі із застосуванням постійного струму практично обмежено мережами напругою 330 кВ і вище. В окремих випадках – для ПЛ напругою 220 кВ, зрідка – 110 кВ (якщо вже є установки постійного струму, що використовуються для плавлення на ПЛ більш високих напруг).

Перевагою застосування постійного струму для плавлення ожеледі є можливість здійснювати схеми плавлення із широким діапазоном охоплення ПЛ щодо довжини, із глибоким регулюванням струму плавлення. Але для їх реалізації потрібно застосування спеціального устаткування. Тому у Вказівках зазначено, що постійний струм слід застосовувати тоді, коли використовувати змінний струм технічно неможливо або це пов'язано з чималими труднощами з погляду роботи енергосистеми під час здійснення плавлення ожеледі.

Література:

1. СОУ-Н МЕР 40.1-37471933-62:2012. Проектування електричних мереж з урахуванням протиожеледових заходів. Методичні вказівки, затверджені наказом Міністерства енергетики України від 16 грудня 2011 р. № 854.
2. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.4. Повітряні лінії електропередачі напругою до 1 кВ.

Глава 2.5. Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 191 с.

3. Пособие по изучению Правил устройства электроустановок ПУЭ-2006. Раздел 2 Передача электроэнергии. Глава 2.4. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ. – К.: ДП НТУКЦ «Аселенерго», 2007. – 90 с.

4. ГД 34.20.501-2008. Розрахунок опор та проводів повітряних ліній електропередачі згідно з вимогами глав 2.4 і 2.5 ПУЕ:2006. Посібник.

5. Ожеледно-вітрові навантаження, галопування проводів повітряних ліній електропередавання та боротьба з ними. Довідково-методичний посібник. Крижов Г.П., Удод Т.Є., Гримуд Г.І. – К.: ДП НТУКЦ «Аселенерго», 2010.

8. СОУ 45.2-00100227-24:2010. Захист проводів повітряних ліній електропередачі від вітрових коливань (вібрації, галопування, субколивань). Методичні вказівки / В. Лях, М. Керницький, В. Молчанов, Г. Крижов, Я. Назім, Є. Горохов – К.: КВЦ, 2010. – 112 с.

10. СОУ 40.1-00013741-36:2010. Рекомендації щодо проектування та будівництва багатоколових ліній електропередавання напругою від 35 кВ до 330 кВ.

10. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.

(Далі буде)



Проектування електричних мереж з огляду на протиожеледові заходи

Г.П. Крижов, Т.Є. Удод, кандидати техн. наук

Редакція «Електропанорами» регулярно інформує читачів про нові норми і правила, які регламентують різні аспекти проектування, а також надійної, ефективної та безпечної експлуатації електроустановок. Так, зокрема, упродовж декількох попередніх років було докладно розглянуто зміст нових розділів Правил улаштування електроустановок, що набрали чинності у 2006 році. Після цього було розроблено низку нормативних і довідково-методичних документів щодо проектування та спорудження електричних мереж і боротьби з метеорологічними впливами на них.

До уваги читачів – докладний розгляд нормативного документа СОУ-Н МЕН 40.1-37471933-62: 2012 «Проектування електричних мереж з урахуванням протиожеледових заходів. Методичні вказівки» (далі – Вказівки), затвердженого наказом Міністерства енергетики України від 16 грудня 2011 р. № 854.

(Продовження. Початок див. ЕП, № 5, 2013 р.)

Значні переваги мають схеми з накладанням додаткового змінного або постійного струму на робочий струм (схеми пульсуючого струму), оскільки ці схеми дають змогу здійснювати плавлення без від'єднання споживачів. Додатковий змінний струм вводять під кутом 60 – 90 електричних

градусів до робочого, що здійснюється за допомогою ВДТ (рис. 1). Використання додаткового постійного струму надає переваги над схемами плавлення ожеледі постійним струмом (не потрібно від'єднувати споживачів) та над схемами із використанням змінного струму (обмежена потужність джерел щодо реактивної складової). Такі схеми плавлення можна успішно застосовувати для плавлення ожеледі на ПЛ напругою 330 кВ і вище.

Основними недоліками схем із використанням пульсуючого струму на основі постійного струму, накладеного на змінний робочий, є складність їх виконання, а також керування цими установками. Крім того, виникає потреба в досить дорогому спеціальному обладнанні високої напруги та значної потужності.

Переважну більшість схем плавлення ожеледі виконують шляхом створення спеціальних схем з'єднання елементів існуючої мережі з максимальним використанням діючих елементів обладнання. В окремих випадках до цих схем додається обладнання, спеціально призначене для виконання плавлення. До такого обладнання належать:

- спеціальні роз'єднувальні апарати з пофазним керуванням (використовуються для створення схем з неповнофазним замиканням проводів або тросів);

- комутаційні апарати (вимикачі, роз'єднувачі або заземлювальні ножі роз'єднувача з посиленними контактами) для закорочування всіх або декількох фаз чи окремих проводів розщепленої фази (використовуються для створення штучного короткого замикання у визначених місцях їх встановлення в мережі);

- спеціальні «шини плавлення» з відповідними комутаційними апаратами для перемикання ПЛ та інших елементів з робочої схеми на режим плавлення в разі використання для плавлення напруги, відмінної від робочої, або в разі перемикання на спеціальну комірку плавлення з відповідними елементами захисту під час плавлення;

- пристрій для тимчасового або постійного перемикання кінців ВН і НН приєднання трансформатора або ВДТ для штучного переведення трансформатора в іншу групу з'єднання обмоток трансформатора з метою створення кутових зсувів між джерелами плавлення;

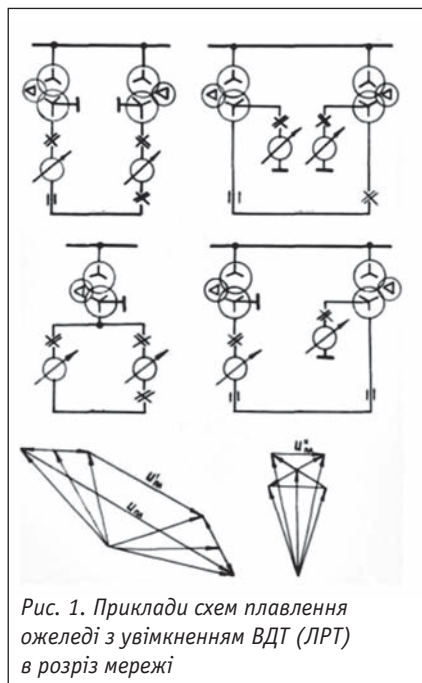


Рис. 1. Приклади схем плавлення ожеледі з увімкненням ВДТ (ЛРТ) в розріз мережі



- додаткове обладнання (у разі його відсутності) з відповідним його приєднанням до силового трансформатора чи автотрансформатора;

- додаткове високовольтне обладнання з тимчасовим або постійним його включенням в розріз із виходом трансформатора (автотрансформатора) чи відповідної ПЛ;

- комплекс пристроїв для перетворення змінної напруги в постійну з приєднанням їх як джерела струму плавлення до відповідних точок виходу;

- пристрій для перемикання схеми захисту елементів у колі плавлення або зміни параметрів захисту (зміна уставок спрацювання тощо).

Крім того, це комплекс додаткових заходів з організації плавлення, а саме:

- переведення підвіски тросу на ізолювану для можливості підключення до нього джерела живлення в разі плавлення;

- ізолювання окремих проводів розщеплених фаз між собою для можливості підключення до них джерела живлення в разі плавлення;

- ізолювання джерела живлення для здійснення плавлення ожеледі відносно землі в разі використання його на потенціалі проводу без виконання робочої напруги.

Пунктом 6.3.15 Вказівок зазначено, що загальний проект організації плавлення можна (за визначенням заявника) виконувати або в складі проекту конкретної ПЛ, або окремим проектом. Для успішного проведення плавлення завчасно розробляють технологічну карту, в якій передбачають черговість усіх операцій проведення плавлення ожеледі, як для кожної ПЛ окремо, так і для групи ПЛ. Технологічні карти складає експлуатаційне підприємство або проектна організація за його завданням. Відповідні технічні рішення мають бути зазначеними в проекті ПЛ.

У Вказівках також приділено увагу організації та передбаченню необхідного обладнання для автоматизації процесу включення схеми в роботу та відновлення нормальної роботи електричної мережі, а також системи збору та оброблення інформації щодо виникнення ожеледних ситуацій та проведення плавлення.

Вказівками, зокрема, передбачено, що для автоматизації процесу плавлення ожеледі необхідно створювати такі додаткові елементи:

- пристрої для автоматизації процесу плавлення;
- пристрої для перемикання РЗА з робочого режиму на режим плавлення в разі використання в схемі плавлення робочих елементів схеми мережі;

- систему збору, оброблення та передавання інформації про виявлення початку процесу утворення ожеледі та його розвитку (давачі інформації про ожеледь, температуру та інше);

- пристрої автоматизації передавання та оброблення інформації як у пункті збору, так і в пункті центру прийняття рішень щодо проведення плавлення).

Для систематизації спостережень за метеорологічною обстановкою в кожному регіоні потрібно влаштовувати автоматизовані ожеледно-вітрові пости (ОВП). Місце розташування ОВП має відповідати місцям концентрації ПЛ. Зазначені вимірювання рекомендується проводити шляхом встановлення ОВП на підстанціях.

Приклад реалізації ожеледно-вітрового поста наведено на **рис. 2**, а схему монтажу його конструкцій – на **рис. 3**.

У пунктах 6.3.22 – 6.3.26 Вказівок наведено детальний опис найпоширеніших способів плавлення. При цьому зазначено, що хоч будь-який спосіб плавлення ожеледі знижує пошкоджуваність ПЛ, найефективнішими є способи, за яких не потрібно від'єднувати споживачів на час проведення плавлення.

Одним з таких способів є спосіб зустрічного вмикання джерел струму з кутовим зсувом векторів їх фазних напруг на 60 електричних градусів (ЗВД-60). Цей спосіб дає змогу виконувати плавлення ожеледі на проводах без відключення живлення споживачів від ПЛ, на якій відбувається плавлення. Спосіб призначено для мережі з двобічним живленням, де використовуються трансформатори з

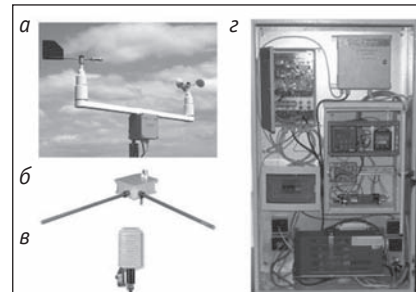


Рис. 2. Приклад трикомпонентного ожеледно-вітрового поста:
а – анемометр-рубометр;
б – вимірювач ваги ожеледних відкладень; в – давач температури і вологості повітря; г – блок керування і передавання даних

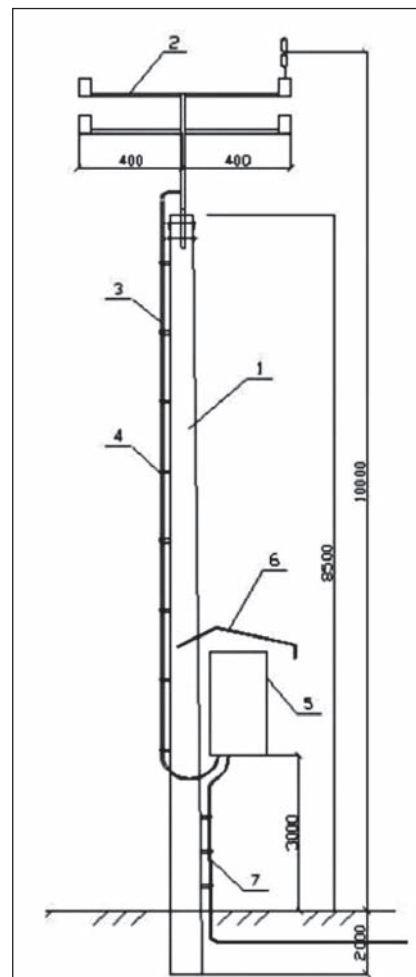


Рис. 3. Схема монтажу конструкцій ОВП:

1 – залізобетонна стійка;
2 – металева стійка для метеодавачів; 3 – гофрована трубка;
4 – скоби кріплення; 5 – шафа з блоками вимірювання і живлення;
6 – козирок;
7 – кабелі живлення, заземлення та інформаційний кабель



групою з'єднання Y/Δ -11 (переважно мережі напругою 35 – 110 кВ). Схему ЗВД-60 наведено в першій частині статті. Технічно цю схему реалізують шляхом перез'єднань кінців двох фаз на вході й виході трансформатора. В цьому разі створюється контур між трансформаторами, через який буде перетікати зрівняльний струм (у схемі плавлення цей струм і є струмом плавлення). Оскільки струм плавлення в кілька разів перевищує значення робочих струмів, то Вказівками підкреслено, що паралельну роботу трансформатора із перез'єднанням з іншими трансформаторами (без перез'єднання) заборонено.

Вказівками передбачено можливість реалізації декількох варіантів включення трансформатора з перез'єднанням у схему плавлення ожеледі, а саме:

- виконання діючого трансформатора на живильній підстанції з використанням його в нормальному режимі – за прямим призначенням, а в режимі плавлення – за схемою, наведеною в першій частині статті;

- встановлення на живильній підстанції додаткового трансформатора з перез'єднанням, спеціально призначеного для плавлення. Цей варіант

зручніший, але не завжди економічно доцільний.

За першим варіантом можливо застосовувати перез'єднання як постійно діючу схему або створювати пристрій для перемикання на робочу схему чи на схему плавлення за допомогою додатково встановлених комутаційних апаратів.

За другим варіантом бажано приєднувати НН трансформатора до спеціальної обхідної системи шин, на яку по чергово переводити ПЛ, на яких будуть виконувати плавлення ожеледі.

Плавлення на кільцевих ПЛ напругою 110 – 330 кВ доцільно здійснювати з живленням від автотрансформаторів зі ВДТ або ЛРТ за однією із схем, наведених на рис. 1. За наявності ВДТ, увімкнених з боку нейтралі автотрансформаторів, їх вмикають у кожному трансформаторі або автотрансформаторі із зміщенням фаз в різні боки, а кінці ПЛ, що обігрівається, приєднують до відповідних шин, які живляться від обмоток середньої (чи вищої) напруги за умови розімкненого секційного вимикача. Можливі варіанти включення обох ВДТ (ЛРТ) або одного з них із боку ПЛ, що обігрівається. При цьому фази зміщують за схемами, наведеними на рис. 1. Це дозволяє виконувати плавлення без перерви живлення споживачів, приєднаних до ПЛ.

У Вказівках також наведено особливості плавлення ожеледі в разі використання автотрансформаторів з ВДТ.

Автоматизація плавлення ожеледі

На рис. 4 наведено типові схеми організації автоматизованого плавлення ожеледі способом ЗВД або штучного короткого замикання. На рис. 4, а наведено типову схему зустрічного з'єднання двох ПЛ із взаємним резервуванням (ПС-А, ПС-Б – живильні підстанції; ПАС-1, ПАС-2 – пункти автоматичного секціонування; ПАВР – пункт автоматичного введення резерву; 1ТН – 4ТН – трансформатори напруги на пунктах секціонування та АВР; 1, 2, 3, 4, 5 – вимикачі в колі плавлення ожеледі). На рис. 4, б наведено типову схему

радіальної (тупикової) ПЛ (ПС-В – живильна підстанція; ПАС – пункт автоматичного секціонування; ТН – трансформатори напруги; ЗВ – закорочувальний вимикач).

На рис. 5 наведено загальну схему організації автоматизованої системи плавлення ожеледі (АСПО) на кільцевих ПЛ 110 – 330 кВ. У загальному випадку схема складається з декількох пристроїв, розташованих на живильній підстанції ПС-А, на проміжних ПС (або на пунктах секціонування ПАС-1, ПАС-2), на пункті АВР та на ПС другого живлення ПС-Б чи пункті закорочування ЗВ. Ці пристрої призначено для виконання таких операцій:

- забезпечення включення вимикача ПАВР (вимикача зустрічного включення джерел);

- зазублення пристроїв РЗА в колі (ПС-А, ПАС-1, ПАВР, ПАС-2, ПС-Б) на час плавлення;

- повернення схеми у вихідний стан (вимкнення вимикача ПАВР і зняття зазублення з пристроїв РЗА в колі плавлення) після закінчення плавлення.

Принципово така система може працювати за будь-якої напруги схеми плавлення. На ПЛ напругою 110 – 330 кВ ця система автоматизації діє в разі виконання схеми плавлення на закінчених ділянках чи розщеплених проводах фази або тросів, чи тросу з проводом. У разі коли джерело живлення плавлення знаходиться на потенціалі невимкненої ПЛ, усі елементи системи автоматизації повинні мати такий самий потенціал (бути ізольованими від землі) або мати роздільні елементи з відповідною ізоляцією. Якщо ж плавлення відбувається на ПЛ, вимкнених від своєї мережі, то система автоматизації разом із усіма елементами схеми плавлення працює так само, як на ПЛ напругою, що дорівнює номінальній напрузі джерел живлення.

Якщо плавлення відбувається в мережі, номінальна напруга якої збігається з номінальною напругою ПЛ (наприклад, напругою 35 кВ), то система автоматизації працює в такому самому режимі.

У Вказівках зазначено, що в разі автоматизації мереж напругою

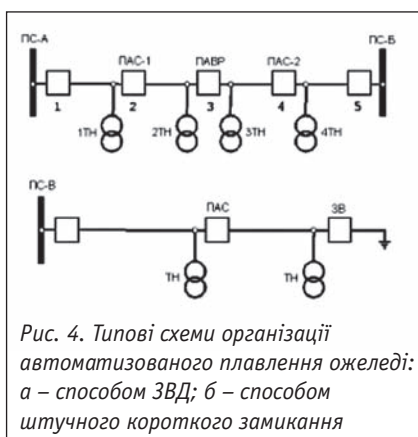


Рис. 4. Типові схеми організації автоматизованого плавлення ожеледі: а – способом ЗВД; б – способом штучного короткого замикання

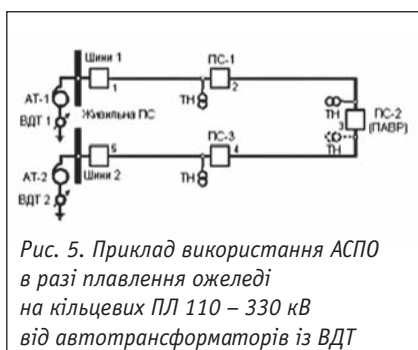


Рис. 5. Приклад використання АСПО в разі плавлення ожеледі на кільцевих ПЛ 110 – 330 кВ від автотрансформаторів із ВДТ



110 кВ і вище вимикачі проміжних підстанцій у схемі автоматики не задіяні. Це пояснюється тим, що вимикачі 110 кВ та вище не призначені для частих операцій вмикання-розмикання, а крім того, такі операції можуть призводити до виникнення перенапруг.

Але автоматичний захист на цих підстанціях має бути переключено (чутливі до струмів плавлення пристрої РЗА мають виводитися з роботи на час проведення плавлення, а резервний або спеціально створений для умов плавлення захист – вводитися). По закінченні плавлення пристрої РЗА повертаються у первісний стан. Такі операції з пристроями РЗА виконуються за командами АСПО з використанням блоків автоматики за струмом (реагує на короточасні кидки струму через задані інтервали часу).

Щодо підстанції ПС-2 (рис. 5), то у разі постійно замкненого нормального режиму роботи мережі автоматика діє аналогічно пунктам ПС-1 і ПС-3, а в разі нормально розімкнутого режиму з АВР – вимикач 3 вмикається (для включення схеми плавлення) і вимикається (для виключення схеми плавлення) за командою АСПО.

У разі неможливості застосування плавлення ожеледі або відмови від його використання з техніко-економічних міркувань у проекті необхідно передбачати необхідні заходи щодо зменшення можливих відкладень на проводах, у тому числі оцінювання можливості застосування компактних (сегментних) проводів.

Захист проводів від коливань

Одночасно із заходами щодо забезпечення протидії конструкцій ПЛ статичним навантаженням від ожеледі також слід враховувати дію динамічних сил під час коливань проводів. Найпоширенішими видами коливань проводів, спричинений вітром, є:

- **вібрація** проводів (тросів) – періодичні коливання проводів або тросів у прогоні з частотою від 3 до 150 Гц, які відбуваються у вертикальній площині під час вітру й утворюють стоячі хвилі з амплітудою, що

може перевищувати діаметр проводів (тросів);

- **галоупування** проводів (тросів) – сталі періодичні низькочастотні (від 0,2 до 2 Гц) коливання проводів (тросів) у прогоні, які утворюють стоячі хвилі (іноді в сполученні з біжучими) з числом напівхвиль від однієї до двадцяти та амплітудою від 0,3 до 5 м;

- **субколивання** (коливання проводів у підпрогонах) – спричинені вітром періодичні коливання горизонтально розташованої пари проводів розщепленої фази, що відбуваються з однією або декількома напівхвилями на ділянках (підпрогонах) між сусідніми внутрішньофазними дистанційними розпірками з вузловими точками в місцях установаження розпірок.

Галоупуванню піддаються проводи практично будь-якої конструкції і будь-якого діаметра. Вказівками рекомендовано застосовувати проводи, подібні до марки Т-2 (два проводи однакового діаметра, скручені з певним кроком), або компактні проводи типу Аеро-З. Ці проводи найбільш вдало протистоять появі галоупування (збільшене самозатухання, підвищена крутильна жорсткість).

Проводи з розщепленими фазами піддаються галоупуванню більшою мірою, ніж одиничні, через ексцентричність відкладення ожеледі завдяки наявності внутрішньофазних дистанційних розпірок.

Розрізняють три основні різновиди заходів захисту від галоупування:

- видалення ожеледі та запобігання відкладенню її на проводах;
- втручання в механізм розвитку і підтримування галоупування для запобігання його виникненню;
- уникнення небезпечних амплітуд галоупування.

Найефективнішим засобом боротьби з ожеледдю є використання комплексних пристроїв щодо обмеження ожеледі і коливань проводів, а при складних ожеледних відкладеннях – використання комбінованих методів. Ці ж засоби необхідно використовувати під час переобладнання ПЛ для підвищення їх надійності, при капітальному ремонті або реконструкції. Зазначені засо-

би дозволяють обмежити величину ожеледоутворення, захистити ПЛ від галоупування і вібрації, а в необхідних випадках – видалити ожеледь.

Література:

1. СОУ-Н МЕН 40.1-37471933-62:2012. *Проектування електричних мереж з урахуванням протиожеледних заходів. Методичні вказівки, затверджені наказом Міненергосугілля України від 16 грудня 2011 р. № 854.*
2. *Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.4. Повітряні лінії електропередачі напругою до 1 кВ. Глава 2.5. Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ.* – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 191 с.
3. *Пособие по изучению Правил устройства электроустановок ПУЭ-2006. Раздел 2. Передача электроэнергии. Глава 2.4. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ.* – К.: ДП НТУКЦ «Аселенерго», 2007. – 90 с.
4. ГІД 34.20.501-2008. *Розрахунок опор та проводів повітряних ліній електропередачі згідно з вимогами глав 2.4 і 2.5 ПУЕ:2006. Посібник.*
5. *Ожеледно-вітрові навантаження, галоупування проводів повітряних ліній електропередавання та боротьба з ними. Довідково-методичний посібник. Крижов Г.П., Удод Т.Є., Гримуд Г.І.* – К.: ДП НТУКЦ «Аселенерго», 2010.
6. СОУ 45.2-00100227-24:2010. *Захист проводів повітряних ліній електропередачі від вітрових коливань (вібрації, галоупування, субколивань). Методичні вказівки / В. Лях, М. Керніцький, В. Молчанов, Г. Крижов, Я. Назім, Є. Горохов* – К.: КВІЦ, 2010. – 112 с.
7. СОУ 40.1-00013741-36:2010. *Рекомендації щодо проектування та будівництва багатоколових ліній електропередавання напругою від 35 кВ до 330 кВ.*
8. ДБН В.1.2-2:2006. *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.*

(Далі буде)



Проектування електричних мереж з огляду на протиожеледові заходи

Г.П. Крижов, Т.Є. Удод, кандидати техн. наук

Редакція «Електропанорами» регулярно інформує читачів про нові норми і правила, які регламентують різні аспекти проектування, а також надійної, ефективної та безпечної експлуатації електроустановок. Так, зокрема, упродовж декількох попередніх років було докладно розглянуто зміст нових розділів Правил улаштування електроустановок, що набрали чинності у 2006 році. Після цього було розроблено низку нормативних і довідково-методичних документів щодо проектування та спорудження електричних мереж і боротьби з метеорологічними впливами на них.

До уваги читачів – докладний розгляд нормативного документа СОУ-Н МЕН 40.1-37471933-62: 2012 «Проектування електричних мереж з урахуванням протиожеледових заходів. Методичні вказівки» (далі – Вказівки), затвердженого наказом Міністерства енергетики України від 16 грудня 2011 р. № 854.

(Закінчення. Початок див. ЕП, № 5 – 7-8, 2013 р.)

У розділі 7 **«Компактні проводи для обмеження ожеледоутворення на повітряних лініях електропередачі»** розглянуто конструктивні особливості, переваги та сферу застосування компактних проводів та особливості проектування повітряних ліній електропередачі з їх застосуванням.

У підрозділі 7.1 «Конструктивні особливості компактних проводів» зазначено, що разом із традиційними сталюалюмінієвими проводами марки АС останнім часом на ПЛ застосовують компактні (сегментні) проводи (рис. 1).

Компактні (сегментні) проводи – це багатошарові проводи для високовольтних ПЛ, що складаються зі скручених дротів, верхні шари яких повиваються із дротів спеціального профілю підвищеної щільності укладання.

Верхні шари компактних (сегментних) проводів різних марок можуть мати різні профілі дротів, залежно від фірми-виробника. Внутрішні шари таких проводів можуть виконуватися із сталевих чи композитних матеріалів для покращення

механічних або температурних характеристик проводу.

Серед компактних проводів найбільше застосування набув провід АААС (All Aluminum Alloy Conductors) – багатошаровий зі скручених дротів алюмінієвого сплаву. До цього класу проводів належить і провід марки Аеро-З (АААС Аеро-З), в конструкції якого для зовнішнього шару (шарів) замість круглих використовуються дроти Z-подібного профілю. Завдяки використанню алюмінієвого сплаву (однорідний чи гомогенний провід) для внутрішніх та зовнішніх шарів досягається збільшення корисної площі перетину струмопровідної частини проводу.

При виробництві сегментних (або секторних) сталюалюмінієвих проводів (ACSR/TW – Segmental Compacted Aluminium Conductors Steel Reinforced) на поверхню оцинкованих сталевих дротів намотують шари круглих і трапецієвидних або тільки трапецієвидних алюмінієвих дротів. Завдяки цьому досягається щільне заповнення поперечного перерізу. До цього класу проводів належить провід марки AFLs.

Компактні (сегментні) проводи мають гладку поверхню із незначними гвинтовими канавками, які утво-

рюються між верхніми краями щільно укладених дротів спеціального профілю. Для компактних проводів Аеро-З коефіцієнт аеродинамічного опору менший, ніж у традиційних проводів АС (при однаковому перетині). Завдяки гладкій поверхні компактні проводи Аеро-З мають суттєву перевагу щодо протидії вітру при його швидкостях понад 25 м/с.

При однаковому перетині сталюалюмінієвого проводу звичайної конструкції і компактного (сегментного) проводу зовнішній діаметр нових типів проводів на один-два типорозміри менше. Тобто за однакового діаметра компактний (сегментний) провід забезпечує більшу корисну площу перетину струмопровідної частини, ніж провід марки АС, і як наслідок – більшу передавальну здатність за струмом з меншими тепловими втратами.

У проводі із Z-подібними повидами згинальні і крутні коливання згасають у 2–3 рази швидше, ніж у звичайному проводі марки АС. Сусідні дроти проводу марки Аеро-З перекривають один одного: нижню частину одного дроту розташовано під прилеглими дротами верхнього шару. Завдяки цьому забезпечується висока деформаційна здатність.

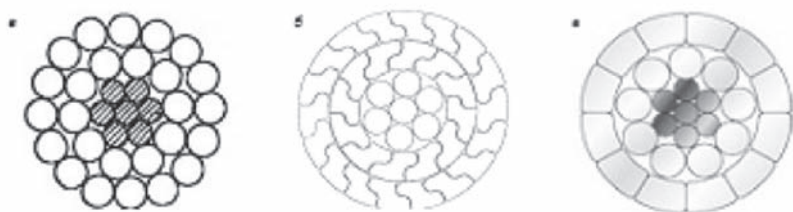


Рис.1. Перетини проводів:

а – традиційні сталевалюмінієві проводи АС; б – компактні проводи марки Aero-Z з алюмінієвого сплаву; в – секторні ущільнені сталевалюмінієві проводи AFLs

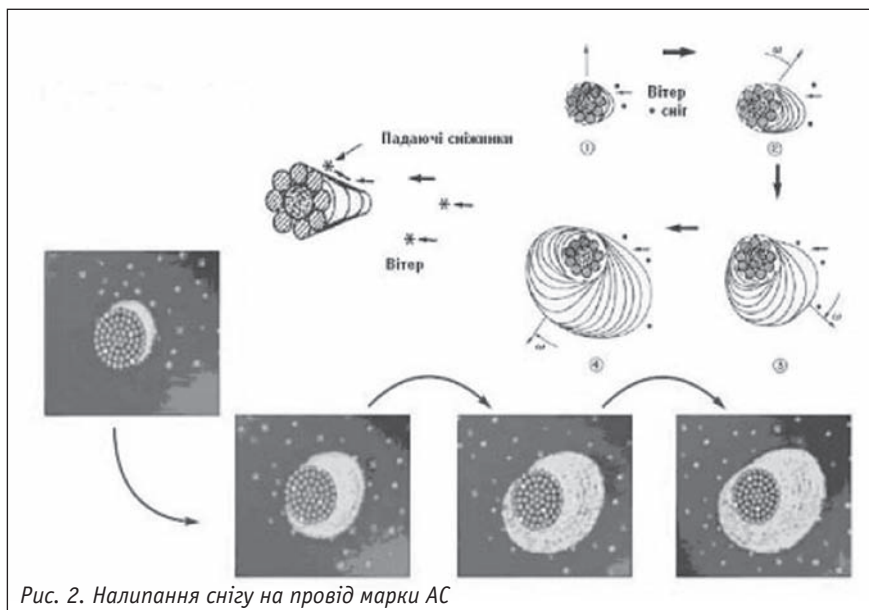


Рис. 2. Наліпання снігу на провід марки АС

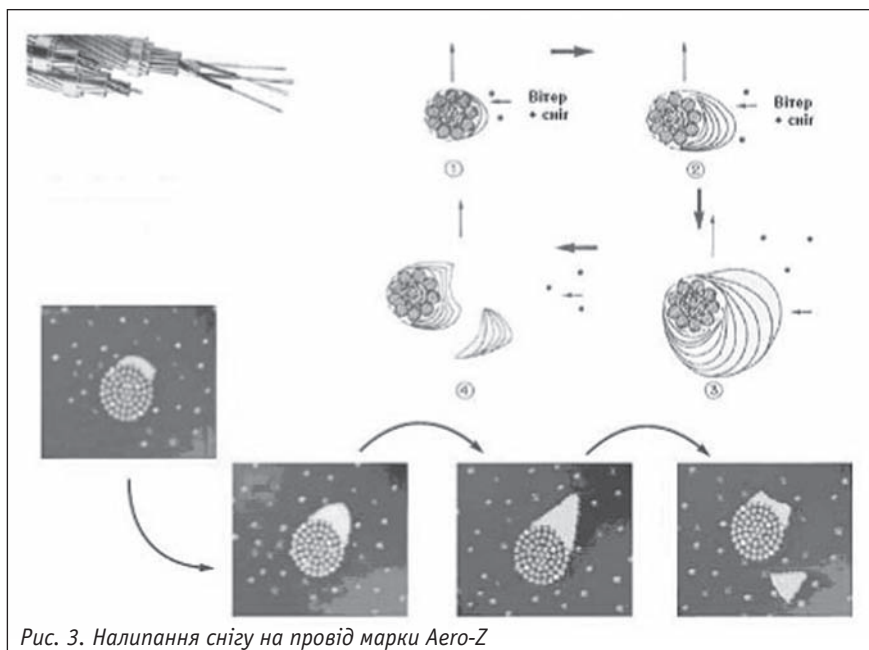


Рис. 3. Наліпання снігу на провід марки Aero-Z

Зовнішній шар дротів, що мають Z-подібну форму, у проводі утворює герметичний корпус, який запобігає просочуванню консистентного мастила, що заповнює порожнини між внутрішніми дротами. На відміну від традиційного проводу у проводі

марки Aero-Z не відбувається витіснення мастила зовні під дією циклічних навантажень, що зумовлює високий рівень захисту від корозії протягом усього терміну експлуатації проводу та збільшує життєвий цикл ПЛ.

У підрозділі 7.2 «Переваги компактних (сегментних) проводів та сфера їх застосування» зазначено, що головні переваги компактних (сегментних) проводів порівняно із звичайними проводами марки АС такі:

- збільшення перерізу алюмінієвої частини проводу;
- менше вітрове навантаження проводу через менший зовнішній діаметр і гладку поверхню;
- менше навантаження від ожеледі;
- зменшення радіотехнічних завад і втрат потужності від коронного розряду;
- зменшення вітрових коливань;
- зменшення провисання проводів;
- зменшення маси опорних конструкцій під час будівництва нових ПЛ і зменшення кількості опор, які підлягають заміні в разі реконструкції ПЛ.

Завдяки рівній гладкій поверхні верхнього шару та високому крутному моменту компактні (сегментні) проводи зменшують проблеми, спричинені ожеледно-паморозевими відкладеннями. Тому компактні проводи використовують у екстремальних погодних умовах. Крім того, за умови меншого перетину компактного проводу порівняно з проводом АС за рівних параметрів передачі потужності розрахункове навантаження від ожеледі буде меншим. Для компактних проводів Aero-Z коефіцієнт аеродинамічного опору менший, ніж у традиційних проводів АС (при однаковому перетині). За однакового діаметра компактний (сегментний) провід забезпечує більшу корисну площу перетину струмопровідної частини, ніж провід марки АС, і як наслідок – більшу передавальну здатність за струмом з меншими тепловими втратами.

Разом з тим компактні проводи Aero-Z здатні краще протистояти мокрому снігу, ніж звичайні проводи. Сніг, який налипає на провід, утворює льодяну шапку тільки з одного боку проводу. Перекручуючись під вагою цієї шапки, компактний провід сприяє струшуванню надлишків снігу або паморозі завдяки високому крутному моменту. Середня маса крижаних наростів на компактних про-



водах становить лише половину маси, яка спостерігається на традиційному проводі марки АС. Імовірність появи крижаних «рукавів» значно зменшується. На **рис. 2** і **рис. 3** наведено схеми налипання снігу на проводах марок АС та Aero-Z відповідно.

Перевагою компактних проводів порівняно зі звичайними марки АС є їх здатність гасити вітрові коливання як великої частоти (вібрації), так і низької (галоупування). Ця здатність досягається шляхом збільшення сили тертя між окремими дротами, намотаних шарів і розсіювання енергії коливань у просторі між шарами алюмінієвих дротів. Крім того, рівна поверхня проводу сприяє зменшенню коронного розряду і кількості радіотехнічних завад.

Загалом слід зазначити, що компактні (сегментні) проводи можна використовувати без будь-яких обмежень, як для ремонту та реконструкції діючих ПЛ, так і у разі будівництва ПЛ середнього та високого класів напруги. Існуючі конструкції (опори) можна використовувати без їх заміни на нові.

Компактні (сегментні) проводи доцільно застосовувати під час проектування нових ПЛ або їх реконструкції в таких випадках:

- на великих переходах ПЛ (судноплавні ділянки рік, водоймищ, перетин ущелин, ярів та інших перешкод), а також в гірській місцевості;
- під час реконструкції ПЛ зі збільшенням пропускної здатності за браком додаткових вільних земельних ділянок під опори («опора в опору»);
- на ПЛ в районах за характеристичними значеннями ожеледі «чотири» і вище;
- на ПЛ в районах за характеристичними значеннями вітрового тиску «чотири» і вище та в районах, де вітровий тиск під час ожеледі перевищує 250 Па незалежно від району за ожеледдю.

У підрозділі 7.3 «Особливості проектування повітряних ліній електропередачі із застосуванням компактних проводів» зазначено, що компактні (сегментні) проводи ПЛ, як правило, мають менші значення коефіцієнту аеродинамічного опору при

вітровому тиску 500 Па та вище, ніж проводи марки АС відповідного діаметра, тобто рекомендовано виконувати техніко-економічне порівняння використання зазначених проводів для ПЛ.

Техніко-економічне порівняння має виконуватись на підставі розрахунку навантаження на опори ПЛ за режиму максимального вітрового тиску (пункт 2.5.49 Глави 2.5 ПУЕ:2006) для компактних (сегментних) та для стандартних проводів ПЛ.

У Вказівках надається методика розрахунку навантаження на опори ПЛ за режиму максимального вітрового тиску з метою порівняння компактних (сегментних) та стандартних проводів. При цьому враховуються такі дані:

- Під час проектування ПЛ з використанням компактних проводів марки Aero-Z зменшення інтенсивності відкладення ожеледі на проводи враховується шляхом зменшення в 1,25 раза характеристичного значення ожеледі, прийнятого за картою територіального районування згідно з ПУЕ:2006 або розрахованого за даними багаторічних спостережень.

- Для компактних проводів слід використовувати з'єднувальну та анкерно-підвісну арматуру, яка пройшла випробування з таким проводом і має підтвердження відповідності арматури технічним характеристикам проводу.

- При виборі системи гасіння вітрових вібрацій та субколивань слід враховувати властивості компактного проводу до самопоглинання енергії коливань, його технічні характеристики, зусилля на розрив та крутильну жорсткість. Зокрема, слід застосовувати багаточастотні гасники вібрації для проводів та розпірки, що демпфують для проводів розщепленої фази ПЛ, вибір яких має підтверджуватися обґрунтованими аналітичними розрахунками та протоколами випробувань.

Головні переваги компактних проводів порівняно із звичайними проводами марки АС, що наведені вище, дають можливість у разі проектування нових чи реконструкції існуючих ПЛ досягти таких позитивних результатів:

- збільшити пропускну здатність ПЛ на 15-25 %;
- зменшити необхідність заміни або зміцнення опор;
- збільшити значення прогону (зменшення кількості проміжних опор);
- зменшити в окремих випадках вартість модернізації лінії до 50 %.

Література:

1. СОУ-Н МЕН 40.1-37471933-62:2012. Проектування електричних мереж з урахуванням протиожеледових заходів. Методичні вказівки, затверджені наказом Міністерства енергетики України від 16 грудня 2011 р. № 854.
2. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.4. Повітряні лінії електропередачі напругою до 1 кВ. Глава 2.5. Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 191 с.
3. Пособие по изучению Правил устройства электроустановок ПУЭ-2006. Раздел 2. Передача электроэнергии. Глава 2.4. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ. – К.: ДП НТУКЦ «Аселенерго», 2007. – 90 с.
4. ГД 34.20.501-2008. Розрахунок опор та проводів повітряних ліній електропередачі згідно з вимогами глав 2.4 і 2.5 ПУЕ:2006. Посібник.
5. Ожеледно-вітрові навантаження, галоупування проводів повітряних ліній електропередавання та боротьба з ними. Довідково-методичний посібник. Крижов Г.П., Удод Т.Є., Гримуд Г.І. – К.: ДП НТУКЦ «Аселенерго», 2010.
6. СОУ 45.2-00100227-24:2010. Захист проводів повітряних ліній електропередачі від вітрових коливань (вібрації, галоупування, субколивань). Методичні вказівки / В. Лях, М. Керницький, В. Молчанов, Г. Крижов, Я. Назім, Є. Горохов – К.: КВІЦ, 2010. – 112 с.
7. СОУ 40.1-00013741-36:2010. Рекомендації щодо проектування та будівництва багатоколових ліній електропередачі напругою від 35 кВ до 330 кВ.
8. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.