

О. Г. ГРИБ, І. Т. КАРПАЛЮК, Д. А. ГАПОН, Н. В. РУДЕВИЧ, Р. І. ДЕМ'ЯНЕНКО

ЗВ'ЯЗОК КОРОННОГО РОЗРЯДУ З ЯКІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Розглядається як змінилися масштаби використання електричної енергії у світі і як економічний ринок поступово збільшував вимоги до такого товару, як електроенергія. Наведені результати дослідження якісних показників електроенергії електричних мереж із напругою 35–110–220–330 кВ. Показано наявність відхилень параметрів якості електроенергії в аналізованих мережах. Зосереджена увага на гармонійних складових, що має місце в результатах проведених досліджень. Наведено класифікацію факторів впливу, що призводить до генерації гармонійних складових. Вони поділені на групи, такі як зовнішні та внутрішні. В свою чергу зовнішні чинники діляться на антропогенні та природні, а внутрішні чинники групуються в споживачів електричної енергії та енергетичне обладнання. Проведено аналіз з боку енергетичних компаній, які проводять заходи щодо підвищення якості електричної енергії. З точки зору енергетичних компаній найбільш цікаві тільки фактори, що впливають на гармонійну складову через енергетичне обладнання передачі і розподілу електричної енергії. А так як розповсюдженням явищем є коронний розряд, він, в свою чергу, є джерелом гармонійної складової. До того ж між коронним розрядом та гармонійною складовою є позитивний зворотній зв'язок. Лише наявність гармонійної складової стимулює виникнення коронного розряду і навпаки. Проведений аналіз показує, що коронний розряд залежить не тільки від параметрів електричної мережі, але ще від природних факторів, таких як: дощ, сніг, туман, іній, підвищена вологість – все це призводить до втрат потужності на коронний розряд. Боротьба із коронним розрядом в енергетичних компаніях призводить до зменшення збитків та зменшення втрат потужностей під час знаходження у роботі енергетичних комплексів.

Ключові слова: показник якості електроенергії, коронний розряд, гармонійна складова, природні умови, втрата потужності, стримерна корона, електрична енергія.

О. Г. ГРИБ, И. Т. КАРПАЛЮК, Д. А. ГАПОН, Н. В. РУДЕВИЧ, Р. И. ДЕМЬЯНЕНКО

СВЯЗЬ КОРОННОГО РАЗРЯДА С КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Рассматривается как изменились масштабы использования электрической энергии в мире и как экономический рынок постепенно увеличивал требований к такому товару, как электроэнергия. Приведены результаты исследования качественных показателей электроэнергии электрических сетей с напряжением 35–110–220–330 кВ. Показано наличие отклонений параметров качества электроэнергии в рассматриваемых сетях. Сосредоточено внимание на гармонических составляющих, что имеет место в результатах проведенных исследованиях. Приведена классификация факторов влияния, что приводит к генерации гармонических составляющих. Они разделены на группы, такие как внешние и внутренние. В свою очередь внешние факторы делятся на антропогенные и природные, а внутренние факторы группируются у потребителей электрической энергии и энергетическое оборудование. Проведен анализ со стороны энергетических компаний, которые проводят мероприятия по повышению качества электрической энергии. С точки зрения энергетических компаний наиболее интересны только факторы, влияющие на гармоничную составляющую через энергетическое оборудование передачи и распределения электрической энергии. А так как распространенным явлением является коронный разряд, он, в свою очередь, является источником гармонической составляющей. К тому же между коронным разрядом и гармоничной составляющей существует положительная обратная связь. Только наличие гармонической составляющей стимулирует возникновение коронного разряда и наоборот. Проведенный анализ показывает, что коронный разряд зависит не только от параметров электрической сети, но еще от природных факторов, таких как: дождь, снег, туман, иней, повышенная влажность – все это приводит к потерям мощности на коронный разряд. Борьба с коронным разрядом в энергетических компаниях приводит к уменьшению убытков и уменьшению потерь мощностей во время нахождения в работе энергетических комплексов.

Ключевые слова: показатель качества электроэнергии, коронный разряд, гармоническая составляющая, природные условия, потеря мощности, стримерная корона, электрическая энергия.

O. GRUB, I. KARPALYUK, D. GAPON, N. RUDEVICH, R. DEMIANENKO

RELATIONS BETWEEN THE CORONAL DISCHARGE AND THE ELECTRICITY QUALITY

It is considered how the scale of electricity use in the world has changed and as the economic market gradually increased the demand for such goods as electricity. The results of research of qualitative indicators of the electric power of electric networks with a voltage of 35–110–220–330 kV are resulted. The presence of deviations of electricity quality parameters in the analyzed networks is shown. The focus is on the harmonic components, which takes place in the results of research. The classification of factors of influence that leads to the generation of harmonic components is given. They are divided into groups, such as external and internal. In turn, external factors are divided into anthropogenic and natural, and internal factors are grouped into consumers of electricity and energy equipment. An analysis has been carried out by energy companies, measures are being taken to improve the quality of electricity. From the point of view of energy companies, the most interesting are only the factors that affect the harmonious component through the energy equipment of transmission and distribution of electricity. And since the common phenomenon is the corona discharge, it is in its own right a source of harmonic component. In addition, there is positive feedback between the corona discharge and the harmonic component. Only the presence of a harmonious component stimulates the occurrence of corona discharge and vice versa. The analysis shows that the corona discharge depends not only on the parameters of the electrical network, but also on natural factors such as rain, snow, fog, hoarfrost, high humidity, all this leads to a loss of power to the corona discharge. The fight against corona discharge leads energy companies to reduce losses and reduce capacity losses during the operation of energy complexes.

Keywords: electricity quality indicator, corona discharge, harmonic component, natural conditions, power loss, streamer corona, electric energy.

Вступ. Електрична енергія поступово приймає подвійну функцію і нині в не меншій мірі виступає в ролі товару. І як будь-який товар підкоряється умовам економічного ринку, а це в першу чергу якість товару.

Так, якщо на початку ХХ століття вимоги до якості визначалися рівнем напруги в електричній мережі, споживчі прилади в основному складалися з освітлювальних ламп розжарювання, відповідно

© О. Г. Грив, І. Т. Карпалюк, Д. А. Гапон, Н. В. Рудевич, Р. І. Дем'яненко, 2021

продукт роботи цих ламп – це світло, яке напряму залежало від величини напруги в електричній мережі. А в міському масштабі споживання електричної енергії було пов'язано з трамваями на електричній тязі, електричним вуличним освітленням і телефонним зв'язком [1]. З часом до якості електричної енергії стало пред'являтися все більше вимог. З метою вивчення якості електроенергії в різних режимах роботи електричних мереж і технологічного устаткування виконувалися виміри показників якості електроенергії (ПЯЕ).

Заміри на реальних об'єктах енергетичного комплексу України виконувалися в мережах із різним рівнем номінальної напруги. Так були виконані заміри ПЯЕ в мережах 0,4 кВ, 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ.

За результатами проведених досліджень було акцентовано увагу на наявності гармонійних складових в сигналі струму та проаналізовано причини їх появи (рис. 1).

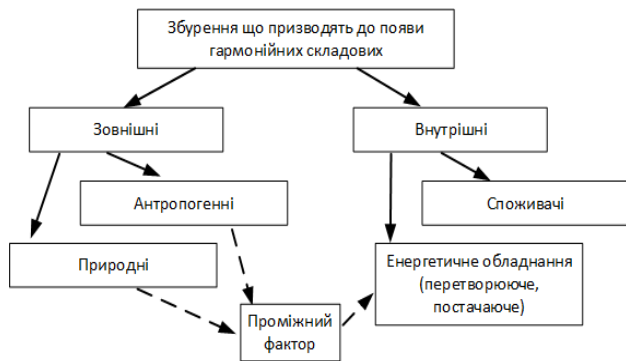


Рис. 1. Збурення в енергетичному комплексі, що призводять до появи гармонійних складових в струмі

Всі наявні збурення поділено на зовнішні і внутрішні. До зовнішніх віднесено причини пов'язані із діяльністю людини (антропогенні) і такі, що є наслідком діяльності природних чинників (природні).

До внутрішніх причин віднесені всі процеси електричної природи. Це спотворення струму в наслідок перетворень струму в електричних споживачах (споживачі) і всі перетворення в самому енергетичному обладнанні (енергетичне обладнання).

З точки зору питань якості електроенергії всі зазначені параметри, що впливають на наявність гармонійних складових в сигналах струму, не можуть бути скореговані якоюсь певною низкою заходів.

Щодо якості генерованої електричної енергії, то можна зауважити наступне, що на електричних станціях досягти виконання ПЯЕ значно легше ніж для постачальників, бо джерело електричної енергії знаходиться в одному локалізованому просторі і має керованість параметрів.

В даній роботі розглядається тільки такі ПЯЕ, що пов'язані із наявністю гармонійних складових в сигналі струму. Джерелом такого погіршення розглядаються тільки такі причини, на які може впливати постачальна компанія. А саме це процеси в енергетичному комплексі і похідні від них.

До такого процесу віднесемо джерело гармонійних складових – коронний розряд, тому його

винесено як проміжний фактор (рис. 1). Зображено, що на цей проміжний фактор може впливати і природні чинники.

В багаточисельних джерелах інформації представлено наукові дослідження щодо визначення впливу різних природних чинників на потужність коронного розряду [2–8], при цьому не встановлено взаємозв'язок появи коронного розряду з генерацією гармонійних складових в сигналах струму. Наприклад, вологість в оточуючому середовищі змінює струм коронного розряду і відповідно змінюється потужність гармонійних складових в сигналі струму.

Мета роботи – узагальнення впливу природних чинників на потужність коронного розряду та визначення його взаємозв'язку з появою гармонійних складових в параметрах режиму електричної мережі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Коронний розряд – вид самостійного розряду який виникає у повітряному (газовому) середовищі при атмосферному тиску. Обов'язковою умовою існування коронного розряду є значна неоднорідність електричного поля, яка характерна для неізоляованих струмоведучих частин електричного устаткування високої напруги [9].

Зона підвищених градієнтів потенціалу в основному розташована на невеликому віддаленні у вузькій смугі простору поблизу поверхні електродів з малими радіусами кривизни. Завдяки цьому при виникненні на розрядному проміжку напруги з деяким рівнем перепаду потенціалу достатнім для виникнення розряду власне і виникає розряд.

У зонах розрядного проміжку, окрім процесів іонізації і збудження нейтральних атомів і молекул, розпаду іонів, мають місце також процеси рекомбінації. Рекомбінація супроводжується випусканням електромагнітного випромінювання. І фотони внаслідок рекомбінації можуть належати і до інфрачервоної, і до видимої, і до короткохвильової частин спектру. Світло, що створює подібність ореолу поблизу поверхні коронуючих електродів і дало назву цьому виду електричного розряду [10].

Зовнішній вигляд і структура світіння зони іонізації залежать від полярності і форми напруги, прикладеної до коронуючого електроду, а також від розмірів, форми і стану поверхні цього електроду [11].

На товстих дротах (радіуси близько сантиметра) разом з однорідним чохлам можуть мати місце і стримерні канали, що призводять до появи в струмі потужних імпульсів і радіовипромінювання, рівень якого набагато перевищує рівень радіоперешкод від негативної корони. Особливе значення стримерна форма корони має для переходу коронного розряду в іскровий [12].

У роботі ми розглядаємо тільки коронний розряд при напрузі промислової частоти. Процеси в зовнішній зоні в цьому випадку мають ряд загальних рис як з перехідною уніполярною короною, так і з біполярною короною постійного струму.

Узагальнена характеристика втрат потужності на корону. Втрати потужності на корону визначаються виразом [2]:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T q \cdot du = \frac{1}{T} \int_0^T q_k \cdot du, \quad (1)$$

де q_k – компенсований заряд.
 При синусоїдальній напрузі частоти ω :

$$P = \frac{\omega Q_{k,max} U_{max}}{2} k_1 \cos \varphi_{k1}, \quad (2)$$

де $k_1 = Q_1 / Q_{k,max}$;
 φ_{k1} – кут зрушення першої гармоніки "компенсованого" струму відносно напруги;
 $Q_{k,max}$ – амплітуда "компенсованого" заряду;
 Q_1 – амплітуда першої гармоніки "компенсованого" заряду.

У рівнянні (2) величини $Q_{k,max}$, k_1 , $\cos \varphi_{k1}$ залежать від напруги. Після визначення залежності між $Q_{k,max}$ і U_{max} :

$$P = \omega C^2 \frac{U_{max} (U_{max} - U_0)}{2} \cdot \frac{k_1 \cos \varphi_{k1}}{C_E - C}, \quad (3)$$

Зредуковані характеристики втрат потужності на корону для області загальної корони – прямі лінії. Такі характеристики на (рис 2), побудовані за експериментальними даними вимірів втрат потужності на корону в циліндричному конденсаторі з діаметром зовнішнього циліндра 2 м і діаметрами коронуєчих дротів 0,6; 2,95 і 6 мм.

Перетин зредукованої характеристики з віссю напруги визначає відповідно до рівняння (3) критичну напругу загальної корони U_0 [3].

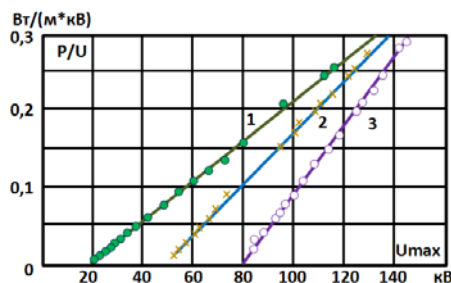


Рис. 2. Зредуковані характеристики втрат потужності на корону в циліндричному конденсаторі для дротів різного діаметру:
 1 - діаметром 0,6 мм; 2 - діаметром 2,95 мм; 3 - діаметром 6 мм

Втрати потужності і енергії на корону при дощі. Різні атмосферні явища – дощ, сніг, туман, підвищена вологість повітря, іній, паморозь і ожеледь – істотно впливають на коронування дротів ліній електропередачі, призводячи до підвищення рівня втрат потужності на корону (в порівнянні з цим рівнем для умов гарної погоди). Найбільш вивчений вплив на коронування ліній дощу. Він детально досліджувався в лабораторії на діючих, а також на низці експериментальних ліній [4].

Початкові градієнти корони при дощі, як показали лабораторні дослідження, залежать від

інтенсивності дощу.

Аналіз великої кількості експериментальних характеристик втрат потужності на корону при дощі показав, що зредуковані характеристики для різних дротів і інтенсивностей дощу і різних величин відносної щільності повітря дійсно лінійні.

В якості прикладу на (рис. 3) дано декілька зредукованих характеристик втрат потужності на корону на дроті АС-150 за даними вимірів.

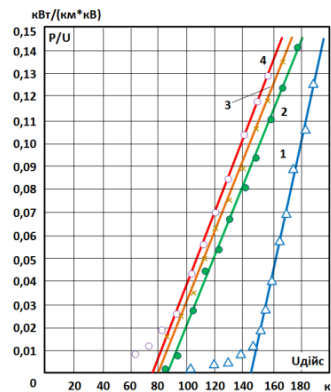


Рис. 3. Зредуковані характеристики втрат потужності на корону на дроті АС-150 для різних умов:
 1 – гарна погода ($\delta = 0,91$); 2 – дощ з інтенсивністю 1 мм/год ($\delta = 0,895$); 3 – дощ з інтенсивністю 3 мм/год ($\delta = 0,895$); 4 – дощ з інтенсивністю 30 мм/год ($\delta = 0,875$)

Характеристики для умов дощу дійсно виявляються лінійними функціями напруги. Вони зрушені у бік меншої напруги в порівнянні з характеристикою гарної погоди і тим більшою мірою, чим більше інтенсивність дощу [5]. Останнє вказує на залежність критичної напруги корони при дощі від його інтенсивності. Інша відмітна здатність зредукованих характеристик втрат потужності на корону при дощі, в порівнянні з характеристикою для гарної погоди, – їх помітно менший нахил, а отже, і менші значення коефіцієнта b_p .

Критична напруга корони для гарної погоди визначається щільністю повітря, геометрією дроту і коефіцієнтом гладкості його поверхні. Остання для умов дощу не має великого значення і її облік при визначенні коефіцієнта погоди вноситиме деяку невизначеність. Тому визначається коефіцієнт погоди для дощу, відносячи знайдені із зредукованих характеристик $U_{од}$ до критичної напруги корони, обчислювальної з використанням формули Піку для гладких дротів з ідеальною поверхнею. Результати визначення коефіцієнта погоди при дощі для поодиноких і розщеплених дротів декількох радіусів і для різних значень відносної щільності повітря наведені на рис. 4. Як можна бачити, інтенсивність дощу обмежено величиною 36 мм/год, криву слід розглядати як узагальнену залежність коефіцієнта погоди при дощі від інтенсивності дощу для витих дротів практичних розмірів.

Другим елементом, необхідним для розрахункового визначення втрат потужності і енергії на корону, є узагальнена характеристика втрат потужності на корону.

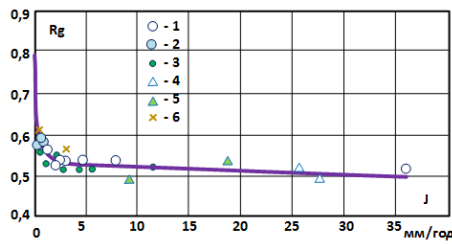


Рис. 4. Залежність коефіцієнта погоди від інтенсивності дощу:

- 1 – АС-150 ($\delta = 0,875-0,915$); 2 – АСУ-300 ($\delta = 0,811-0,834$);
- 3 – АСО-710 ($\delta = 1,02$); 4 – 2ХАСО-280№ ($\delta = 0,97$);
- 5 – 3хАСО-230/300 ($\delta = 0,98$); 6 – 3хАСУ-400/400 ($\delta = 1,0$)

Для області $U/U_{од} > 1$, яку можна умовно назвати областю загальної корони, характеристики для самих різних перерахованих умов співпадають. Це свідчить про те, що використане узагальнення правильно враховує усі основні чинники, що визначають хід характеристики втрат потужності на корону в умовах дощу, точно так, як і це було для гарної погоди.

Для області місцевої корони $U/U_{од} < 1$ має місце розбіжність окремих характеристик. Серед інших причин цього може мати значення структура дощів (розміри крапель). Від цього залежать міра зміни траєкторії їх падіння і відповідні витрати потужності, які завжди за рахунок сил електричного поля мають місце в найближчих околицях дроту, що знаходиться під напругою. Від розмірів крапель у зв'язку з відмінністю траєкторій їх падіння залежить і коефіцієнт уловлювання дротом крапель дощу, а звідси і інтенсивність вступу води на поверхню дроту і, отже, до деякої міри і інтенсивність корони.

Важливий параметр ліній електропередачі – співвідношення робочої напруги і критичної напруги корони на дротах для умов гарної погоди. Вибір і обґрунтування цього співвідношення власне і є одним з головних завдань обліку корони при проектуванні лінії. Тому представлялося доцільним результуючі розрахункові характеристики середніх втрат потужності на корону при дощі дати у вигляді залежностей від відношення робочої напруги до критичної напруги корони для умов гарної погоди - відносного перенапруження гарної погоди [6].

$$n_{хп} = \frac{U_p}{U_{0хп}}, \quad (4)$$

де U_p – робоча напруга лінії;

$U_{0хп}$ – критична напруга корони, що визначається за допомогою формули Піку при коефіцієнті гладкості дротів, рівному одиниці.

Для різних величин $n_{хп}$ на підставі узагальненої залежності коефіцієнта погоди для дощу n_d (рис. 4) можуть бути знайдені дійсні перенапруження при цих рівнях робочої напруги для дощу будь-якої інтенсивності.

Узагальнена функція розподілу для відносних інтенсивностей дощу при відомій кількості опадів H , мм, і їх сумарній тривалості h , тобто при заданій середній інтенсивності дощу за період дощів:

$$J_{cp} = \frac{H}{h}. \quad (5)$$

Ця формула дозволяє визначити відносну тривалість дощу $\Delta h_i/h$ для інтервалів інтенсивностей від J_i до J_{i+1} . Кожному інтервалу відповідає своє середнє значення інтенсивності.

Втрати потужності і енергії на корону за умови снігу. Аналіз великої кількості метеорологічних спостережень про інтенсивності дощу і снігу показав, що узагальнені функції розподілу інтенсивностей цих видів атмосферних явищ практично співпадають. Таким чином, для розрахункового визначення втрат енергії на корону під час снігу в якості однієї з узагальнених початкових характеристик може бути використана крива на (рис. 5)

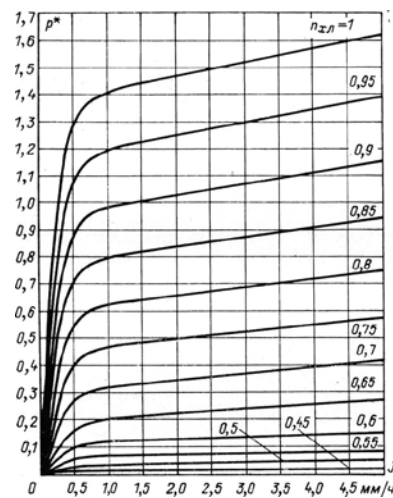


Рис. 5. Залежності втрат потужності на корону у відносних одиницях від інтенсивності дощу для різних $n_{хп}$

Аналіз зредукованих характеристик втрат потужності на корону в умовах снігу показує, що, як і у разі дощу, для приведення у відповідність розрахункових і досвідчених значень коефіцієнта b_p необхідно приблизно в два рази зменшити (в порівнянні з умовами гарної погоди) величину рухливості носіїв заряду, тобто приймати її рівною $1-1,1 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

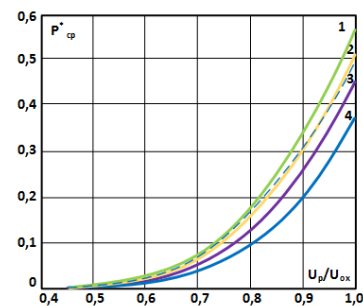


Рис. 6. Залежності середніх значень втрат потужності на корону у відносних одиницях від $U_p/U_{ок}$ для різних середніх значень інтенсивності снігу:
1 – $J = 0,25$ мм/год; 2 – $J = 0,2$ мм/год; 3 – $J = 0,15$ мм/год;
4 – $J = 0,1$ мм/год

Розрахункові криві залежності безрозмірних середніх втрат потужності на корону під час снігу для чотирьох значень середньої інтенсивності снігу від $n_{\text{хл}}$ дані на (рис. 6). Набуті при розрахунках значення середньої інтенсивності снігу відповідають діапазону інтенсивності, визначеному за даними метеостанцій. Слід зазначити, що середньорічні інтенсивності снігу виявляються істотно нижче за середньорічні інтенсивності дощу.

Втрати енергії на корону змінного струму при поганій погоді інших видів. До збільшення рівня втрат потужності і енергії на корону на дротах ліній електропередачі високої напруги призводить не лише дощ і сніг, але і ряд інших атмосферних явищ: підвищена вологість повітря, туман, паморозь, іній і ожеледь. За відсутності видимих опадів і нормальній експлуатаційній напрузі корона на дротах ліній високої напруги існує лише в окремих точках дротів, де на їх поверхні є які-небудь неоднорідності (подряпини, вибоїни і т. п.).

Як показують лабораторні спостереження і фотографії коронуючих ліній, в цих умовах на неоднорідностях в позитивні напівперіоди напруги існує стримерна корона. Початкова напруга загальної корони за наявності на поверхні дроту окремих неоднорідностей, на яких утворюється так звана місцева корона, знижується завдяки дії об'ємного заряду (утворюваного місцевою короною) на частини поверхні дроти, розташовані в околицях неоднорідностей. Це дія об'ємного заряду, утвореного в попередній напівперіод зміни напруги, зводиться, як відомо, до посилення поля на поверхні дроту в цей напівперіод, що може призвести до виникнення корони і на частинах поверхні дроту, прилеглих до неоднорідностей.

Виходячи з вище викладеного, а також враховуючи відсутність необхідних узагальнених характеристик для туману, як і для випадку підвищеної вологості повітря, можна стверджувати, що визначення рівня втрат потужності і енергії на корону доки можливо тільки експериментально [7]. Аналогічне положення має місце і для ряду інших атмосферних явищ, що відносяться до поганої погоди. Наприклад, для вологого снігу відсутні які-небудь дані, необхідні для отримання залежності коефіцієнта погоди від інтенсивності опадів. Це пов'язано з тим, що при мокрому снігу на дротах можуть бути шари, що осіли, і істотно відрізняються по структурі, товщині і часу існування від обложених шарів у разі дощу і сухого снігу.

Невизначеним є також вплив інтенсивності наземних опадів – інею, паморозі і ожеледі – на коронування ліній. Відсутні функції розподілу інтенсивності відкладення цих видів опадів і тим більше залежності коефіцієнта погоди від інтенсивності. Єдина характеристика, яку нині можна визначити за експериментальними даними для корони при вказаних видах наземних опадів (в першу чергу для паморозі), – це узагальнена характеристика втрат потужності на корону.

Побудована за даними вимірів на ряду експериментальних ліній, вона наведена на рис. 7. Характеристики отримані також і на різних дротах, типи яких вказані в табл. 1, номери рядків якої

відповідають номерам кривих (рис. 7). Для характеристик 6–10 невідомі значення щільності повітря, тому для них умовно взято $\delta > 1$, оскільки для рівнинних районів в умовах паморозі відносна щільність повітря зазвичай складає 1,07–1,14 [8].

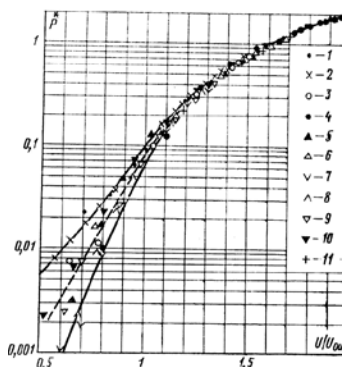


Рис. 7. Узагальнена характеристика втрат потужності на корону для умов паморозі (до табл. 1)

Таблиця 1 – Значення щільності повітря за умов паморозі для різних типів дроту (рис. 7)

Крива на рис. 7	Дріт	δ
1	АС-150	0,99
2	АС-150	0,997
3	АСУ-300	0,822
4	АСУ-300	0,878
5	АСУ-300	0,912
6	АСУ-400	> 1
7	2хАСУ-400/300	> 1
8	2хАСО-330/400	> 1
9	3хАСУ-400/400	> 1
10	4хАСО-700/600	> 1
11	3хАСО-700/1000	1,06

Розглянуті характерні особливості різних видів поганої погоди показують, що погіршення погоди такі як дощ, сніг, туман паморозь, іній призводить до зміни режимів коронного розряду і, як наслідок, до збільшення струму коронного розряду, тобто збільшення енергії, яку споживає коронний розряд, і збільшення енергії генерованої гармонійної складової в сигналі струму.

Висновки. Самим розповсюдженим явищем в енергетичній системі є явище коронного розряду, яке не тільки призводить до не зворотних втрат електричної енергії, але й є джерелом генерації гармонійних складових в параметрах режиму. До того ж коронний розряд має ще й позитивний зворотній зв'язок. Наявність гармонійної складової в сигналі струму стимулює виникнення коронного розряду, і в той же час коронний розряд є джерелом гармонійних складових.

З аналізу літератури показано, що потужність коронного розряду залежить не тільки від параметрів мережі, але й від зовнішніх факторів, таких як дощ, сніг, паморозь, туман, іній. Показано, що потужність втрат на корону залежить від погіршення погодних умов. Відповідно і гармонійна складова в сигналі струму, що генерується коронним розрядом, залежить від цих умов. Тому боротьба з коронним розрядом переходить від зменшення збитків від втрат потужності під час роботи енергетичного комплексу

на інший напрям. І напрям цей покращення показників якості електричної енергії.

Список літератури

1. VI всероссийский электротехнический съезд. *Городское дело*. 1911. № 5. С. 451–457.
2. Богданова Н. Б. Вопросы короны на линиях 400 кВ. Потери на корону на линиях 400 кВ. *Изв. АН СССР, ОТИ*. 1951. № 2. С. 238–252.
3. Robertson L. M., Shankle D. F., Smith I. C., Nell I. E. Corona loss investigation. *Power Apparatus and System*. 1961. No. 57. P. 725–732.
4. Левитов В. И. Потери энергии на корону при дожде. *Электроэнергетика*. 1962. № 6. С. 113–121.
5. Кравченко В. Д., Левитов В. И., Попков В. И. Об измерении потерь мощности на корону на действующих линиях. *Электричество*. 1957. № 7. С. 31–34.
6. Бургсдорф В. В., Егорова Л. А., Емельянов Н. П., Тиходеев Н. И. Корона на воздушных линиях очень высокого напряжения. *Электрические станции*. 1960. № 8. С. 65–72.
7. Левитов В. И., Попков В. И. Методика расчетной оценки уровня потерь мощности и энергии на корону на проводах ЛЭП сверхвысокого напряжения. *Энергетика и транспорт*. 1968. № 1. С. 66–78.
8. Nigol O., Casson I. G. Corona loss research an Ontario Hydro Celdwater Project. *Power Apparatus and Systems*. 1961. No. 54. P. 4–8.
9. Гриб О. Г., Карпалюк І. Т. Визначення наявності коронного розряду акустичним методом з метою зменшення його впливу на якість електропостачання. *Промислова енергетика та електротехніка*. 2021. № 3. С. 20–31.
10. Гриб О. Г., Карпалюк І. Т., Швець С. В., Запорожець А. С. Розпізнавання наявності коронного розряду акустичним комплексом встановленим на безпілотному літальному апараті. *Вісник Національного Авіаційного Університету*. 2020. № 85. С. 46–53.
11. Сокол С. І., Карпалюк І. Т., Гриб О. Г., Запорожець А. О. та ін. *Визначення коронного розряду в електричних мережах із застосуванням безпілотних літальних апаратів з метою підвищення якості електропостачання: монографія*. Харків: ФОП Бровін О. В. 2021. 322 с.
12. Gryb O. G., Karpaliuk I. T., Zaporozhets A. O., Shvets S. V., Rudevich N. V. Acoustic Diagnostics for Determining the Appearance of Corona Discharge. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2021. P. 127–157.
2. Bogdanova N. B. Voprosy korony na liniyakh 400 kV. Poteri na koronu na liniyakh 400 kV [Questions of the crown on the lines of 400 kV. Corona losses on 400 kV lines]. *Изв. АН СССР, ОТИ*. 1951. no. 2, pp. 238–252.
3. Robertson L. M., Shankle D. F., Smith I. C., Nell I. E. Corona loss investigation. *Power Apparatus and System*. 1961, no. 57, pp. 725–732.
4. Levitov V. I. Poteri energii na koronu pri dozhdе [Energy loss to corona during rain]. *Elektroenergetika*. 1962, no. 6, pp. 113–121.
5. Kravchenko V. D., Levitov V. I., Popkov V. I. Ob izmerenii poter' moshchnosti na koronu na deystvuyushchikh liniyakh [On measuring corona power losses on operating lines]. *Elektrichestvo*. 1957, no. 7, pp. 31–34.
6. Burgsdorf V. V., Egorova L. A., Emel'yanov N. P., Tikhodeev N. I. Korona na vozdushnykh liniyakh ochen' vysokogo napryazheniya [Corona on very high voltage overhead lines]. *Elektricheskie stantsii*. 1960, no. 8, pp. 65–72.
7. Levitov V. I., Popkov V. I. Metodika raschetnoy otsenki urovnya poter' moshchnosti i energii na koronu na provodakh LEP sverkhvysokogo napryazheniya [Methodology for calculating the level of power and energy losses per corona on EHV transmission lines]. *Energetika i transport*. 1968, no. 1, pp. 66–78.
8. Nigol O., Casson I. G. Corona loss research an Ontario Hydro Celdwater Project. *Power Apparatus and Systems*. 1961, no. 54, pp. 4–8.
9. Hryb O. H., Karpalyuk I. T. Vyznachennya nayavnosti koronnoho rozryadu akustychnym metodom z metoyu zmenshennya yoho vplyvu na yakist' elektropostachannya [Determination of the presence of corona discharge by acoustic method in order to reduce its impact on the quality of power supply]. *Promyslova enerhetyka ta elektrotehnika*. 2021, no. 3, pp. 20–31.
10. Hryb O. H., Karpalyuk I. T., Shvets' S. V., Zaporozhets' A. S. Rozpiznavannya nayavnosti koronnoho rozryadu akustychnym kompleksom vstanovlenym na bezpilotnomu lital'nomu aparati [Recognition of the presence of a corona discharge by an acoustic complex installed on an unmanned aerial vehicle]. *Visnyk Natsional'noho Aviatsiynoho Universytetu*. 2020, no. 85, pp. 46–53.
11. Sokol Ye. I., Karpalyuk I. T., Hryb O. H., Zaporozhets' A. O. Etc. *Vyznachennya koronnoho rozryadu v elektrychnykh mrezhakh iz zastosuvanniam bezpilotnykh lital'nykh aparativ z metoyu pidvyshchennya yakosti elektropostachannya* [Determination of corona discharge in electrical networks using unmanned aerial vehicles in order to improve the quality of electricity supply]. Kharkiv, FOP Brovin O. V. Publ., 2021. 322 p.
12. Gryb O. G., Karpaliuk I. T., Zaporozhets A. O., Shvets S. V., Rudevich N. V. Acoustic Diagnostics for Determining the Appearance of Corona Discharge. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2021, pp. 127–157.

References (transliterated)

1. VI vserossiyskiy elektrotekhnicheskii "s"ezd [VI All-Russian Electrotechnical Congress]. *Gorodskoe delo*. 1911, no. 5, pp. 451–457.

Надійшла (received) 05.10.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гриб Олег Герасимович (Гриб Олег Герасимович, Hryb Oleh) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4758-8350>; e-mail: oleg47gryb@gmail.com

Карпалюк Ігор Тимофійович (Карпалюк Игорь Тимофеевич, Karpaliuk Ihor) – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5634-6807>; e-mail: humpway@gmail.com

Ганон Дмитро Анатолійович (Ганон Дмитрий Анатольевич, Gapon Dmitriy) – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8609-9707>; e-mail: dima12345go@gmail.com

Рудевич Наталія Валентинівна (Рудевич Наталья Валентиновна, Rudevich Nataliia) – доктор педагогічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2858-9836>; e-mail: n.rudevich@ukr.net

Дем'яненко Роман Ігорович (Демьяненко Роман Игоревич, Demianenko Roman) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0902-2607>; e-mail: romademianenko@ukr.net