

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Електророзрядна технологія – перспективний шлях одержання гумінових речовин / Т. Д. Денисюк, О. М. Рачков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 19-23. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0740.

Электроразрядная технология – перспективный путь получения гуминовых веществ / Т. Д. Денисюк, А. Н. Рачков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 19-23. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0740.

Electric cooking technology is a perspective method of humic substances making / T. D. Denisyuk, A. N. Rashkov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 36 (1208). – С. 19-23. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-0740.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Денисюк Тетяна Дмитрівна – молодший науковий співробітник Інституту імпульсних процесів і технологій Національної академії наук України, м. Миколаїв; тел. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.ipt@com.ua.

Денисюк Татьяна Дмитриевна – младший научный сотрудник Института импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины, г. Николаев; тел. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.ipt@com.ua.

Denisyuk Tatiana – Junior Researcher at the Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv; tel. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.ipt@com.ua.

Рачков Олексій Миколайович – молодший науковий співробітник Інституту імпульсних процесів і технологій Національної академії наук України, м. Миколаїв; тел. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.ipt@com.ua.

Рачков Алексей Николаевич – младший научный сотрудник Института импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины, г. Николаев; тел. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.ipt@com.ua.

Rashkov Alexey – Junior Researcher at the Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv; tel. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.ipt@com.ua.

УДК 551.594.21:62:781

А.В. ЖУРАХІВСЬКИЙ, І.В. ЛІЩАК, Т.В. БІНКЕВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МИТТЄВОГО ЗНАЧЕННЯ РОБОЧОЇ НАПРУГИ НА ОЦІНКУ НАДІЙНОСТІ ГРОЗОЗАХИСТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

Розглянуто існуючі моделі врахування миттєвого значення робочої напруги під час розрахунку грозостійкості ліній електропередачі та обґрунтовано необхідність врахування впливу робочої напруги. Запропоновано новий метод врахування робочої напруги, який забезпечить адекватну відповідність природнім процесам під час врахування робочої напруги. Проведено розрахунок запропонованим методом на прикладі лінії електропередачі напруга якої становить 220 кВ та виконана проміжними опорами типу П – 220 – 2. Побудовано діаграми розподілу кутів пробоя для різних фаз лінії електропередачі та криві небезпечних параметрів.

Ключові слова: лінія електропередачі, надійність грозозахисту, робоча напруга, крива небезпечних параметрів, випадкові фактори, ймовірність пробоя ізоляції.

Рассмотрены существующие модели учета мгновенного значения рабочего напряжения при расчете грозостойкости линий электропередачи и обоснована необходимость учета влияния рабочего напряжения. Предложен новый метод учета рабочего напряжения, который обеспечит адекватное соответствие естественным процессам во время учета рабочего напряжения. Проведен расчет предложенным методом на примере линии электропередачи напряжение которой составляет 220 кВ и выполненной промежуточными опорами типа П - 220 - 2. Построены диаграммы распределения углов пробоя для различных фаз линии электропередачи и кривые опасных параметров.

Ключевые слова: линия электропередачи, надежность грозозащиты, рабочее напряжение, кривая опасных параметров, случайные факторы, вероятность пробоя изоляции.

The existing model of accounting instantaneous operating voltage when calculating lightning protection of transmission lines and the necessity of taking into account the influence of the operating voltage is considered. It is proposed a new method of working voltage, which will ensure adequate compliance with the natural processes during the operating voltage. It is conducted the calculation of the proposed method by the example of the power line voltage which is 220 kV and intermediate supports made of type II - 220 - 2. It is built breakdown angle distribution diagrams for the various phases of the transmission line parameters and dangerous curves. After analyzing dangerous curves the proposed method increases the area of safety parameters in comparison with existing methods.

Keywords: transmission line, reliability of lightning protection, power supply, dangerous curve parameters, random factors, the probability of insulation breakdown

Вступ. Ефективність функціонування електроенергетичних систем залежить від багатьох факторів, в тому числі від грозозахисту їх об'єктів, в першу чергу ліній електропередавання і підстанцій. Лінії електропередавання є досить важливими об'єктами енергосистем, оскільки ними відбувається пересилання електричної енергії споживачам. Тому вони повинні бути надійно захищеними від впливу зовнішніх факторів, в тому числі від атмосферних перенапруг.

Надійність грозозахисту повітряних ліній електропередавання та підстанцій тим вище, чим менше кількість аварійних відключень через грози за певний період часу. Характерною особливістю об'єктів електроенергетичних систем є повне відновлення їх захисних властивостей після ліквідації аварій, викликаних грозою. Тому тут немає тимчасової корекції грозових пошкоджень і їх інтенсивність визначається тільки частотою грозових впливів і здатністю об'єкта протистояти кожному удару блискавки.

Основна частина. В момент розряду блискавки на ізоляцію повітряної лінії електропередавання (гірлянди ізоляторів та повітряні проміжки) діє перенапруга. Електричні, електромагнітні та магнітні складові цієї перенапруги залежать від конструктивних параметрів опори, опору заземлення опори та від крутизни наростання струму на фронті імпульсної хвилі струму блискавки. Для електричних мереж середнього, високого та надвисокого класів напруг значний вплив має також миттєве значення робочої напруги u_0 в момент розряду блискавки.

Згідно з [1] приймається, що в момент удару блискавки, на проводі наявна робоча напруга, протилежна по знаку імпульсній напрузі на опорі, яка збільшує величину перенапруги та сприяє перекриттю ізоляції. Перекриття виникає за умови, коли сума імпульсних і робочого значення напруги проводу досягає розрядної напруги лінійної ізоляції, яка визначається вольт – секундною характеристикою для розрядів на фронті імпульсу перенапруги, тобто коли:

$$U_{им}(t) + u_0(\varphi) \geq U_{розр}^+(t). \quad (1)$$

Під час врахування миттєвого значення u_0 робочої напруги лінії електропередавання в момент розряду блискавки здійснюються деякі спрощення. В існуючих моделях вплив напруги u_0 на ймовірність порушення грозостійкості об'єктів еквівалентують шляхом збільшення напруги на ізоляції $u(t)$, розрахованої без врахування робочої напруги, на величину $u_{ср}$ – середнього за півперіод значення фазної робочої напруги. Відповідно до [2] $u_0 = 0,655 \cdot u_{роб.нб}$. Такий спосіб врахування u_0 є штучним, можливість такого врахування не оцінювалась.

Для забезпечення адекватної відповідності природним процесам, під час врахування робочої напруги, у випадку розміщення траверс на різній висоті, слід досліджувати перекриття ізоляційних проміжків не лише для верхньої (геометрично) фази, а й для інших фаз (середньої та нижньої). Досвід експлуатації стверджує, що біля 35 % зворотних перекриттів виникають на нижніх фазах. Під час удару блискавки в опору ЛЕП, фази якої мають різну висоту підвісу проводів,

значення функції $u(t)$ завжди є найбільшим для ізоляції верхньої фази. Очевидно, що перекриття ізоляції нижніх фаз стає можливим, якщо миттєве значення u_0 робочої напруги на одній з цих фаз разом з напругою на ізоляції $u(t)$ за удару блискавки в опору викликають напругу $u'_c(t)$ або $u'_н(t)$, яка буде більшою ніж відповідна напруга $u_c(t)$. Отже, робоча напруга викликає перерозподіл перекриттів між фазами, збільшує їх кількість і таким чином знижує грозостійкість об'єкта.

Нами запропонований наступний спосіб врахування впливу напруги u_0 . Розділимо період зміни миттєвого значення робочої напруги на n інтервалів. Збільшення кількості інтервалів поділу збільшує час розрахунку, але й підвищує точність розрахунку. Вибір кількості інтервалів має бути коректно обґрунтованим. Розрахуємо для всіх n інтервалів миттєве значення робочої напруги u_0 , напруги на ізоляції $u'(t) = u_0 + u(t)$ та ймовірність $p(u')$ для кожної із трьох фаз. Якщо для m інтервалів $p(u)' = 1$ хоча б для однієї з фаз, то ймовірність порушення міцності ізоляції об'єкта з врахуванням впливу робочої напруги $p(u, u_0)$ буде рівна відношенню m/n . При цьому можна визначити також ймовірність перекриття ізоляції в кожній фазі окремо.

Викладені вище міркування відобразимо під час виконання розрахунків на прикладі ЛЕП, напруга якої становить 220 кВ, яка виконана опорами типу П–220–2.

Розділяємо період робочої напруги $u_0 = u_{роб}$ на 9 інтервалів та визначаємо її значення в кожному інтервалі за формулою:

$$u_{роб_i} = u_{роб.нб} \cdot \cos \left[(n-i) \cdot \Delta\varphi + \frac{\Delta\varphi}{2} \right], \quad (2)$$

де $u_{роб}$ – значення найбільшої робочої напруги; n – кількість інтервалів поділу; i – номер інтервалу; $\Delta\varphi$ – градусна міра відповідного сектору.

Рівняння, яке визначає можливість перекриття ізоляційних проміжків має вигляд:

$$U_{ВСХ}(t_i) = A_i \cdot f(t_i) + U'_{роб}, \quad (3)$$

де A_i – крутизна фронту блискавки для i -го часу фронту блискавки; $U'_{роб} = 0,655 \cdot U_{роб.нб}$ – емпіричне значення робочої напруги; $f(t_i)$ – закон розподілу часу фронту блискавки для i -го інтервалу.

За формулами [1] обчислюємо закони розподілу часу фронту блискавки – залежності $f_a(t_i)$, $f_c(t_i)$, $f_n(t_i)$. Результати розрахунків закону розподілу часу фронту блискавки відображено на рис. 1.

Алгоритм розрахунку ймовірностей $p(u, u_0)$ для ЛЕП базується на використанні n -кратного інтегралу по області D від щільності розподілу $f(\vec{x})$ n -мірного вектора $\vec{x}$ випадкових величин.

$$p = \oint \dots \oint f(\vec{x}) \prod_{k=1}^n dx_k, \quad (4)$$

де в якості $\vec{x}$ необхідно прийняти вектор випадкових величин, який визначає грозостійкість об'єкту, а в якості області D (замкнений контур інтегралу) – область значень цих величин, за яких настає порушення міцності ізоляції (область небезпечних параметрів).

У відповідності з наведеним виразом (4) для ймовірності p порушення міцності ізоляції при одному

ударі блискавки і випадкових значеннях всіх величин, які визначають надійність грозозахисту об'єкта з метою реалізації чисельного інтегрування, представимо у вигляді:

$$p = \sum_{x_n} \Delta F(x_n) \dots \sum_{x_2} \Delta F(x_2) \cdot \sum_{x_k} \Delta F(x_k) = \prod_{k=1}^n \sum_{x_k} \Delta F(x_k), \quad (5)$$

де $\Delta F(x_k)$ – імовірність попадання k -ї випадкової величини в заданий інтервал, яка відповідає значенню функції розподілу $F(x_k)$ по краях заданого інтервалу.

Чисельно інтегрування згідно з (5) реалізується шляхом варіювання величини x_k по елементах Δx_k , які належать до області небезпечних параметрів. Формула (5) справедлива для незалежних випадкових величин, проте її можна застосовувати для корельованих величин, якщо використовувати умовні закони розподілу.

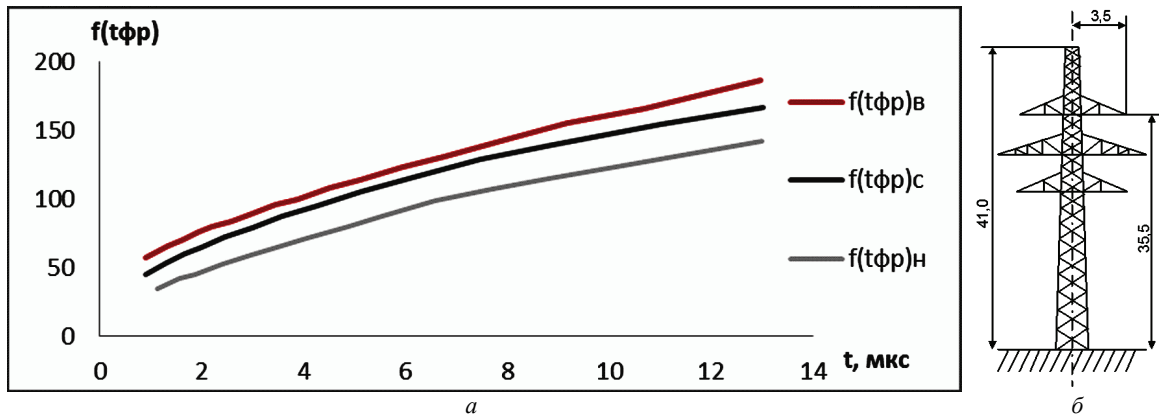


Рисунок 1 – Закон розподілу часу фронту блискавки для трьох фаз (а); ескіз опори типу П-220-2 (б)

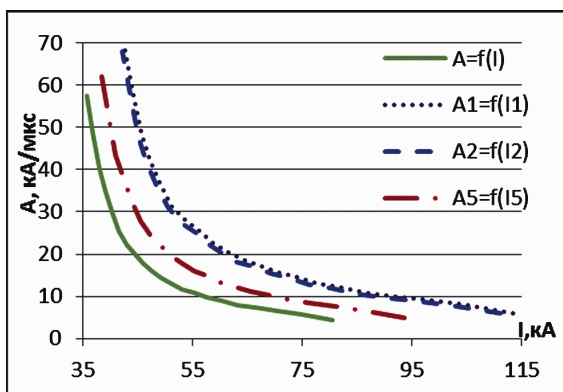


Рисунок 2 – КНП для 1,2 та 5 інтервалів та КНП при врахуванні середнього за півперіод значення фазної робочої напруги

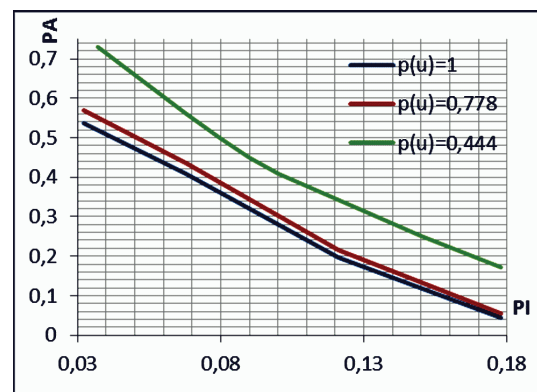


Рисунок 3 – КНП для 1,2 та 5 інтервалів та КНП за врахування середнього за півперіод значення фазної робочої напруги побудовані в ймовірнісних координатах

Виділимо з координат вектора $\vec{x}$ величини, які формують на ізоляції об'єкта перенапругу $u(t)$ випадкової форми. Це параметри хвилі струму блискавки I, A, τ , миттєві значення робочої напруги u_0 в момент розряду блискавки, віддалення l місця удару блискавки від об'єкта який захищається, відстань b від місця удару блискавки в землю до осі лінії, яке враховується при взаємодії індукованих напруг. Згрупуємо їх в окремий вектор і запишемо формулу наступним чином:

$$p = \sum_l \Delta F(l) \cdot \sum_b \Delta F(b) \cdot \sum_I \Delta F(I) \cdot \sum_A \Delta F(A) \cdot \sum_\tau \Delta F(\tau) \times = \times p(u, u_0). \quad (6)$$

Під час виконання розрахунків за врахування реального значення u_0 достатньо враховувати лише три випадкових фактори: I, A, u_0 . Враховуючи твердження, що перекриття ізоляційного проміжку (гірлянди) відбувається на фронті хвилі, амплітуда та крутизна

фронту хвилі струму блискавки пов'язані залежністю $I = A_i \cdot t_{\phi p_i}$ формулу (6) можна записати у вигляді:

$$p = \sum_A \Delta F(A) \cdot p(u, u_0). \quad (7)$$

Для вибраних значеннях A_i беремо значення u_0 для найнесприятливішого випадку, коли u_0 зменшує величину перенапруги прикладеної до ізоляційного проміжку (гірлянди ізоляторів). Для прискорення розрахунків можна використати формулу:

$$A_i = \frac{U_{BCX}(t_i) - u_{0i}}{f(t_i)}. \quad (8)$$

Звідси для найнесприятливішого значення u_0 (для кутів 170° або 190°) визначаємо A_i . За таких значень A_i та u_0 (для кутів 170° або 190°) перекриття ізоляційного проміжку становить 100 %. Змінюємо значення u_0 і визначаємо чи за таких значень A_i є можливим перекриття ізоляційного проміжку на середній та нижніх фазах. Після розрахунку масиву значень A_i отримуємо

сімейство кривих та будуюмо криву небезпечних параметрів (рис. 2).

Ймовірність перекриття для цього значення A_i знаходимо як відношення m/n . Массив розрахованих значень A_i перетворюємо в ймовірнісні значення та розраховуємо значення I_i для побудови КНП в ймовірнісних координатах. Розраховуємо значення площ обмежених сімейством кривих та осями для розрахунку загальної ймовірності перекриття ізоляції

$$p = \sum S_{p_i} \cdot p_i = 0,0575 \cdot 1 + 0,0065 \cdot 0,788 + 0,0325 \cdot 0,444 = 0,077$$

Результати розрахунків відтворюємо у вигляді діаграм (рис. 4) на яких відображено розподіл кутів пробую для кожного проводу. Діаграма відтворює період робочої напруги, який поділено на n інтервалів та містить вектори фаз відносно яких розподілено сектори поділу для кожної з фаз. Сектори симетричні відповідно до вектора

конкретної фази для руху за і проти годинникової стрілки. На рис. 4, а відображено можливий розподіл пробитих секторів фаз. На рис. 4, б відображено розподіл пробитих секторів для $A_i = 7,14$ кА/мкс за якого верхня фаза пробивається в 4-9 секторах, середня в 7-9 секторах та нижня у 8-9 секторі. За такого розподілу ймовірність перекриття становитиме 0,94. На рис. 4, в відображено розподіл пробитих секторів для $A_i = 5,905$ кА/мкс за якого верхня фаза пробивається в 2-9 секторах, середня в 8-9 секторах та нижня у 8-9 секторі. За такого розподілу ймовірність перекриття становитиме 0,88. На рис. 4, г відображено розподіл пробитих секторів для $A_i = 5,667$ кА/мкс за якого верхня фаза пробивається в 3-9 секторах, середня в 8-9 секторах та нижня у 9 секторі. За такого розподілу ймовірність перекриття становитиме 0,83.

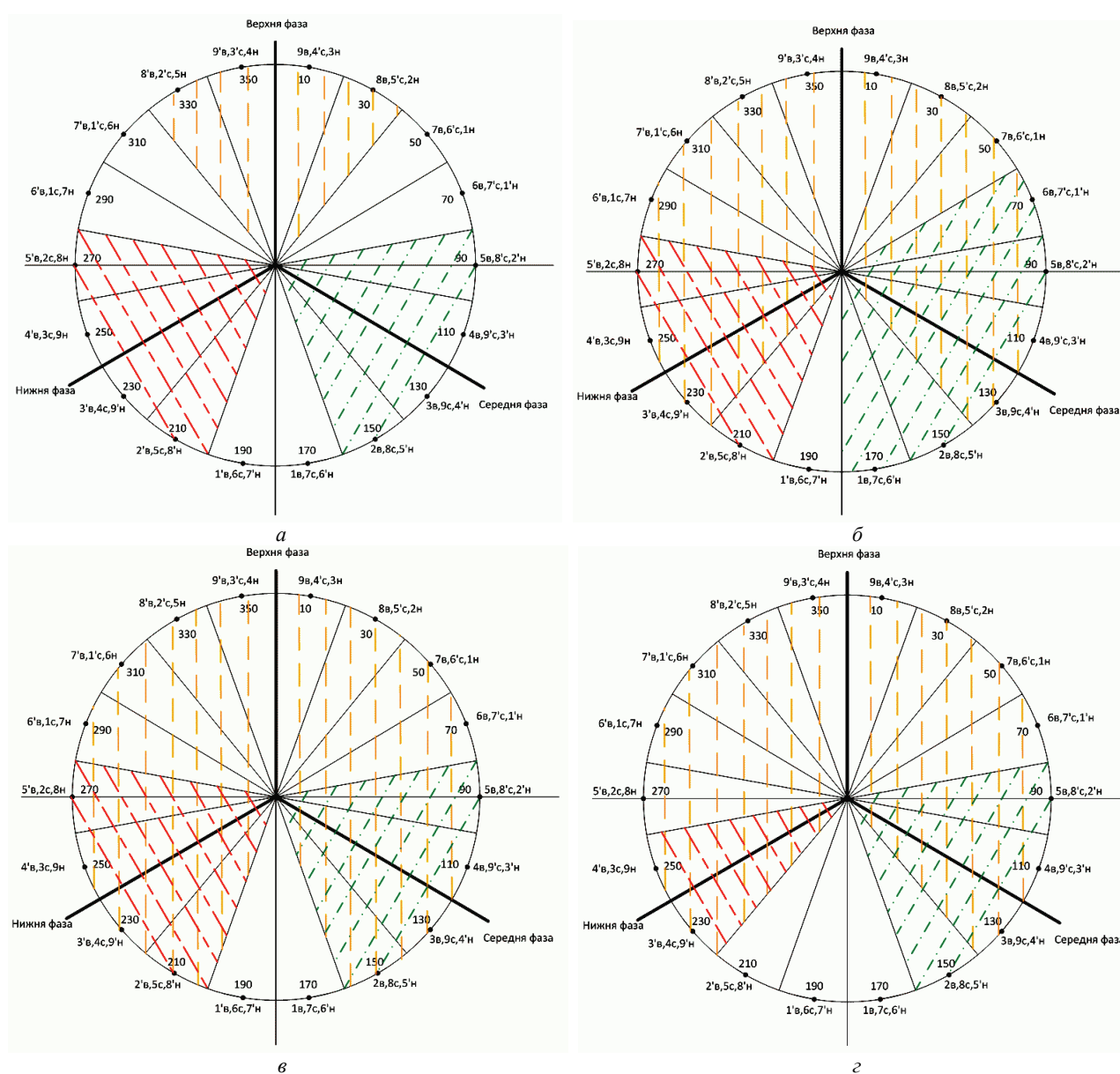


Рисунок 4 – Діаграми розподілу кутів пробую для різних проводів ЛЕП

Висновки. В статті розглянуто існуючі моделі врахування миттєвого значення робочої напруги при розрахунку грозостійкості ліній електропередавання

та обґрунтовано необхідність врахування впливу робочої напруги. Для забезпечення адекватної відповідності природним процесам під час врахування робочої

напруги запропоновано новий метод врахування робочої напруги. Проведено розрахунок запропонованого методу на прикладі лінії електропередавання напруга якої становить 220 кВ та виконана проміжними опорами типу П – 220 – 2. Результатами проведених досліджень є побудова діаграми розподілу кутів пробою для різних проводів лінії електропередавання та кривих небезпечних параметрів в різних координатах. Аналізуючи КНП в абсолютних одиницях варто зазначити, що використання запропонованого методу збільшує площу безпечних параметрів в порівнянні з існуючими методиками та зменшує ймовірність перекрытия ізоляції.

Список літератури

1. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений / Под науч. ред. акад. РАН Н.Н.Тиходеева. 2-е изд. СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.
2. Передача энергии постоянным и переменным током // Труды НИИПТ. – Л.: «Энергия», Ленинградское отделение, 1985. – Выпуск 21-22. – С. 172-191.
3. Лишчак І. В. Оцінка надійності схем грозозахисту повітряних ліній електропередавання / І. В. Лишчак, Т. В. Бінкевич // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка». – 2014. – № 736.
4. Інструкція із застосування, монтажу та експлуатації засобів захисту від перенапруг в електроустановках напругою 6-750 кВ. – Київ, 2013.
5. Tarasiewicz E. Transmission line arrester energy, cost and risk of failure analysis for partially shielded transmission lines / E. Tarasiewicz, F. Rimmer, A. Morched // IEEE Trans. Power Delivery. – July 2000. – Vol. 15. – P. 919-924.
6. Hileman A. R. Insulation Coordination for Power Systems // A. R. Hileman // CRC Press, USA. – 2002.

7. Vernon Cooray Lightning Protection // The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2010.

8. Правила улаштування електроустановок : вид. 3, перероб. і доп. – Київ, Мінпаливенерго України, 2010. – С. 736.

9. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів // Міністерство палива та енергетики України. – Х.: Видавництво «Форт», 2012. – 368 с.

Bibliography (transliterated)

1. Rukovodstvo po zashchite elektrycheskykh setey 6-1150 kV ot hrozovykh y vnutrennykh perenapryazheniy / Pod nauch. red. akad. RAN N.N.Tykhodeeva. 2-e yzd. SPb: PÉYPK Myntopénerho RF, 1999.
2. Trudy NYYPT, Peredacha énerhiy postoyannym y peremennym tokom. Vypusk 21-22, Énerhiya, Lenynhradskoe otdeleniye, 1985, pp. 172-191.
3. Lishchak I. V., Binkevych T. V. Otsinka nadiynosti skhem hrozozakhystu povitryanykh liniy elektroperepylyannya. Visn. Nats. un-tu "L'viv. politekhnika", 2014, No 736.
4. Instruktziya iz zastosuvannya, montazhu ta ekspluatatsiyi zasobiv zakhystu vid perenapruh v elektroustanovkakh napruhoiu 6-750 kV. Kyiv, 2013.
5. Tarasiewicz E., Rimmer F., Morched A. Transmission line arrester energy, cost and risk of failure analysis for partially shielded transmission lines. IEEE Trans. Power Delivery, July 2000, vol. 15, pp. 919-924.
6. Hileman A. R. Insulation Coordination for Power Systems. CRC Press, USA, 2002.
7. Vernon Cooray Lightning Protection. Published by The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2010.
8. Pravyla ulashtuvannya elektroustanovok. vyd.3, pererob. i dop. Minpalyvenerho Ukrayiny, Kyiv, 2010, pp. 736.
9. Pravyla tekhnichnoyi ekspluatatsiyi elektroustanovok spozhyvachiv. Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrayiny, Kharkiv: Vydavnytstvo «Fort», 2012, 368 p.

Надійшло (received) 10.10.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження впливу миттєвого значення робочої напруги на оцінку надійності грозозахисту повітряних ліній / А.В. Журахівський, І.В. Лішчак, Т.В. Бінкевич // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 23-27. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0740.

Исследование влияния мгновенного значения рабочего напряжения на оценку надежности грозозащиты воздушных линий / А.В. Жураховский, И.В. Лишчак, Т.В. Бинкевич // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 23-27. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0740.

Research of influence of the instantaneous value of the operating voltage to the evaluation of these liability of lightning protection of overhead lines / A.V. Zhurakhovskiy, I.V. Lishchak, T.V. Binkevych // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 36 (1208). – С. 23-27. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0740.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Журахівський Анатолій Валентинович – доктор технічних наук, професор Національного університету «Львівська політехніка».

Жураховский Анатолий Валентинович – доктор технических наук, профессор Национального университета «Львівська політехніка».

Zhurakhivskiy Anatolii Valentynovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Lviv Politechnic National University.

Лишчак Игорь Владимирович – провідний спеціаліст, Національний університет «Львівська політехніка».

Лишчак Игорь Владимирович – ведущий специалист, Национальный университет «Львівська політехніка».

Lishchak Ihor Volodymyrovych – Leading Specialist, Lviv Politechnic National University.

Бінкевич Тарас Володимирович – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка»; тел: (093)6974062; e-mail: 0507019417@mail.ru.

Бинкевич Тарас Владимирович – аспирант, Национальный университет «Львівська політехніка»; тел: (093)6974062; e-mail: 0507019417@mail.ru.

Binkevych Taras Volodymyrovych – PhD Student, Lviv Politechnic National University; тел: (093)6974062; e-mail: 0507019417@mail.ru