

УДК 621.315.17

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.86269

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ДИНАМІКИ ТА ХАРАКТЕРУ ЗМІНИ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФОРМУВАННЯ ТА РІВЕНЬ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

© І. О. Дудник, Г. В. Константінов

RESEARCH AND IDENTIFICATION OF DYNAMICS AND BEHAVIOUR OF PHYSICAL PARAMETERS AFFECTING THE FORMATION AND LEVEL OF ELECTRICITY LOSSES

© I. Dudnyk, G. Konstantinov

У статті розглядається необхідність аналізу актуальної проблеми електричних втрат, які викликаються змінами атмосферних явищ: температури повітря та опадів. Вони негативно впливають на рівень втрат, що викликає необхідність дослідження проблеми. Наводиться приклад розрахунку втрат залежно від кількості опадів, температурних показників. Далі ці формули можна використовувати для виведення функцій для розрахунку втрат

Ключові слова: втрати, температура, розрахунок, дослідження, повітряні лінії, ЛЕП, атмосферні явища

The article deals with the necessary to analyze the actual problems of electricity losses caused by changes in atmospheric conditions: air temperature and precipitation. They adversely affect the level of loss that necessitates research of the problems. An example of calculating losses based on precipitation and temperature is given. Further, these formulas can be used to display the functions for calculating losses

Keywords: losses, temperature, calculation, research, overhead lines, power lines, atmospheric phenomena

1. Вступ

Передача енергії супроводжується втратами. Один з видів втрат – втрати від тепла. Температура оточуючого середовища та дощ обов'язково впливає на втрати у повітряних ЛЕП. У цій статті розглядається розрахунок втрат у ЛЕП в залежності від зміни температури повітря та опадів.

Зміна фізичних параметрів – атмосферних явищ є головною причиною електричних втрат у повітряних лініях (ПЛ) ліній електропередач (ЛЕП). Але ця проблема предметно не досліджується. Необхідно розглянути залежність рівня втрат в ЛЕП від зміни фізичних параметрів навколишньої середовища, так як це стає причиною не 100 % якості електроенергії, що передається по повітряним ЛЕП.

Одним із головних напрямків розвитку в енергетиці є підвищення ефективності передачі, розподілу електроенергії. Покращення забезпечується завдяки використанню сучасних програмних засобів, устаткування, яке дозволяє перейти від прогнозування до оперативного контролю та дії. Але така проблема, як зміна фізичних параметрів, на сьогодні детально не розглянута. Як наслідок – електричні втрати [1].

Основні види втрат у мережах:

- 1) втрати на власні потреби;
- 2) втрати в компенсаційних пристроях (компенсатори, конденсаторні батареї);
- 3) втрати в проводах ЛЕП та обмотках силових трансформаторів підстанцій;
- 4) втрати на корону проводів ЛЕП.

2. Літературний огляд

У періодичних виданнях є матеріали щодо дослідження електричних втрат. Так Горемікін С. О. та

Корольов М. О. [2] розглядають можливості чіткого контролю втрат та наводять приклади розрахунків. У статті проведений детальний аналіз впливу реактивної енергії та різних типів навантажень на ЛЕП. Або Пацюк В. І [3] розглядає не тільки проблеми передачі енергії у ЛЕП, але й пропонує конкретні шляхи зниження рівня втрат. Мацора В. І. [4] розглядає методи визначення електричних втрат у ЛЕП. Розглянуті методи графічного інтегрування, середньоквадратичного струму та методу найбільших втрат дають можливість більше детально познайомитися зі специфікою розрахунку. Але залежність втрат електроенергії у ЛЕП від зміни показників атмосферних явищ досі не розглядалися авторами ні цих, ні інших статей, тому аналіз проблеми залежності втрат електроенергії у ЛЕП в залежності від температури та опадів є новим та досі не висвітленим.

3. Мета та задачі дослідження

Метою статті є дослідження залежності втрат від атмосферних явищ: температури повітря та опадів. Вирішення цієї проблеми дасть можливість прогнозувати рівень втрат у ЛЕП, створити системи керування навантаженнями та уникнути збитків, які напряму пов'язані з втраченою електричною енергією.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

1. Системний аналіз теоретичного матеріалу по даній проблемі.

2. Виведення формул для розрахунку електричних втрат в залежності від різних атмосферних показників.

3. Розрахунок електричних втрат в залежності від рівня опадів та температури навколишнього середовища.

4. 1. Залежність електричних втрат від рівня опадів

Рівняння втрат на корону під час дощу для ліній 400–700 кВ [12], кВт/км:

$$\sum P = P_{F\mu} + \left[\frac{U}{\sqrt{3}} j r^2 \ln(1 + KR) \right] \sum (E^m), \quad (1)$$

де $P_{F\mu}$ – загальні втрати при гарній погоді, кВт/км; U – міжфазна напруга, кВ; 1 – постійна струму втрат; r – радіус проводу, см; n – загальне число проводів; E – максимальна напруженість на зовнішній стороні кожного проводу, кВ/см; t – показник ступеня, приблизно рівний 5; K – коефіцієнт зволоження; R – інтенсивність дощу, мм / год.

При виведенні рівняння (1) враховувалося, що механізм втрат на корону під час дощу вимагає подальшого вивчення і рівняння може вважатися дійсним лише для тих проводів, результати випробувань яких були використані при виведенні цього рівняння [6].

Дослідження проводилися в певних погодних умовах. Одною з таких умов був сильний дощ (1,27–2,54 см/год), для якого отримана серія розрахункових кривих. Вони отримані в результаті випробувань різних конструкцій з числом проводів в фазі від 1 до 16 і діаметром кожного проводу від 1,1 до 5 см.

Для інших проводів пропонується використовувати метод інтерполяції кривих [7], наведених на рис. 1.

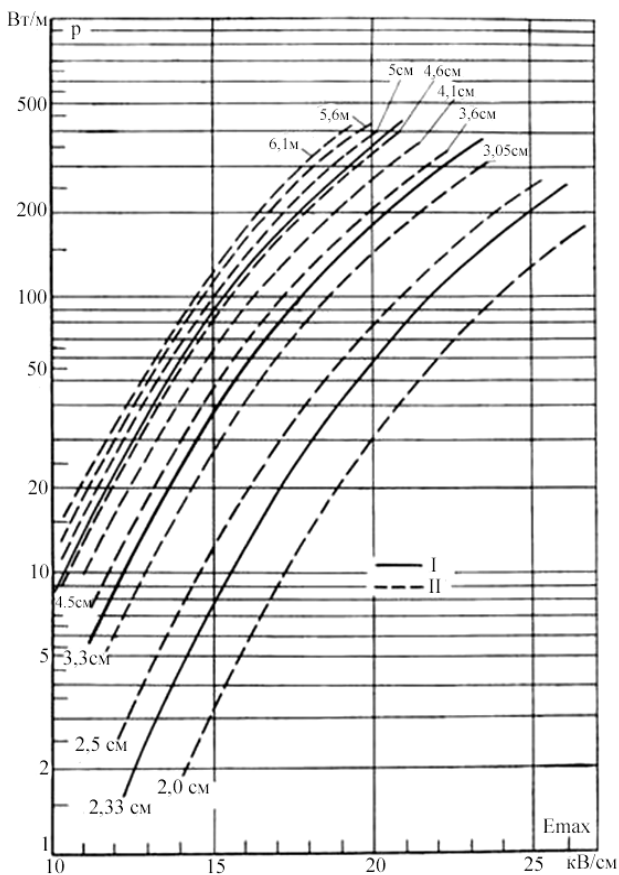


Рис. 1. Залежність ефективних втрат на корону при «сильному дощі» фази з шести проводів різного діаметру від максимальної поверхневої напруженості: I – експериментальні дані; II – інтерполяція і екстраполяція

4. 2. Залежність електричних втрат від температури

При розрахунку втрат електричної енергії в повітряних лініях необхідно враховувати вплив метеорологічних параметрів, особливо коливання температури повітря [8]. На сьогоднішній день в розрахункових моделях використовуються довідкові параметри ЛЕП, які наведені для температури навколишнього повітря 20 °С [9], але температура навколишнього середовища протягом року (і навіть діб) може істотно відрізнятись від цього значення.

Відомі закони, що визначають теплова рівновага між провідником, по якому протікає струм, і параметрами навколишнього середовища. Тепло від нагрітого провідника може передаватися в навколишнє середовище трьома способами:

- а) радіаційний;
- б) теплопровідність;
- в) конвекція [10].

Рівняння теплового балансу для сталого теплового режиму має наступний вигляд:

$$I^2 R_{20} (1 + \alpha(t_{op}^o - 20)) + W_c = \pi d_{op} (\beta_k + \beta_a)(t_{op}^o - t_{nc}^o), \quad (2)$$

де α – температурний коефіцієнт опору проводу, $1 / ^\circ C$; β_k, β_a – коефіцієнт тепловіддачі дроти при конвективному і променистому теплообміні, Вт / ($m \cdot ^\circ C$); W_c – теплота сонячного випромінювання, що поглинається 1 м проводу в одиницю часу, Вт.

Для визначення теплоти сонячного випромінювання, що поглинається проводом, існує кілька моделей. Теплота сонячного випромінювання визначається рівнянням:

$$W_c = \varepsilon_n k_n d_{op} W_p \sin \psi_c, \quad (3)$$

де $\varepsilon_n=0,6$ – коефіцієнт поглинання дроту; k_n – коефіцієнт, що враховує вплив висоти над рівнем моря; W_p – інтенсивність сумарної радіації, Вт/м²; ψ_c – активний кут нахилу сонячних променів.

При випромінюванням кількість переданого тепла пропорційно різниці абсолютних температур в четвертого ступеня. Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням визначається за формулою Стефана-Больцмана:

$$\beta = \frac{5,6\varepsilon}{t_{op}^o - t_{nc}^o} \left[\left(\frac{273 + t_{op}^o}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_{nc}^o}{100} \right)^4 \right], \quad (4)$$

де ε – постійна промінепускання (ступінь чорноти дроти); t_{op}^o – температура дроти, °С; t_{nc}^o – температура навколишнього середовища, °С.

Оскільки дроти не нагріваються вище температури 70 °С, то роль промінепускання незначна [11].

Теплопровідність теж грає малу роль при охолодженні провідників, розташованих в повітрі. Головною роллю при охолодженні таких провідників грає конвекція. Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією в загальному вигляді визначається виходячи з критеріальних рівнянь конвективного теплообміну:

$$N_u = f(R_e, P_r), \quad (5)$$

де N_u – критерій Нуссельта, що визначає коефіцієнт тепловіддачі; R_e – критерій Рейнольдса, що визначає

вплив швидкості охолоджуючої середовища на конвективний теплообмін; R_g – критерій Прандтля, що характеризує подібність фізичних властивостей охолоджуючої середовища в процесах конвективного теплообміну.

Кручена структура дроту практично не впливає на тепловіддачу і його можна розглядати як гладкий циліндр в повітряному потоці, при цьому коефіцієнт тепловіддачі конвекцією наближено розраховується за виразом:

$$\beta_k = 3,5 \nu \sqrt{\frac{v}{d_{dp}}}, \quad (6)$$

де k_ν – коефіцієнт залежності тепловіддачі при конвективному теплообміні від кута атаки вітру; ν – швидкість вітру, м/с; d_{dp} – діаметр проводу, м.

Так як тепловіддача випромінюванням і теплопровідністю незначні [12], а швидкістю вітру в зв'язку зі складною топологією мережі і неможливістю визначити його в реальному часі можна знехтувати, то рівняння теплового балансу в загальному вигляді можна представити, як:

$$I^2 R = cF(t_2^o - t_1^o), \quad (7)$$

де F – площа поверхні провідника, m^2 ; c – коефіцієнт тепловіддачі, що дорівнює кількості тепла, що відводиться з $1 m^2$ поверхні проводу в $1^\circ C$ при різниці температур дроту та навколишнього середовища в $10, Wt/m^2 \cdot ^\circ C$.

Так як передача тепла здійснюється переважно через конвекцію, то опір проводу буде змінюватися в залежності від температури навколишнього середовища [13]:

$$R = R_{20} \left(1 + \alpha (t_{op}^o - 20) \right), \quad (8)$$

де R_{20} – питомий опір дроту при температурі $20^\circ C$; α – температурний коефіцієнт питомого опору.

Температура дроту залежить не тільки від температури навколишнього середовища, а й від величини струму, що протікає по провіднику:

$$t_{op}^o = t_{nc}^o + t^o(I), \quad (9)$$

де $t^o(I)$ – температура нагріву проводу від проходження по ньому струму.

5. Результати дослідження

Розглянувши вплив атмосферних явищ, отримали формули, на основі яких можна вивести функціональні залежності для точного розрахунку електричних втрат.

З урахуванням вищесказаного вираз для визначення втрат електричної енергії з урахуванням температури навколишнього середовища матиме вигляд:

$$\Delta W = I^2 R_{20} \left(1 + \alpha \left(t_{nc}^o + \frac{1 + \alpha (t_{nc}^o - 20)}{2c\sqrt{\pi F} - \alpha} \right) \right) \Delta t, \quad (10)$$

Отримавши загальну формулу, можемо у майбутньому використовувати її для розрахунків.

6. Висновки

У зв'язку з проблемою електричних втрат у ЛЕП, постає необхідність у їх прогнозуванні, яке можливе лише при точному розрахунку.

У статті досліджено та наведено аргументовані приклади розрахунків електричних втрат у ЛЕП в залежності від зміни атмосферних явищ – температури навколишнього середовища та рівня опадів.

Розрахунок втрат дасть можливість створити систему прогнозування та уникнути збитків.

Література

- Идельчик, В. И. Электрические системы и сети [Текст]: учеб. / В. И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
- Горемикін, С. О. До вдосконалення обліку втрат електроенергії в ЛЕП і обмотках трансформаторів [Електронний ресурс] / С. О. Горемикін, М. І. Корольов // Електротехнічні комплекси і системи управління. – Режим доступу: <http://www.energsovet.ru/stat385.html>
- Пацюк, В. И. Уменьшение потерь в линиях электропередач переменного тока при холостом ходе и при передаче натуральной мощности с помощью шунтирующих реакторов и ИРМ [Текст] / В. И. Пацюк // Проблемы региональной энергетики. – 2009. – Т. 1, № 9. – С. 14–24.
- Мацора, В. С. Проблема втрат електричної енергії в мережі ліній електропередач. Один із способів її вирішення [Текст]: зб. міжн. науч.-пр. конф. / В. С. Мацора // Технічні науки. – 2015. – Т. 4, № 30. – С. 217–222. – Режим доступу: <https://sibac.info/studconf/tech/xxxi/41824>
- Справочник по электроснабжению и электрооборудованию [Текст] / под ред. А. А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
- Кираева, Э. А. Электроснабжение цехов промышленных предприятий [Текст] / Э. А. Киреева, В. В. Орлов, Л. Е. Старкова. – М.: Энергопрогресс, 2003. – 120 с.
- Справочник по проектированию электроснабжения [Текст] / под ред. Ю. Г. Барыбина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- Короткевич, М. А. Проектирование линий электропередачи [Текст] / М. А. Короткевич. – М.: Высшая школа, 2010. – 574 с.
- Логинова, С. Е. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищенными проводами [Текст] / С. Е. Логинова, А. В. Логинов. – СПб., 2013. – 291 с.
- Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
- Магидин, Ф. А. Сооружение воздушных линий электропередачи [Текст] / Ф. А. Магидин. – М.: Высшая школа, 1978. – 320 с.
- Магидин, Ф. А. Устройство и монтаж воздушных линий электропередачи [Текст] / Ф. А. Магидин, А. Г. Берковский. – М.: Высшая школа, 1971. – 255 с.
- Правила устройства электроустановок. Передача электроэнергии [Текст]. – М.: НЦ ЭНАС, 2003. – 160 с.

References

- Idelchik, V. I. (1989). Electric systems and networks. Moscow: Jenergoatomizdat, 592.
- Goremykin, S. A., Korolev, M. I. To improve accounting losses in electricity transmission lines and transform-

er. Jelektrotehničeskie kompleksi i sistemy upravlenija. Available at: <http://www.energosovet.ru/stat385.html>

3. Patsyuk, V. I. (2009). Reduction of losses in the AC power lines at idle and the transmission of natural power with the help of shunt reactors and IRM. Problemele energeticii regionale, 1 (9), 14–24.

4. Matsora, V. S. (2015). Problem of power losses in the transmission network. One way to solve it. Tehnichni nauki, 4 (30), 217–222. Available at: <https://sibac.info/studconf/tech/xxxi/41824>

5. Fedorov, A. (Ed.) (1986). Handbook of electricity and electrical equipment. Moscow: Jenergoatomizdat, 568.

6. Kireeva, E. A., Orlov, V. V., Starko, L. E. (2003). Electricity shops of industrial enterprises. Moscow: Jenergoprogress, 120.

7. Barybina, G. (Ed.) (1990). Reference for the design of power supply. Moscow: Jenergoatomizdat, 576

8. Karatkevich, M. A. (2010). Design of power lines. Moscow: Vysshaja shkola, 574.

9. Loginova, S. E., Loginov, A. V. (2013). Manual for designing of air power transmission lines 0.38–20 kV self-supporting isolated and protected wires. Saint Petersburg, 291.

10. Fedorov, A. A., Kamenev, V. V. (1979). Fundamentals of power industry. Moscow: Jenergija, 408.

11. Magidin, F. A. (1978). Construction of overhead electrical power lines. Moscow: Vysshaja shkola, 320.

12. Magidin, F. A., Berkovskii, A. G. (1971). Device and installation of overhead lines. Moscow: Vysshaja shkola, 255.

13. Rules for Electrical Installation. Transmission of electricity (2003). Moscow: NC JeNAS, 160.

*Рекомендовано до публікації д-р технічних наук, професор Щокін В. П.
Дата надходження рукопису 27.10.2016*

Константинов Григорій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту, ДВНЗ "Криворізький національний університет", вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027

E-mail: erem.konstantinov@gmail.ru

Дудник Ігор Олегович, кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту, ДВНЗ "Криворізький національний університет", вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027

E-mail: ihor.dudnyk@gmail.com

Gregory Konstantinov, PhD, Associate Professor, Department of electricity and energy management, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Vitali Matusevich st., 11, Kryvyi Rih, Ukraine, 50027

Ihor Dudnyk, Department of electricity and energy management, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Vitali Matusevich str., 11, Kryvyi Rih, Ukraine, 50027

УДК 546.171.1

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.86362

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА

© Н. В. Дудченко, І. Ф. Червоний

RESEARCH OF HEXAGONAL BORON NITRIDE TECHNOLOGY

© N. Dudchenok, I. Chervonyi

В работе выполнен анализ технологий производства графитоподобного нитрида бора. Проведенные исследования показали возможность проведение технологического процесса получения графитоподобного нитрида бора с применением карбамидной технологии без применения дополнительных реагентов при обеспечении заданного качества готовой продукции. Шихту спекали и подвергали азотированию в индукционной печи с последующими отмывкой в горячей воде и обогащением

Ключевые слова: бор, оксид бора, карбамид, азот, нитрид бора, азотирование, отмывка, обогащение, мельница

The analysis of technologies of hexagonal boron nitride production is carried out. The conducted researches show realization possibility of technological process of hexagonal boron nitride preparation using carbamide technology without application of additional reagents at providing the set quality of the finished products. Charge was burned and nitrated in an induction stove with subsequent washing in hot water and enriching

Keywords: boron, boron oxide, carbamide, nitrogen, boron nitride, nitrating, washing, enriching, mill

1. Введение

Технология гексагонального нитрида бора основана на реакции взаимодействия элементарного бора или его окиси с азотом. Гексагональный нитрид

бора нашел широкое применение в промышленности, благодаря широкому спектру своих физико-химических характеристик: электрическое сопротивление, адгезионные свойства, прозрачность для токов высо-