

УТОЧНЕННЯ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПРОВОДАХ ЛЕП З УРАХУВАННЯМ ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ

¹Чернігівський національний технологічний університет

Запропоновано методику уточнення розрахунку та нормування технологічних витрат електричної енергії шляхом застосування ітераційного методу з урахуванням комплексної моделі стану проводу ліній електропередачі 0,4–35 кВ. Запропоновано методику визначення параметрів моделі. Наведені результати розрахунку та порівняння методик. Визначені подальші напрями дослідження.

Ключові слова: комплексна модель стану проводу, технологічні витрати електричної енергії, механічні характеристики проводу, активний опір проводу.

Вступ

У відповідності до чинних методик визначення [1] та нормування [2] технологічних витрат електричної енергії (ТВЕ), технологічні витрати активної електричної енергії та їх норматив для ліній електропередач (ЛЕП) обчислюються за формулами:

— розрахункові витрати активної енергії в проводах повітряних ліній (ПЛ)

$$\Delta W_n^{(P)} = aI^2 R_e k_f T \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де a — коефіцієнт, що для однофазної мережі дорівнює 2, для трифазної — 3; I — значення струму, що протікає в елементі, А; R_e — еквівалентний опір електричного кола, Ом; k_f — коефіцієнт форми графіка навантаження; T — час роботи обладнання протягом розрахункового періоду, год; — норматив витрат

$$\Delta W_n = \frac{W^2 (1 + \operatorname{tg}^2(\phi)) k_f^2 R_e T}{U^2}, \quad (2)$$

де W — корисний відпуск електроенергії в мережу за розрахунковий період T , кВт·год; $\operatorname{tg}(\phi)$ — коефіцієнт реактивної потужності; U — номінальна напруга мережі, кВ.

За інших рівних умов та за умов однакового навантаження значення ТВЕ та нормативу залежить лише від значення еквівалентного опору. Еквівалентний опір функціонально залежить від величини питомого опору матеріалу провідника, геометричних розмірів провідників, умов експлуатації та зовнішніх кліматичних факторів, зокрема від температури. Еквівалентний опір електричної мережі у випадку розрахунку ТВЕ вважається залежним лише від середньомісячної температури повітря, а у випадку нормування ТВЕ залежність опору від температури чи зміни геометричних параметрів не враховується взагалі [3]. Виходячи з викладеного, недоврахування зміни еквівалентного опору як у нормуванні так і при розрахунку ТВЕ від інших зовнішніх факторів (температури, навантажень, терміну та умов експлуатації) приводить до заниження як розрахункових значень ТВЕ так і нормативу.

Оскільки еквівалентний електричний опір залежить від багатьох чинників, то підхід до уточнення методик розрахунку та нормування ТВЕ повинен бути комплексним. У цій роботі розглядається апробація ітераційного методу розрахунку величини питомого опору провідника на основі комплексної моделі стану проводу [4] з метою підвищення точності розрахунку ТВЕ.

Результати досліджень

Враховуючи одночасну дію на провід протягом терміну експлуатації зовнішніх факторів та режимних навантажень, внутрішні зміни механічних характеристик проводу авторами запропонова-

на комплексна модель стану проводу [4], яка є багатокритеріальною та включає в себе такі складові:

1. Механічна складова;
 - 1.1. Базова складова механічного стану;
 - 1.2. Складова повзучості;
 - 1.3. Складова старіння.
2. Електромагнітна (електрична) складова;
3. Температурна складова;
4. Складова корозії поверхні проводу.

Механічна складова моделі визначає розрахунок механічних напружень у проводі на основі рівняння стану проводу [4], виходячи із зовнішніх навантажень на провід, з урахуванням релаксації напружень під впливом повзучості проводу та зміни фізико-механічних констант внаслідок старіння.

Електромагнітна (електрична) складова стану проводу визначає розрахунок активного опору з урахуванням поверхневого ефекту та ефекту близькості з розрахунком активного електричного опору через питомий [4].

Температурна складова чисельно характеризує залежність температури поверхні проводу від зовнішніх кліматичних факторів та струмових навантажень [4]. Розрахунок температури поверхні проводу виконується на основі рівняння теплового балансу проводу [6]. Вихідною величиною розрахунку є температура поверхні проводу.

Незворотні процеси, пов'язані зі зменшенням поперечного перерізу внаслідок процесів електрохімічної корозії, враховані шляхом введення складової моделі, що характеризує корозію матеріалу [4].

З урахуванням того, що фізичні процеси у проводі, в тому числі і деформація, мають адитивний характер, моделювання стану проводу відбувається ітераційним шляхом. Вхідні параметри (температура повітря, швидкість вітру, товщина ожеледі, інтенсивність сонячної радіації, топологія ПЛ) на початку моделювання (перша ітерація) формують температуру поверхні проводу.

$$q_c + q_r = q_s + I^2 r(\theta), \quad (3)$$

де q_c — кількість тепла, відведена від проводу конвекцією; q_r — кількість тепла, відведена від проводу випромінюванням; q_s — кількість тепла, надана проводу сонячною радіацією; $r(\theta)$ — опір провідника (активний) як функція від температури проводу θ .

Згідно з нею уточнюється величина активного опору, яка входить як до температурної так і до електромагнітної складової. Це досягається шляхом розв'язання системи рівнянь, що включає в себе рівняння температурного стану проводу (2) та рівняння визначення опору проводу на основі температурного коефіцієнта опору, питомого опору матеріалу, початкових геометричних розмірів, коригувальних коефіцієнтів поверхневого ефекту та магнітних втрат.

$$R = \frac{4\rho_{20}(1 + \alpha(\theta - 20))k_m f(A)}{\pi d^2}, \quad (4)$$

де ρ_{20} — питомий опір матеріалу за температури 20 °C, Ом·м; d — діаметр проводу, м; θ — температура поверхні проводу, °C; $k_m f(A)$ — коефіцієнт, що враховує поверхневий ефект та ефект близькості, як функція від щільності струму.

Температура проводу передається в механічну складову, де проводиться розрахунок механічних напружень та оцінюється зміна геометрії проводу шляхом розв'язання рівнянь механічної складової з урахуванням релаксації напружень внаслідок повзучості.

$$\sigma - \frac{\gamma^2 E l^2}{24\sigma^2} = \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 E l^2}{24\sigma_0^2} - \alpha E (\theta - \theta_0), \quad (5)$$

де σ_0, σ — напруження в проводі на початку та в кінці часового інтервалу, даН/мм²; γ_0, γ — питоме зовнішнє механічне навантаження на провід на початку та в кінці часового інтервалу, даН/м·мм²; l — довжина прогону, м; E — модуль пружності, даН/мм²; α — коефіцієнт лінійного розширення матеріалу проводу, 1/°C; θ_0, θ — температура проводу на початку та в кінці часового інтервалу, °C.

Повзучість для сталюого осердя проводу

$$\Delta l c(\sigma_{\text{ст}}) = 7 \cdot 10^{-18} \cdot e^{0,02(\theta-20)} \sigma_{\text{ст}}^{4,7} t^{0,13} \text{ (м/м)} \quad (6)$$

Повзучість для алюмінієвої частини проводу

$$\Delta l c(al) = 9 \cdot 10^{-6} \cdot e^{0,03(\theta-20)} \sigma_{al}^{1,3} t^{0,2} \text{ (м/м)} \quad (7)$$

де θ — температура проводу в часовому інтервалі, °C; σ_{al} , $\sigma_{\text{ст}}$ — напруження в проводі (сталі та алюмінію, відповідно) на початку та в кінці часового інтервалу, даН/мм²; t — інтервал часу з умовно постійними параметрами (напружень та температури).

Також температура поверхні проводу передається до складової корозії, яка вносить зміни до величини поперечного перерізу.

$$\Delta d = d_0 - \Delta d_0 T_k \quad (8)$$

де d_0 — початковий діаметр проводу, мм; Δd_0 — зменшення діаметра алюмінієвої жили проводу, мм/рік; T_k — проміжок часу, впродовж якого відбувається корозія, років.

Кінцеві, для прийнятого інтервалу часу, розраховані значення температури та діаметра проводу, з урахуванням зменшення його величини внаслідок корозії приймаються початковими для наступного інтервалу часу. Тобто результатом моделювання (ітераційних розрахунків) є визначення для (розрахункового інтервалу) значень активного опору проводу.

Користуючись методиками розрахунку та нормування ТВЕ, за допомогою комплексної моделі проводу проведені розрахунки значень нормативу ТВЕ та їх порівняння з розрахованими без урахування зміни опору. Для двох повітряних ліній 10 кВ Чернігівської області.

1. ПЛ 10 кВ «Іванівка-Лікарня». Розташована в Чернігівському районі Чернігівської області, виконана проводами АС-50 (магістраль), АС-35 (відгалуження до ТП), довжина — 8,44 км, траса проходить переважно по відкритій місцевості, схема заміщення — магістральна, основні споживачі — населення та дрібне виробництво.

2. ПЛ 10 кВ «Київка-Комплекс». Розташована в Чернігівському районі Чернігівської області, виконана проводами АС-50 (магістраль), АС-35 (відгалуження до ТП), довжина — 15,14 км, траса проходить переважно по відкритій місцевості, схема заміщення — магістральна, основні споживачі — населення.

Результати подані у вигляді діаграм на рис. 1—4. (М) — за допомогою комплексної моделі, без індексу — за базовою методикою.

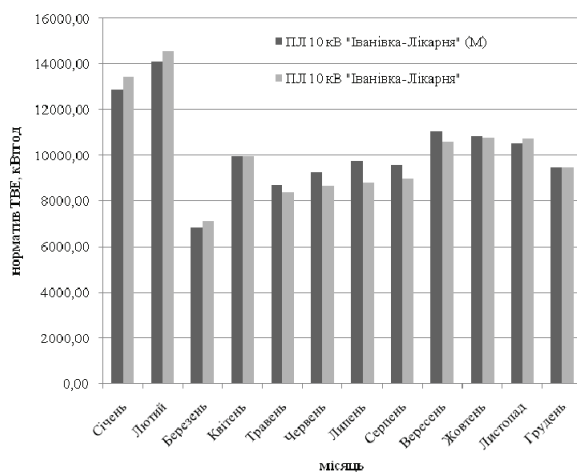


Рис. 1. Порівняння нормативів ТВЕ для ПЛ 10 кВ «Іванівка-Лікарня»

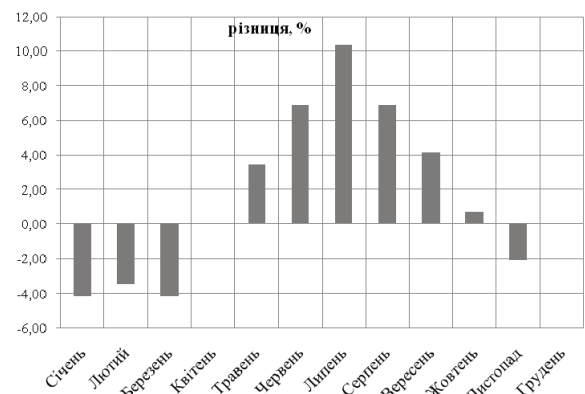


Рис. 2. Порівняння нормативів ТВЕ для ПЛ 10 кВ «Іванівка-Лікарня» у відсотковому співвідношенні

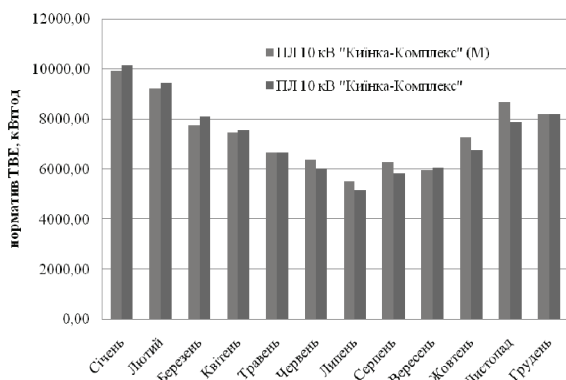


Рис. 3. Порівняння нормативів ТВЕ для ПЛЛ 10 кВ «Київка-Комплекс»

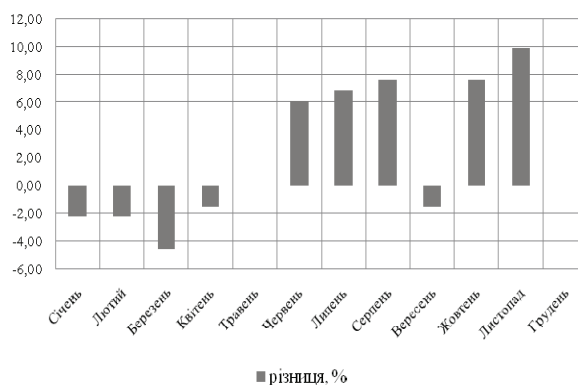


Рис. 4. Порівняння нормативів ТВЕ для ПЛЛ 10 кВ «Київка-Комплекс» у відсотковому співвідношенні

Як видно з рис. 1—4 врахування впливу природно-кліматичних факторів, режимних параметрів, терміну експлуатації на геометричні та електричні параметри проводу вносить уточнення до нормативу ТВЕ до 10 % вже на порівняно коротких фідерах за щільностей струму близьких до номінальних на порівняно нових ПЛ. У випадку ПЛ, що тривалий час перебувають у експлуатації, ця величина може бути суттєво більшою. Перевищення розрахункових значень над нормативними відбувається здебільшого у літні місяці у зв'язку з нагрівом поверхні проводу як температурою навколишнього середовища, так і дією струмового навантаження, у зимові — перевищення спричинене головним чином струмовим навантаженням споживачів (населення) з електроопаленням (підігрівом).

Висновки

Запропоновано методику уточнення розрахунку та нормування технологічних витрат електричної енергії шляхом застосування ітераційного методу з урахуванням комплексної моделі стану проводу ліній електропередачі 0,4—35 кВ.

На прикладі двох ЛЕП 10 кВ показано, що на порівняно коротких ПЛ з незначним завантаженням при нормуванні або розрахунку величини ТВЕ існує неточність у розрахунках, що призводить до перевищення нормативів ТВЕ та, як наслідок, збитків енергопостачальних компаній.

Подальші зусилля будуть спрямовані на дослідження в галузі впливу поверхневого ефекту, зміни фізико-механічних констант матеріалу проводу під впливом зовнішніх чинників та визначення величини інтервалу часу для усереднення дії на провід факторів, які мають змінний у часі характер.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Методика. : СОУ Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011 / Мін-во енергетики та вугільної промисловості. : Офіц. вид. — К. : ГРІФРЕ, 2011. — 65 с.
2. Складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38—150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії. Методика. : ГНД 34.09.104-2003. / Мін-во енергетики та вугільної промисловості. : Офіц. вид. — К. : ГРІФРЕ, 2004. — 32 с.
3. Галюга А. В. Оцінювання діючих методик розрахунку технологічних витрат електричної енергії в розподільних електричних мережах / А. В. Галюга, А. Л. Приступа // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. — Серія «Технічні науки». — 2015. — № 1 (77). — С. 159—165.
4. Integrated State Model of the Power Line Wires / Galuga A., Prystupa A. // Ukraine — EU. Modern technology, business and law : collection of international scientific papers : in 2 parts. — Part 2. Modern engineering. Sustainable development. Innovations in social work: philosophy, psychology, sociology. Current problems of legal science and practice. — Chernihiv : CNUT, 2015. — Рр. 20—23.
5. Крюков К. П. Конструкции и механический расчет линии электропередачи. — 2-е изд. перераб. и доп. / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. — Л. : Энергия. Ленингр. отд., 1979. — 312 с., ил.
6. IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors. IEEE Standard. Approved 16.11.2006. — New York : IEEE-SA Standards Board, 2006. — 69 p.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 2.11.2015

Галюга Андрій Віталійович — аспірант кафедри електричних систем і мереж, e-mail: andr_vg@mail.ru;
Пристапа Анатолій Леонідович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, e-mail: a.l.prystupa@gmail.com.
Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів

A. V. Galjuga¹
A. L. Prystupa¹

The Clarification Method of Power Losses Calculation in Wires of Transmission Lines with Climatic Factors

¹Chernihiv National University of Technology

The opportunity to clarify the methods of calculation and regulation of technological power losses by applying iterative method based integrated model state 0,4—35 kV wire transmission lines is presented in the paper. The method of determining the model parameters and calculation results is presented too. The areas of further research are identified.

Keywords: integrated state model, power losses, mechanical characteristics of wire, active resistance.

Galjuga Andrii V. — Post-Graduate Student of the Chair of Electrical Systems and Grids, e-mail: andr_vg@mail.ru;
Prystupa Anatolii L. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Head of the Department of Information and Measurement Technology, e-mail: a.l.prystupa@gmail.com

А. В. Галюга¹
А. Л. Пристапа¹

Уточнение методик расчета потерь электрической энергии в проводах ЛЭП с учетом природно-климатических факторов

¹Черниговский национальный технологический университет

Изложена методика уточнения расчета и нормирования технологических потерь электроэнергии путем применения итерационного метода с учетом комплексной модели состояния провода линии электропередачи 0,4—35 кВ. Предложена методика определения параметров модели. Приведены результаты расчета и сравнения методик. Определены дальнейшие пути исследования.

Ключевые слова: комплексная модель состояния провода, технологические потери электроэнергии, механические характеристики провода, активное сопротивление провода.

Галюга Андрей Витальевич — аспірант кафедри електричних систем і мереж, e-mail: andr_vg@mail.ru;
Пристапа Анатолій Леонідович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, e-mail: a.l.prystupa@gmail.com