

УДК 621.316.9

В.Л. БАКУЛЕВСЬКИЙ
Одеська національна академія харчових технологій
bakulevsky_80@mail.ru

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКІВ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НАПРУГОЮ 6-35 кВ ШЛЯХОМ ВРАХУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ

Розглянуті кліматичні фактори, які впливають на навантажувальні втрати електроенергії в повітряних ЛЕП; розроблена математична модель теплових процесів в проводах ЛЕП, розглянуті основні складові моделі; вперше досліджено, розраховано і запропоновано включити в основне рівняння теплового балансу, що встановився для проводів ЛЕП, коефіцієнти тепловіддачі, які враховують вплив атмосферних опадів (дощ, сніг); запропоновано вираз для визначення навантажувальних втрат електроенергії в повітряних ЛЕП з урахуванням кліматичних факторів; перевірена адекватність отриманої математичної моделі.

Ключові слова: втрати електроенергії, повітряні лінії електропередачі, кліматичні фактори, модель, рівняння теплового балансу.

Постановка проблеми. Одним із аспектів поліпшення прогнозування втрат електроенергії є врахування кліматичних факторів [1-3]. Офіційний підхід в Україні [4] передбачає врахування середньорічної температури повітря при розрахунках навантажувальних втрат електроенергії в повітряних лініях електропередач (ЛЕП) та втрати на корону в повітряних лініях напругою 110 кВ та вище. Сьогодні в розрахункових моделях використовуються довідкові параметри ЛЕП для температури навколишнього повітря 20 °С. Але температура повітря може істотно змінюватись впродовж року. Проте навіть у [5] зміна температури проводу не розглядається.

Крім того, на температуру проводу впливають інші кліматичні фактори (опаді, сила та напрямок вітру тощо), вплив яких на втрати електроенергії в повітряних лініях потребує подальшого дослідження [1-3]. Включення до математичної моделі розрахунку втрат впливу кліматичних факторів дозволить поліпшити аналітичну та розрахункову бази, зменшити похибку розрахунків та прогнозування, а також надасть повніше уявлення про процеси, які мають місце в повітряних лініях електропередачі. На сучасні ЛЕП припадає близько 15 % всіх навантажувальних втрат систем електропостачання [2,4,6], тому дослідження в цьому напрямку є актуальними.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. В роботах вітчизняних [1,2,7-9] та закордонних фахівців [3,5] увага акцентується на необхідності удосконалення методологічного і технічного забезпечення, більш точного та повного врахування факторів, що впливають на втрати електроенергії в обладнанні, а також застосуванні поліпшених методів розрахунку та прогнозування втрат електроенергії.

Мета статті. Досягти підвищення точності розрахунку навантажувальних втрат електроенергії у ЛЕП, для чого запропонувати математичну модель для визначення навантажувальних втрат електроенергії в повітряних ЛЕП з урахуванням кліматичних факторів, розглянути основні складові моделі; розрахувати коефіцієнти тепловіддачі, які враховують вплив атмосферних опадів (дощ, сніг); перевірити адекватність отриманої моделі.

Викладення основного матеріалу.

1 Моделювання теплових процесів в проводах ЛЕП

Теплопередача в ЛЕП здійснюється шляхом теплопровідності, випромінювання і конвекції [2,3]. Відомі закони, що визначають теплову рівновагу між провідником, по якому протікає струм, і параметрами довкілля.

Особливість теплопередачі в проводах ЛЕП полягає в тому, що теплота, яка передається від гарячого середовища всередині проводу до холодного омиваючого середовища, зовні ніби розширяється, оскільки внутрішня площа поверхні теплопередачі менша, ніж зовнішня [10]. Для такого випадку густина теплового потоку q , що передається теплопередачею від гарячого теплоносія всередині проводу до холодного зовні, °С

$$q = K_1 \lambda (t_{p1} - t_{p2}), \quad (1)$$

де K_1 - лінійний коефіцієнт теплопередачі через провід довжиною один метр, Вт/(м·К); t_{p1}, t_{p2} - відповідно температури гарячого та холодного теплоносіїв, °С;

$$K_1 = \frac{1}{1/\alpha_{p1}d_1 + 1/2\lambda \ln(d_2/d_1) + 1/\alpha_{p2}d_2}, \quad (2)$$

де α_{p1}, α_{p2} - коефіцієнти тепловіддачі конвекцією, Вт/(м²·К); λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу проводу, Вт/(м·К); d_1, d_2 - внутрішній і зовнішній діаметри проводу, м.

Основне рівняння теплового балансу для теплового режиму, що встановився, для проводів ЛЕП [1,7]:

$$I^2 R_{20} (1 + \alpha (t_p - 20)) + W_c = \pi d (\beta_k + \beta_n (t_n - t_d)), \quad (3)$$

де I - струм в лінії, А; R_{20} - опір проводу при $20\text{ }^\circ\text{C}$, Ом/м; α - температурний коефіцієнт опору проводу, $1/^\circ\text{C}$, для алюмінію $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3}\text{ }1/^\circ\text{C}$; t_n - температура проводу, $^\circ\text{C}$; t_d - температура довкілля, $^\circ\text{C}$; β_k, β_n - відповідно коефіцієнти тепловіддачі проводу при конвективному і променистому теплообміні, Вт/(м $^\circ\text{C}$); W_c - теплота сонячного випромінювання, що поглинається 1 м проводу в одиницю часу, Вт; d - діаметр проводу, м.

Основну роль при теплопередачі в повітряних ЛЕП відіграє конвекція [1-3]. Кількість тепла, що віддається одиницею поверхні шляхом конвекції [3]

$$Q_k = \beta_k \Theta, \quad (4)$$

де Θ - різниця температур тіла і середовища поза зоною течії, К.

Тепловіддача конвекцією для проводів ЛЕП описується в загальному випадку рівнянням Ньютона-Ріхмана [3,10]:

$$\sigma Q = \beta_k \cdot \Delta t \cdot dF \cdot d\tau, \quad (5)$$

де σQ - кількість теплоти, що передається теплопровідністю, Дж; β_k - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією Вт/(м 2 ·К); Δt - середній температурний напір між проводом і середовищем, К; F - переріз проводу, м 2 ; τ - час, с.

Для випадку стаціонарної тепловіддачі рівняння (5) матиме вигляд [3]

$$\Delta Q = \alpha F \Delta t, \quad (6)$$

де ΔQ - тепловий потік, Вт; α - величина, на значення якої впливають зміни факторів: тип конвекції; фізичні властивості тіла і середовища; геометричні форми нерухомої стінки; напрям руху середовища.

Диференціальне рівняння конвективного теплообміну для омиваючого середовища [10]

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha_p \Delta t, \quad (7)$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності середовища в ламінарному шарі або підшарі при температурі проводу,

Вт/(м·К); $\frac{\partial t}{\partial n}$ - градієнт температури, направлений у бік її зростання (векторна величина) або нескінченно малий приріст температури по нормалі через ламінарний шар або підшар, К/м; α_p - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від ламінарного шару до загального об'єму омиваючого середовища, Вт/(м 2 ·К); Δt - різниця температур між середньою температурою стінки і омиваючим середовищем.

Якщо ліву і праву частини рівняння одночасно розділити на ліву частину, то отримаємо основне критеріальне рівняння тепловіддачі, критерій або число Нуссельта [10]:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}. \quad (8)$$

Критерій Нуссельта є основним у теорії теплообміну, тому що включає основну величину конвективного теплообміну - значення α . В загальному вигляді

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (9)$$

де Re - критерій Рейнольдса, що визначає вплив швидкості охолоджувального середовища на конвективний теплообмін (для повітря $Re = \text{const}$ в діапазоні температур від - 50 до +40 $^\circ\text{C}$).

Тепловіддача конвекцією від стінки проводу до вільноомиваючого повітря [10]

$$Nu = 0,5Gr^n, \quad (10)$$

В разі вільної конвекції ($Re = 5$)

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n \quad (11)$$

де C, n - сталі числа; Pr - критерій Прандтля, що характеризує подібність фізичних властивостей охолоджувального середовища в процесах конвективного теплообміну; Gr - критерій Грасгофа, який визначає процес теплообміну під час вільногравітаційного руху.

Для того, щоб підрахувати α для конкретної фізичної задачі тепловіддачі конвекцією, необхідно знайти у літературі залежність в критеріальній формі, яка описує цю задачу; обчислити визначальні критерії; визначити визначальний критерій Нуссельта і встановити значення α . За цього підходу нижче розглядаються деякі кліматичні фактори, які впливають на теплові процеси в ЛЕП.

2. *Врахування температури* при розрахунку втрат електроенергії в повітряних лініях електропередачі розглянуто автором детально в [15].

3. *Врахування напрямку і сили вітру*. Вітер є одним з основних факторів, який впливає на конвективний теплообмін в повітряних ЛЕП, охолоджуючи провід. В реальних умовах завжди є деякий рух повітря [8,11]. При охолодженні проводів вітром застосовуються рівняння (9) - (11).

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією β_k з (3) істотно впливає на значення допустимого навантаження [1,3]. Він обчислюється за умови, що провід повітряної ЛЕП розглядається як циліндр в повітряному потоці [1]

$$\beta_k = 3,5k_\psi \frac{v}{d} = 3,5k_\psi \frac{v}{s \cdot 0,785}, \quad (12)$$

де k_ψ - коефіцієнт залежності тепловіддачі при конвективному теплообміні від кута атаки вітру, так як повітряні лінії, як правило, знаходяться на значній відстані від землі та споруд, приймається $k_\psi = 1$ [6]; v - швидкість вітру, м/с; d - діаметр проводу, м; s - переріз проводу, мм 2 .

4. Врахування атмосферних опадів при розрахунку втрат електроенергії в повітряних ЛЕП

Атмосферні опади при взаємодії з проводом повітряних ліній утворюють двофазове середовище: "тверді частинки – рідина" [10]. При охолодженні проводу атмосферними опадами у вигляді дощу та снігу, а також вітром, використовується емпірична залежність [10]

$$Nu_2 = 0,019Re^{0,83} \quad (13)$$

де Nu_2 - число (критерій) Нуссельта для даного двофазового середовища.

З іншого боку

$$Nu = \alpha_0 d / \vartheta, \quad (14)$$

де d – діаметр проводу, мм; ϑ - теплопровідність (для води $\vartheta_w = 0,6$ при 15°C , снігу $\vartheta_s = 0,55$ при 0°C).

Число Нуссельта для даного двофазового середовища $Nu_2 = 20 - 25$ для дощу та $Nu_2 = 5 - 10$ для снігу [10]. Тоді коефіцієнт тепловіддачі на поверхні проводу ЛЕП на 1 км довжини

$$\alpha_0 = (Nu\vartheta/d) \cdot 10^3 = (Nu\vartheta / \frac{S}{0,785}) \cdot 10^3. \quad (15)$$

Після перетворення:

- для дощу при 15°C

$$\alpha_0 = (20 \cdot 0,6 / \frac{S}{0,785}) \cdot 10^3 = (10,63 / \bar{S}) \cdot 10^3; \quad (16)$$

- для снігу при 0°C

$$\alpha_0 = (5 \cdot 0,55 / \frac{S}{0,785}) \cdot 10^3 = (2,44 / \bar{S}) \cdot 10^3. \quad (17)$$

В табл. 1 та на рис. 1 наведені значення коефіцієнта тепловіддачі при дощі та снігу на поверхні проводів марки АС різних перерізів повітряної ЛЕП довжиною 1 км, які розраховані за (16) та (17).

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта тепловіддачі при атмосферних опадах на поверхні проводів марки АС різних перерізів повітряної ЛЕП довжиною 1 км

Переріз проводу, $S, \text{мм}^2$	$\alpha_0, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	
	Дощ	Сніг
10	3361,5	771,6
16	2657,5	610,0
25	2126,0	448,0
35	1796,8	412,4
50	1503,3	345,1
70	1270,5	291,6
95	1090,6	250,3
120	970,4	222,7
150	867,9	199,2
185	781,5	179,4
240	686,2	157,5



Рисунок 1 - Значення коефіцієнта тепловіддачі при атмосферних опадах на поверхні проводів марки АС різних перерізів повітряної ЛЕП довжиною 1 км

Тоді основне рівняння теплового балансу для теплового режиму, що встановився (3), для проводів ЛЕП

$$I^2 R_{20} k_{\phi}^2 (1 + \alpha t_{\pi} - 20) + W_c = \pi d \beta_k + \beta_{\pi} + \alpha_0 l (t_{\pi} - t_d), \quad (18)$$

де α_0 – коефіцієнт тепловіддачі, який враховує вплив атмосферних явищ; k_{ϕ} – коефіцієнт форми графіка; l – довжина проводу, км.

Температура проводу знаходиться через температуру довкілля з урахуванням струму в ньому, а також охолодження проводу опадами та вітром з застосуванням рекомендованого методу середніх навантажень [1,7]

$$1 + \alpha t_{\pi} - 20 = 1 + \alpha t_d + \frac{1 + \alpha t_d - 20}{2\alpha_0} \frac{I^2 R_{20} k_{\phi}}{\pi F} - 3,5 k_{\psi} \frac{v}{s \cdot 0,785} \Delta t. \quad (19)$$

Тоді навантажувальні втрати електроенергії в повітряних ЛЕП з урахуванням кліматичних факторів

$$\Delta W = I^2 R_{20} k_{\phi}^2 (1 + \alpha t_d + \frac{1 + \alpha t_d - 20}{2\alpha_0} \frac{I^2 R_{20} k_{\phi}}{\pi F} - 3,5 k_{\psi} \frac{v}{s \cdot 0,785}) \Delta t. \quad (20)$$

де s, F – відповідно переріз та площа поверхні проводу (розраховується як площа поверхні циліндра)

$$F = \pi d l = \pi \frac{S}{0,785} l \quad (21)$$

5 Перевірка адекватності отриманої моделі

Для перевірки адекватності отриманої моделі на основі технічних та довідкових даних, а також метеоданих [11], проводиться порівняльний аналіз втрат електроенергії в повітряній ЛЕП напругою 35 кВ ділянки Любашівка – Демидове Котовських електричних мереж за період 2006-2008 років. При цьому втрати в ЛЕП розраховані за різними підходами: 1 підхід – втрати розраховані без урахування кліматичних факторів; 2 підхід – втрати розраховані з урахуванням прийнятої середньорічної температури та без урахування інших кліматичних факторів (офіційний підхід); 3 підхід – втрати розраховані з урахуванням середньомісячної температури та інших кліматичних факторів (авторський підхід). Результати розрахунків порівнюються з даними АСКУЕ на початку та в кінці даної ЛЕП. Перевірка проводиться для найтеплішого та найхолоднішого місяців 2006–2008 рр. Результати наведені в табл. 2 та на рис. 2.

Таблиця 2 – Відхилення втрат електроенергії, які розраховані за різними підходами, в повітряній ЛЕП напругою 35 кВ ділянки Любашівка – Демидове Котовських електричних мереж, від даних АСКУЕ

Рік	Місяць	Втрати електроенергії, тис. кВт·год/ Відхилення розрахункових втрат електроенергії від результатів звітності, отриманих за АСКУЕ в ЛЕП			
		Дані АСКУЕ, тис. кВт·год	1 підхід, тис.кВт·год/%	2 підхід, тис. кВт·год/%	3 підхід, тис. кВт·год/%
2006	Січень	2,924	3,515/20,20	3,326/13,70	3,133/7,14
	Липень	2,132	1,678/23,17	1,794/15,85	1,908/10,50
2007	Лютий	2,631	3,352/27,4	3,093/17,56	2,884/9,62
	Липень	2,122	1,797/15,3	1,882/11,31	2,011/5,23
2008	Лютий	2,711	3,254/20,03	3,158/16,48	3,059/12,84
	Липень	2,037	1,686/17,23	1,863/8,54	2,155/5,79
Середнє відхилення підходу за 3 роки, %	Найхолодніший місяць	–	22,54	15,91	9,87
	Найтепліший місяць	–	18,57	11,90	7,17

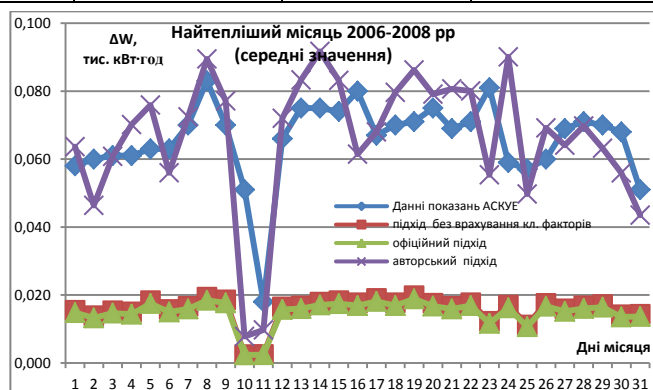
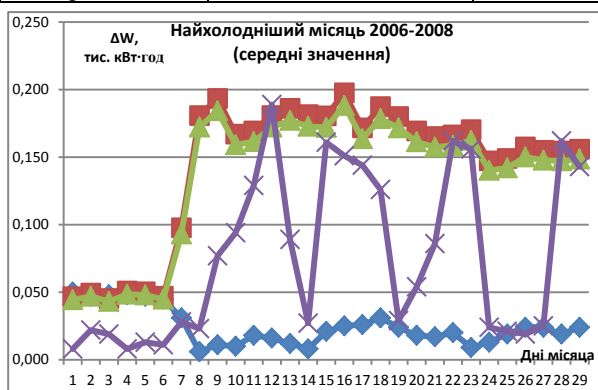


Рисунок 2 - Результати розрахунку добових втрат електроенергії за різними методиками в повітряній ЛЕП за період 2006-2008 рр. (усереднені результати)

Висновки. З урахуванням наведеного, пропонується:

- прийняти до уваги розроблену математичну модель теплових процесів в проводах ЛЕП;
- включити в основне рівняння теплового балансу, що встановився, для проводів ЛЕП, коефіцієнти тепловіддачі, які враховують вплив атмосферних опадів (дощ, сніг); розраховувати втрати електроенергії в повітряних лініях електропередач з урахуванням даних коефіцієнтів тепловіддачі;
- при розрахунках втрат електроенергії в повітряних ЛЕП враховувати середньомісячну температуру повітря для даного регіону; розрахунок втрат проводити для кожного місяця року окремо [12];
- проводити розрахунки навантажувальних втрат електроенергії з урахуванням графіків навантаження, застосовуючи для цієї мети рекомендований метод середніх навантажень.

Включення цих складових дозволить підвищити точність врахування кліматичних параметрів при розрахунках втрат електроенергії, зменшити похибку розрахунку.

Зважаючи на отримані результати, можна стверджувати, що врахування кліматичних факторів дозволяє підвищити точність розрахунків навантажувальних втрат електроенергії в повітряних лініях електропередачі. На розглянутому прикладі показано, що авторський підхід, порівняно з офіційним, виявився точнішим в середньому на 6,04% для найхолоднішого місяця року та на 4,73% для найтеплішого місяця.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мирошник А.А. Уточненные алгоритмы расчета потерь электроэнергии в сетях 0,38 кВ в реальном времени / А.А. Мирошник // Проблемы региональной энергетики. – 2010. – 2(13). – С. 35-42.
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии в электрических сетях, зависящие от погодных условий / Ю.С. Железко // Электрические станции. – 2004. - №11.
3. Осипов Д.С. Учет нагрева токоведущих частей в расчетах потерь мощности и электроэнергии при несинусоидальных режимах систем электроснабжения: дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Д.С. Осипов. – Омск: РГБ, 2006.
4. Методика визначення технологічних витрат електроенергії у трансформаторах і лініях електропередавання: наказ № 532 від 22 вересня 2011 року / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України
5. IEC 60287-2-2 : 1995 Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2 : Thermal resistance - Section 2 : A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation
6. Железко Ю.С. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчётов / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.: ил.
7. Воротницкий В. Э. Оценка погрешностей расчета переменных потерь электроэнергии в ВЛ из-за неучета метеословий / В. Э. Воротницкий, О. В. Туркина // Энергосистемы и электрические сети. – 2008. – №10.
8. Зарудский Г. К. Расчет температуры проводов воздушных линий электропередачи СВН на основе метода критериального планирования эксперимента / Г. К. Зарудский, Л. Э. Зиннер, С. Ю. Сыромятников // Вестник МЭИ. – 1997. – №12. – С. 17 – 23.
9. Левченко И. И. Нагрузочная способность и мониторинг воздушных линий электропередачи в экстремальных погодных условиях / И. И. Левченко, Е. И. Сацук // Электричество. – 2008. – №4. – С. 2 – 8.
10. Врагов А.П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв: Навч. Посіб / А.П. Врагов. – Суми: вид-во СумДУ, 2006. – 218 с.
11. Сервер «Погода России». Архив метеоданных. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://meteo.infospace.ru>
12. Бакулевський В.Л. Вибір оптимальної моделі нейромережі для розрахунку втрат електроенергії в повітряних лініях електропередач з урахуванням температурного чинника і графіків навантажень / В.Л. Бакулевський // наук. збірник "Наукові праці Донецького національного технічного університету". – 2011. - № 11/ (186). – С.31-35.

REFERENCES

1. Miroshnyk A.A. Refined algorithms of electrical energy losses calculation in 0,38 kV networks in real time. Problems of regional energetics; 2010; 2(13): 35-42.
2. Zhelezko Y.S. Losses of electroenergy in electric networks, depending on weather - Electric stations. 2004; 11
3. Osipov D.S. Account of heating of current-carrying parts in the calculations of losses of power and electric power at the nonsinusoidal modes of the systems of electricity: dissertation candidate of engineering sciences. 2006.
4. A method of determination of technological charges of electric power in transformers and lines of electro-transferrableness is Ministry of energy and coal industry of Ukraine. 2011; order 532.
5. IEC 60287-2-2 : 1995 Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2 : Thermal resistance - Section 2 : A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation
6. Zhelezko Y.S., Artem'ev A.V., Savchenko O.V. Calculation, analysis and setting of norms of losses of electric power in electric networks: Guidance for practical calculations. 2004.
7. Vorotnitskiy V. E., Turkina O. V. Estimation errors of calculation of variable losses of electric power in the open-wires of electricity transmission from not accounting weather. Grids and electric networks. 2008; 10.

8. Zarudskiy G.K, Zinner L.E, Syromyatnikov S.U. Calculation temperatures of wires of open-wires of electricity transmission on the basis of method of the criterion planning of experiment.- Announcer MEI. 1997;12:17 – 23.

9. Levchenko I.I., Satsuk E.I. Electric loading ability and monitoring of open-wires of electricity transmission in extreme weather terms. Electricity. 2008;4:2 – 8.

10. Vragov A.P. The heat-exchange processes and equipments of chemical and oil-processing productions. – SUMDU. 2006.

11. A server is "Weather of Russia". Archive. Access mode: <http://meteo.infospace.ru>

12. Bakulevskiy V.L. Choice of optimum model of Neural network for the calculation of losses of electric power in the open-wires of electricity transmissions taking into account a temperature factor and load-graphs – sciences. Collection is Scientific labours of the Donetsk national technical university. 2011; 11/(186): 31-35.

Надійшла до редакції 15.03.2013

Рецензент: Е.Г. Курінний

В.Л. БАКУЛЕВСКИЙ

Одесская национальная академия пищевых технологий

Повышение точности расчетов нагрузочных потерь электроэнергии в воздушных линиях электропередачи напряжением 6-35 кВ путем учета климатических факторов. Рассмотрены климатические факторы, которые влияют на нагрузочные потери электроэнергии в воздушных ЛЭП; разработана математическая модель тепловых процессов в проводах ЛЭП, рассмотрены основные составляющие модели; впервые исследовано, рассчитано и предложено включить в основное уравнение установившегося теплового баланса для проводов ЛЭП коэффициенты теплоотдачи, которые учитывают влияние атмосферных осадков (дождь, снег); предложено выражение для определения нагрузочных потерь электроэнергии в воздушных ЛЭП с учетом климатических факторов; проверена адекватность полученной математической модели.

Ключевые слова: *потери электроэнергии, воздушная линия электропередачи, климатические факторы, модель, уравнение теплового баланса.*

V. BAKULEVSKIY

Odessa National Academy of Food Technology

Increase of Exactness of Calculations of Load Power Losses in the Air Transmission Lines of 6-35 kV Taking into Account of Climatic Factors. One aspect of improving the prediction of energy losses is the consideration of climatic factors. The official approach in Ukraine takes into consideration the average annual air temperature for calculating load power losses in overhead lines power transmission (LPT) and losses in overhead lines 110 kV and above. Today, reference parameters of LPT are used for air temperature 20 °C in calculation models. But the temperature can vary significantly throughout the year. In addition, the temperature of the wire is affected by other climatic factors (precipitation, wind strength and direction, etc.), whose impact on power losses in overhead lines requires further study. Incorporating the mathematical model for calculating the loss of influence of climatic factors will improve the analytical framework, as well as provide better understanding of the processes that take place in the overhead power lines. The purpose of the article is to achieve improved accuracy of calculating load energy losses in transmission lines. The paper considers a mathematical model to determine load power losses in overhead transmission lines based on climatic factors, the basic components of the model, calculation of heat transfer coefficients, which take into account the impact of precipitation (rain, snow), checking the adequacy of the resulting model. The peculiarity of heat transfer in wire transmission line is that the heat that is transferred from the hot medium inside wire to cold washing medium, though outwardly expanding as heat transfer surface area is smaller than the outside. In order to calculate the value of heat transfer coefficient α for a particular physical problem of heat convection, it is necessary to find in the literature the dependence of criterial form that describes the problem, calculate the determining criteria, determine the defining Nusselt number and set α . With this approach, the article discusses the climatic factors that affect the thermal processes in LPT (temperature environment, the force and direction of wind, precipitation). The impact on electricity losses in overhead transmission lines of each of these factors is determined, expressions for calculating heat transfer coefficients are derived, based on real data. A design and inspections of adequacy of the obtained model are conducted.

Keywords: *losses of electric power, open-wire of electricity transmission, climatic factors, model, equalization of thermal balance.*