

НОРМУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ГУСТИНИ СТРУМУ В СУЧАСНИХ ЕКОНОМІЧНИХ УМОВАХ

Ларіна І.І

Донецький національний технічний університет

E-mail: r504a@fkita.dn.ua

The admissible assumptions of the method designed for selecting the wires cross-sections depending on the economic current density are analyzed. Values of economic current density for the modern economic conditions are given in the paper.

Економічна ефективність споруди і функціонування електричних мереж в значній мірі залежить від їх раціональної побудови. За даними експлуатації визначено, що в елементах електричної мережі втрачається приблизно 15% електроенергії, що поступає у мережу [1]. З них майже 70% складає частка втрат на нагрів в активних опорах ліній електропередач (ЛЕП). Найбільш радикальним засобом зниження цієї частки втрат електроенергії є зменшення активних опорів проводів і жил кабелів. При звичайних температурах і використанні алюмінію або міді в якості струмопровідного матеріалу можливість зниження активного опору пов'язана лише із збільшенням перерізу проводів і жил кабелів. Але у цьому випадку зростає вартість ліній електропередачі. Таким чином, як конкуруючі виступають два чинники:

- економія витрат на компенсацію втрат потужності і електроенергії на нагрів проводів і жил кабелів;
- збільшення капіталовкладень на споруду лінії.

Оскільки ці два чинники при варіації перетину мають протилежні тенденції зміни, то функція приведених витрат, куди входять ці компоненти, має мінімум при деякому перетині, який і вважається економічно доцільним. Ці міркування і лягли в основу основного за ПУЕ методу вибору перерізу проводів і жил кабелів – методу економічної густини струму.

Серед технічних припущень, що покладені в основу метода [1], одне припущення є найбільш суттєвим, а саме, припущення про прямолінійність залежності вартості споруди 1 км лінії (k_0) від перерізу (F):

$$k_0 = k_0' + k_0'' \cdot F,$$

де k_0' – складова k_0 , що не залежить від перетину, грн./км;

k_0'' – складова k_0 , що залежить від перетину (коефіцієнт, який визначає наклон залежності $k_0 = f(F)$ відносно горизонтальної осі), грн/(км·мм²).

З урахуванням цього припущення приведені витрати на лінію електропередачі довжиною L розраховуються таким чином [2]:

$$Z = E_n \cdot K_{\text{леп}} + I_{\text{леп}} + I_{\Delta W} = (E_n + p_{\text{леп}}) \cdot (k_0' + k_0'' \cdot F) \cdot L + b' \cdot 3 \cdot I_{\text{макс}}^2 \cdot \rho \cdot L \cdot \tau_m / F.$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$K_{\text{леп}}$ – капітальні вкладення в споруду ЛЕП;

$I_{\text{леп}}$ – експлуатаційні витрати на лінію електропередачі;

$I_{\Delta W}$ – витрати, зв'язані з покриттям втрат електроенергії;

$p_{\text{леп}}$ – норма відрахувань на експлуатацію ЛЕП;

b' – середній тариф на електроенергію;

$I_{\text{макс}}$ – величина струму при максимальному навантаженні;

ρ – питомий опір матеріалу;

τ_m – час максимальних втрат.

Функція приведених витрат має мінімум при деякому перерізі $F = F_{\text{ек}}$. Для визначення економічного перерізу похідну функції за F необхідно прирівняти до нуля:

$$F_{\text{ек}} = \sqrt{\frac{3 \cdot b' \cdot \rho \cdot \tau_m}{(E_n + p_{\text{леп}}) \cdot k_0''}}.$$

Цьому перерізу відповідає так названа економічна густина струму ($j_{\text{ек}}$, А/мм²), яка визначається за формулою:

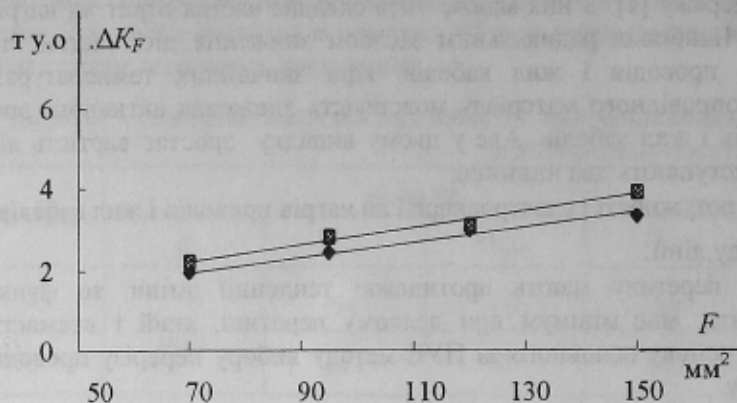
$$j_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{макс}}}{F_{\text{ек}}} = I_{\text{макс}} \cdot \sqrt{\frac{(E_n + p_{\text{леп}}) \cdot k_0''}{3 \cdot b' \cdot \rho \cdot \tau_m}} \quad (1)$$

Вираз (1) свідчить про те, що значення економічної густини струму визначається великою сукупністю параметрів. Тому потребує диференційованого підходу до визначення значення $j_{ек}$ для різних категорій ЛЕП, умов їх споруди.

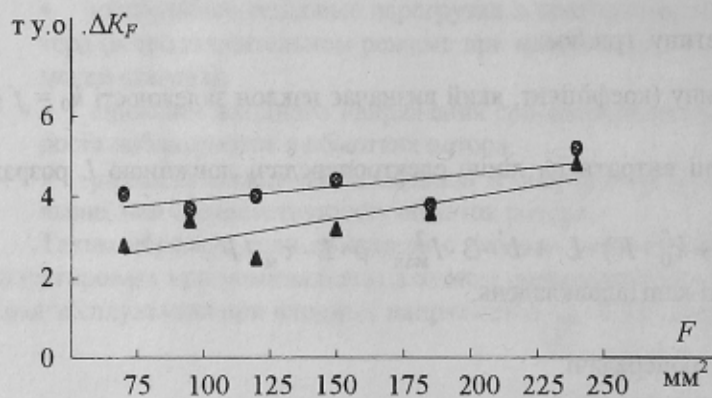
Нормування економічної густини струму було проведено майже 50 років тому і більш не переглядалося. За сучасними економічними умовами змінилися всі економічні показники, що входять до формули (1). Таким чином, необхідно визначити правомірність використання нормованих за ПУЕ значень економічної густини струму.

Визначимо правомірність припущення про прямотлінійність залежності $k_0 = f(F)$. Вартість монтажу і проводів (ΔK_F) при використанні металевих і залізобетонних щогл можна визначити як різницю між вартістю дволанцюгових щогл з почіпом двох ($K_{двл.}^{II}$) і одного ланцюга ($K_{двл.}^I$):

$$\Delta K_F = K_{двл.}^{II} - K_{двл.}^I$$



а)



б)

Рисунок 1 – Залежність вартості монтажу і проводів від перерізу ЛЕП при використанні сталевих щогл у районі за ожеледдю (♦ I; ■ II; ▲ III; ● IV): а) при $U_{ном} = 35$ кВ; б) при $U_{ном} = 110$ кВ.

На рисунку 1 приведені залежності $\Delta K_F = f(F)$ для найкращого і найгіршого варіантів. Аналіз приведених і аналогічних залежностей для напруг 35 - 220 кВ при використанні сталевих і залізобетонних щогл показує, що припущення порушується у меншій кількості випадків, ніж підтверджується. Вчасно:

- при напрузі 35 кВ для залізобетонних щогл у II районі за ожеледдю;
- при напрузі 35 кВ для сталевих щогл у IV районі за ожеледдю;
- при напрузі 110 кВ для сталевих щогл у IV районі за ожеледдю;
- при напрузі 150 кВ для сталевих щогл у I та II районах за ожеледдю.

Таким чином, можна признати правомірність прийнятого припущення у будь-якому районі за ожеледдю.

За вартістю монтажу і проводів розраховується коефіцієнт, який визначає наклон залежності $k_0 = f(F)$ відносно горизонтальної вісі для кожної марки проводу перерізом F

$$k_0'' = \Delta K_F / F$$

і його середнє значення

$$k_{0\text{ср}}'' = k_0'' / n,$$

де n – кількість марок проводів, які використовуються для різного типу щогл при різній напрузі.

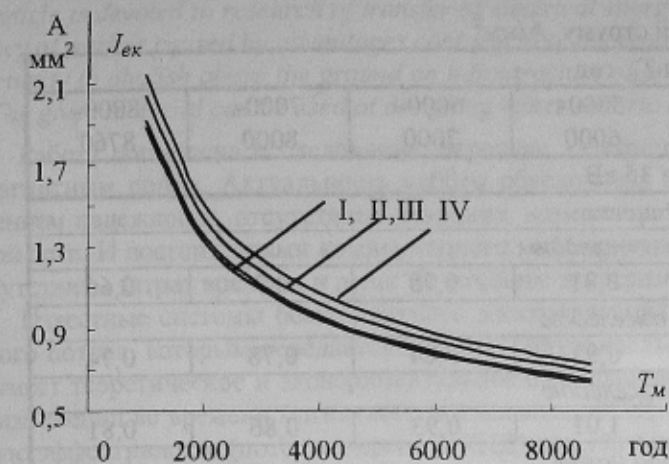
Величини $k_{0\text{ср}}''$ розраховані на підставі даних [2] для різних районів за ожеледдю і приведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнту $k_{0\text{ср}}''$ для повітряних ЛЕП, тис. у.о./км·мм²

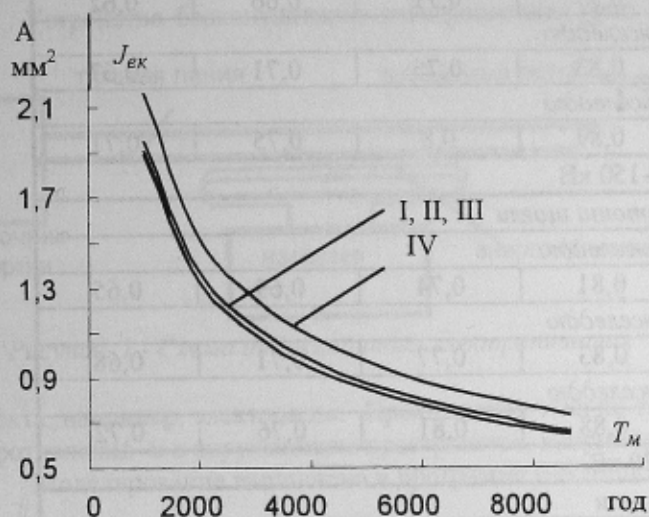
$U_{ном}$, кВ	Сталеві щогли				Залізобетонні щогли			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
35	0,0244	0,0276	0,0326	0,0398	0,0227	0,0238	0,0271	0,0299
110	0,0256	0,0274	0,0262	0,0337	0,0255	0,0264	0,0299	0,0328
150	0,0256	0,0237	0,0269	0,0282	0,0257	0,0257	0,0273	0,0298
220	0,0388	0,0388	0,0442	0,046	-	-	-	-

Одним з суттєвих недоліків визначення перерізів проводів за економічною густиною струму є занадто великі діапазони часу використання максимального навантаження. Згідно з ПУЕ весь діапазон поділений на три піддіапазони – від 1000 год. до 3000 год., від 3000 год. до 5000 год. і від 5000 год. до 8760 год. Але, як показано в [3], похибка в визначенні економічного перерізу $F_{ек}$ при $T_m = 5000$ год. складає 30%, а при $T_m = 8760$ год. 20% відносно перерізу, який вибирається для середини часового інтервалу.

Для зменшення похибки у визначенні $J_{ек}$ розрахуємо її значення за (1) при зміні T_m через 1000 годин. Значення нормативного коефіцієнту ефективності, норми відрахувань на експлуатацію ЛЕП, середній тариф на електроенергію приймаємо за [4] і постановами НКРЕ: $E_n = 30\%$, $p_{лел} = 5\%$, $b' = 0,141$ т.грн./МВт·г. Результати розрахунків в мережі 110 кВ приведені на рис. 2.



а)



б)

Рисунок 2 – Залежність економічної густини струму у різних районах за ожеледдю:
а) для залізобетонних щогл;
б) для сталевих щогл

використанні сталевих щогл менша за 3,5%, а для IV району – більша ніж 14%. При використанні залізобетонних щогл величини похибок такі: у II районі – не більше 2%; у III – близько 8,3%; у IV району – не перевищує 13,5%. Одержані результати свідчать, що нормування економічної густини струму треба проводити з урахуванням району за ожеледдю. Аналогічні розрахунки, які були виконані для інших номінальних напруг, підтверджують доцільність нормування економічної густини струму окремо для I і II, III і IV районів за ожеледдю. Ця закономірність порушується тільки один раз – для мережі напругою 35 кВ при використанні сталевих щогл. Найбільша похибка дорівнює 6,4%, а в інших випадках менша ніж 3,8%.

Для визначення правомірності встановлення єдиної густини струму для залізобетонних і сталевих щогл було проаналізовано похибку у різних районах за ожеледдю відносно економічної густини струму при використанні залізобетонних щогл. Результати розрахунків показали, що при $U_{ном} = 110$ кВ різниця між густиною струму для сталевих і залізобетонних щогл у I, II і IV районах за ожеледдю не перевищує 2%, а у III

Аналіз розрахованих залежностей для різних напруг і типів щогл показують, що значення $J_{ек}$ мало відрізняються між собою у різних районах за ожеледдю. Виняток складає IV район, але і для нього різниця не перевищує 0,1 А/мм²

Тому у кожному піддіапазоні функцію $J_{ек} = f(T_m)$ у першому приближенні можна вважати лінійною. Тоді середнє значення для піддіапазону розраховується як півсума ординат на межах піддіапазону:

$$J_{ек} = \frac{J_{екi} + J_{екi+1}}{2},$$

де i – номер піддіапазону.

Для обґрунтування можливості використання середніх значень $J_{ек}$ були розраховані похибки в визначенні $F_{ек}$ за величинами $J_{ек}$ на межах піддіапазону і за $J_{ек\text{ ср}}$. Аналіз розрахунків показав, що при збільшенні величини T_m похибка від використання зменшується від 17% у першому підінтервалі (1000-2000 год.) до 2% у останньому підінтервалі (7000-8000 год.). За даними табл. 2.14 [5] найменше значення T_m мають однозмінні споживачі, але його значення складає 2000-3000 год, що відповідає другому розрахунковому підінтервалю. А для нього похибка знижується до 10%. Для T_m більших за 4000 год. (більшість споживачів) похибка не перевищує 5%.

Розрахунок різниці між економічною густиною струму для різних районів за ожеледдю відносно економічної густини у I районі показав, що в мережі 110 кВ величина похибки у II і III районах за ожеледдю при

районі різниця складає майже 8%. При напрузі 35 кВ різниця зростає тим більше, чим вище район за ожеледдю: 3,5% у II, 7,3% у III і 13,3% у IV. Для $U_{ном} = 150$ кВ найбільша різниця у II районі, але вона не перевищує 4,1%. В інших районах різниця значно менша.

Таким чином, у мережі 110 - 150 кВ можна встанови єдину норму густини струму для різних типів щогл. Для напруги 35 кВ доцільніше провести нормування для сталевих і залізобетонних щогл окремо. В мережі 220 кВ за відсутністю даних про витрати на монтаж проводу на залізобетонних щоглах проведено нормування тільки для сталевих щогл.

Нормоване значення визначимо, як середнє значення для різних типів щогл в I і II, III і IV районах за ожеледдю в кожному підінтервалі T_m . Результати розрахунків приведені у табл.2.

Таблиця 2 – Нормоване значення економічної густини струму, А/мм²

Інтервал T_m , год							
1000-2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	5000-6000	6000-7000	7000-8000	8000-8760
Напруга 35 кВ							
Сталеві щогли							
I, II район за ожеледдю							
1,62	1,22	1,02	0,9	0,81	0,75	0,7	0,66
III район за ожеледдю							
1,82	1,37	1,15	1,01	0,91	0,84	0,78	0,74
IV район за ожеледдю							
2,01	1,51	1,27	1,11	1,01	0,93	0,86	0,81
Залізобетонні щогли							
I, II район за ожеледдю							
1,53	1,15	0,97	0,85	0,77	0,71	0,66	0,62
III район за ожеледдю							
1,66	1,25	1,05	0,92	0,83	0,76	0,71	0,67
IV район за ожеледдю							
1,74	1,31	1,1	0,97	0,87	0,8	0,75	0,71
Напруга 110-150 кВ							
Сталеві і залізобетонні щогли							
I, II район за ожеледдю							
1,61	1,21	1,02	0,9	0,81	0,74	0,69	0,65
III район за ожеледдю							
1,67	1,25	1,05	0,92	0,83	0,77	0,71	0,68
IV район за ожеледдю							
1,77	1,34	1,12	0,98	0,88	0,81	0,76	0,72
Напруга 220 кВ							
Сталеві щогли							
I, II район за ожеледдю							
1,98	1,49	1,25	1,1	0,99	0,91	0,85	0,8
III район за ожеледдю							
2,09	1,57	1,32	1,16	1,05	0,96	0,9	0,85
IV район за ожеледдю							
2,16	1,62	1,36	1,2	1,08	0,99	0,93	0,88

Таким чином, доведена необхідність проведення нового нормування економічної густини струму і приведені її значення для сучасних економічних умов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Электрические системы. Электрические сети / В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков; Под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – М.: Вища шк., 1998. – 511 с.
2. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
3. Электрические системы и сети / Н.В. Буслова, В.Н. Винославский, Г.И. Денисенко, В.С. Перхач; Под ред. Г.И. Денисенко. – К.: Вища шк., 1986. – 584 с.
4. Закон Украины о налогообложении прибыли предприятий // Неогоциант. - 1997. - № 24.
5. Справочник по проектированию электросистем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др.; Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.