

УДК 621.311 (075.8)

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕКОНОМІЧНИХ ІНТЕРВАЛІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Ю.Ф.Романюк, А.І.Поточний

ІФНТУНГ, 07619, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48003,
e-mail: feivt@nung.edu.ua

Розглядаються питання вибору оптимального перерізу проводів ліній електропередавання за умовою економічності. Розраховані граничні економічні навантаження кабельних ліній напругою 6-10 кВ, повітряних ліній напругою 110-330 кВ та силових трансформаторів різної номінальної потужності. Визначені економічні інтервали навантажень ліній і трансформаторів за умовою мінімуму дисконтованих витрат з врахуванням сучасних економічних умов.

Ключові слова: електричні мережі, лінії електропередавання, оптимальний переріз, економічні інтервали навантаження

Рассматриваются вопросы выбора оптимального сечения проводов линий электропередачи по условию экономичности. Рассчитаны предельные экономические нагрузки кабельных линий с напряжением 6-10 кВ, воздушных линий напряжением 110-330 кВ и силовых трансформаторов различной номинальной мощности. Определены экономические интервалы нагрузок линий и трансформаторов по условию минимума дисконтированных затрат с учетом современных экономических условий.

Ключевые слова: электрические сети, линии электропередач, оптимальное сечение, экономические интервалы нагрузок

It is estimated maximum economic loading of cable lines 6-10 kV, open-wire line 110-330 kV and reducing substation power transformers of different nominal power. It is defined loading economic intervals for electric lines and transformers according to the condition of discounted charges minimum taking into account modern economic condition.

Keywords: electric networks, lines of electricity transmissions, optimum section, economic intervals of loadings

Економічність роботи електричних мереж залежить від правильного вибору параметрів їх основних елементів – ліній і трансформаторів. У даний час переріз проводів ліній вибирають згідно з ПУЕ за нормованими значеннями економічної густини струму залежно від конструкції лінії, матеріалу проводів і часу використання найбільшого навантаження [1].

Методика вибору перерізу проводів за економічною густиною струму має ряд недоліків. Економічна густина струму була розрахована з припущенням лінійної залежності капітальних вкладень від перерізу проводів. Під час будівництва повітряних ліній застосовують уніфіковані опори, на яких допускається використання проводів кількох стандартних перерізів. Тому при переході на інший тип опор величина капітальних вкладень, а, значить, і розрахункові витрати, змінюються нелінійно від перерізу проводів. Крім того, переріз проводів, який в дійсності змінюється дискретно, вважається у виразі зведених розрахункових витрат неперервним. І навпаки, економічна густина струму була розрахована для порівняно великих діапазонів зміни числа годин використання найбільшого навантаження $T_{нб}$ як дискретна величина, тоді як в насправді вона є неперервною функцією $T_{нб}$. Потрібно також врахувати, що зведені розрахункові витрати залежать не тільки від перерізу проводів, але й від струму $I_{нб}$, який теж може змінюватися з часом. У зв'язку з цим використання нормованих значень економічної густини струму під час вибо-

ру перерізу проводів у ряді випадків дає великі похибки.

Більш точні результати дає метод економічних інтервалів навантажень, вперше запропонований В.М. Блок [2], який враховує дискретність шкали стандартних перерізів проводів і фактичну вартість ліній. Переріз проводів повітряних ліній вибирається за нормативними узагальненими показниками – економічними струмовими інтервалами чи інтервалами економічних потужностей, визначеними за умовою мінімальних розрахункових витрат.

Метод економічних інтервалів використовують тепер для вибору перерізу проводів повітряних ліній напругою 35 кВ і вище [3]. При цьому користуються табличними даними граничних економічних навантажень, наведеними в довідниках, які на даний час є застарілими у зв'язку з подорожчанням електричної енергії і зміною вартості ліній.

Критерієм економічної ефективності інвестицій під час порівняння варіантів ліній з різними перерізами проводів є мінімум питомих дисконтованих витрат B_0 (грн/км)

$$B_0 = \left(1 + \frac{\alpha_e}{100E}\right) K_0 + 3I_{нб}^2 \frac{r_0}{E} \tau \Pi_{ax} 10^{-3}, \quad (1)$$

де: K_0 — питома вартість 1 км лінії, яка наводиться в довідниках залежно від номінальної напруги, кліматичного району, типу опор і марки проводів, грн/км;

r_0 — погонний активний опір лінії, Ом/км;

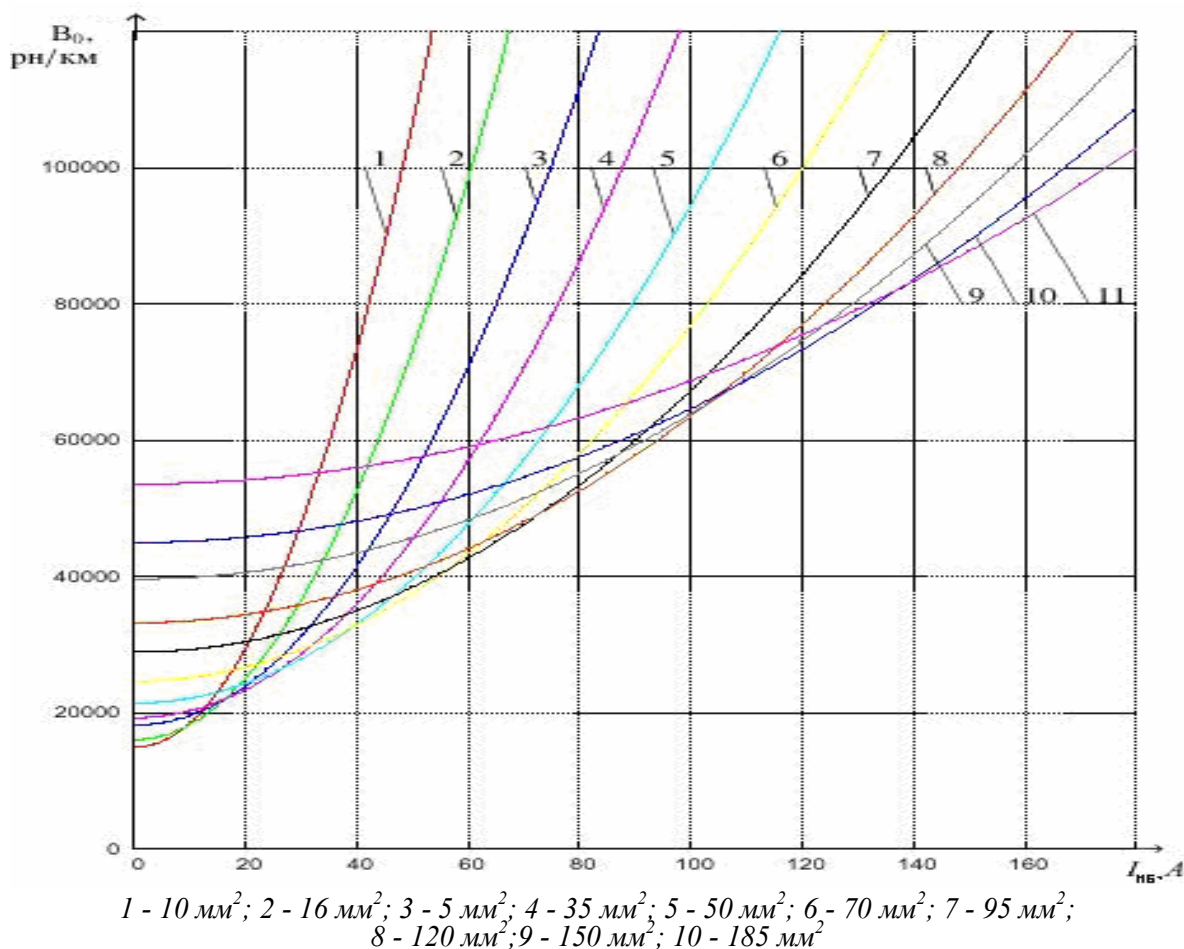


Рисунок 1 – Залежність питомих дисконтованих витрат від струму навантаження для кабельної лінії напругою 6 кВ з алюмінієвим проводом

α_e — норма витрат на технічне обслуговування та ремонт лінії, %;

τ — час найбільших витрат, год;

Π_{ex} — вартість електроенергії, грн/кВт·год;

$I_{нб}$ — найбільший струм навантаження лінії, А;

E — норма дисконту, яка визначається з врахуванням відсоткової ставки Національного банку України для довготермінових вкладів, інфляційних процесів, ступеня ризику інвесторів і рівня ліквідності обладнання.

Як видно з формули (1), питомі дисконтовані витрати залежать не тільки від перерізу проводу (змінними є величини r_0 і K_0), але й від динаміки зміни струму $I_{нб}$, форми графіка навантажень (τ) та вартості електроенергії Π_{ex} .

Побудуємо графік залежностей питомих дисконтованих витрат від струму навантаження $I_{нб}$ для кабельної лінії напругою 6 кВ з різними перерізами алюмінієвих жил за вартості електроенергії 0,5 грн/кВт·год і норми дисконту $E=0,2$. При цьому одержимо серію кривих, які перетинаються (рис. 1). У точках перетину залежностей $B_o = f(I, I_{нб})$ питомі дисконтовані витрати для ліній із суміжними перерізами однакові. Отже, ці варіанти будуть рівноеконічними, тому при їх порівнянні слід вибирати варіант з меншим перерізом проводів.

Значення граничного економічного навантаження для заданого перерізу проводів можна визначити, порівнявши питомі дисконтовані витрати для ліній із заданим і суміжним більшим перерізом. Наприклад, значення граничного економічного навантаження $I_{гр1}$ для перерізу F_1 визначимо, порівнявши дисконтовані витрати для ліній з перерізами F_1 і F_2 ($F_2 > F_1$). При цьому одержимо [4]

$$I_{гр.1} = \sqrt{\frac{\left(E + \frac{\alpha_e}{100}\right)(K_{02} - K_{01})}{3\tau\Pi_{ex}(r_{01} - r_{02})10^{-3}}}. \quad (2)$$

Аналогічно можна визначити граничне економічне навантаження $I_{гр2}$ для перерізу F_2 , при цьому потрібно порівняти дисконтовані витрати для ліній з перерізами проводів F_2 і F_3 .

У результаті проведеної роботи були визначені граничні економічні навантаження для кабельних ліній напругою 6 кВ з алюмінієвими і мідними проводами та повітряної лінії напругою 110 кВ зі сталю-алюмінієвими проводами з врахуванням сучасних економічних умов.

На величину граничного економічного навантаження ліній суттєво впливають такі показники, як ціна на електричну енергію Π_{ex} , форма графіків електричних навантажень (τ) і матеріал проводів. Зі збільшенням вартості електро-

енергії та часу використання найбільшого навантаження $T_{нб}$ (часу найбільших втрат τ) граничні економічні навантаження ліній зменшуються, тобто потрібно збільшувати переріз проводів з метою зменшення втрат електроенергії. При переході на мідь в кабельних мережах граничні економічні навантаження ліній, навпаки, збільшуються, тобто можна вибрати менший переріз жил кабелів.

Нормування економічних інтервалів навантажень відповідно до сучасних економічних умов має важливе практичне значення, оскільки уможлиблює оптимізацію перерізів проводів ліній на стадії проектування та реконструкції електричних мереж.

Метод економічних інтервалів, який використовують для визначення оптимального перерізу проводів ліній, можна застосовувати для вибору оптимальної потужності трансформаторів. Основним критерієм під час порівняння альтернативних варіантів приймемо мінімум дисконтованих витрат.

Сумарні дисконтовані витрати на встановлення та експлуатацію силових трансформаторів визначимо за виразом

$$B_{oc} = \frac{B_e + B_{emp}}{E} + K, \quad (3)$$

де: B_e — річні витрати на технічне обслуговування та ремонт силового трансформатора, грн;

B_{emp} — вартість втрат електроенергії в трансформаторі, грн/кВт·год;

K — розрахункове значення капітальних вкладень на встановлення силового трансформатора, грн.

Річні витрати на технічне обслуговування й ремонт трансформатора визначимо за формулою

$$B_e = \frac{\alpha_e}{100} K, \quad (4)$$

де α_e — норма витрат на технічне обслуговування та ремонт трансформатора, %.

Вартість втрат електроенергії визначимо як

$$B_{emp} = C_{ex} \Delta W, \quad (5)$$

де: C_{ex} — вартість електричної енергії, грн/кВт·год;

ΔW — втрати електроенергії в трансформаторі, кВт·год,

$$\Delta W = \Delta P_k \left(\frac{S_{нб}}{S_{ном}} \right)^2 \tau + \Delta P_x 8760, \quad (6)$$

де: ΔP_k , ΔP_x — відповідно втрати короткого замикання та неробочого ходу трансформатора, кВт;

$S_{нб}$ — найбільша потужність навантаження трансформатора, кВ·А;

$S_{ном}$ — номінальна потужність трансформатора, кВ·А;

τ — час найбільших втрат, год.

Підставивши вирази (4) - (6) у формулу (3), одержимо вираз цільової функції дисконтованих витрат на встановлення та експлуатацію силового трансформатора

$$B_{dc} = \frac{C_{ув} \left(\Delta P_k \left(\frac{S_{нб}}{S_{ном}} \right)^2 \tau + \Delta P_x 8760 \right)}{E} + K \left(\frac{\alpha_e}{100E} + 1 \right) = B_{\Delta W} + B_k. \quad (7)$$

Перша складова дисконтованих витрат $B_{\Delta W}$ у виразі (7) характеризує вартість втрат електричної енергії, яка квадратично залежить від потужності навантаження трансформатора $S_{нб}$. Друга складова B_k характеризує капітальні вкладення та витрати на ремонт й технічне обслуговування трансформатора. Від навантаження $S_{нб}$ ця складова не залежить.

Побудуємо графік залежностей дисконтованих витрат B_{dc} від потужності навантаження $S_{нб}$ для двообмоткових трансформаторів напругою 10 кВ різної номінальної потужності. При цьому одержимо серію кривих, які перетинаються (рис. 2).

У точках перетину залежностей $B_{dc} = f(S_{нб})$ дисконтовані витрати для трансформаторів суміжних номінальних потужностей однакові, тобто такі варіанти будуть рівноеконічними. Отже, у цьому випадку слід вибрати варіант з меншою номінальною потужністю трансформатора. Точки перетину залежностей $B_{dc} = f(S_{нб})$ є границями економічних інтервалів навантаження трансформаторів.

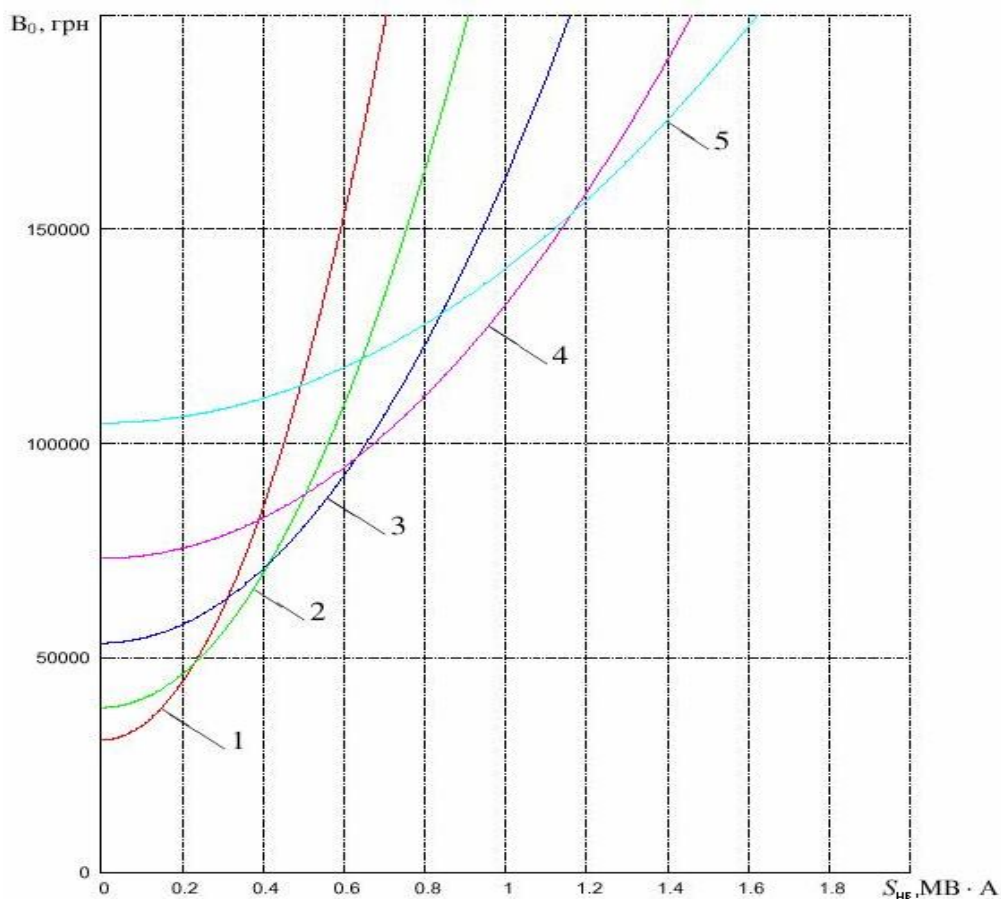
Значення граничного економічного навантаження $S_{гр1}$ для трансформатора потужністю $S_{ном1}$ можна визначити прирівнявши дисконтовані витрати для цього трансформатора з дисконтованими витратами для трансформатора більшої суміжної потужності $S_{ном2}$, при цьому одержимо

$$S_{гр1} = S_{ном1} S_{ном2} \times \sqrt{\frac{8760 C_{ex} (\Delta P_{x2} - \Delta P_{x1}) + (K_2 - K_1) \left(\frac{\alpha_e}{100} + E \right)}{C_{ex} \tau (S_{ном2}^2 \Delta P_{k1} - S_{ном1}^2 \Delta P_{k2})}}. \quad (8)$$

Аналогічно можна визначити граничне економічне навантаження $S_{гр2}$ для трансформатора потужністю $S_{ном2}$, при цьому потрібно прирівняти дисконтовані витрати для трансформаторів номінальною потужність $S_{ном2}$ і $S_{ном3}$.

За результатами розрахунків були визначені економічні інтервали навантажень для трансформаторів напругою 6 – 110 кВ різних номінальних потужностей. В таблиці 1 наведені значення граничних економічних навантажень для двообмоткових трансформаторів з вищою напругою 110 кВ.

Метод економічних інтервалів можна застосувати також для вибору потужності трансформаторів двотрансформаторних підстанцій. Потужність трансформаторів слід вибирати з врахуванням їх перевантажувальної здатності та необхідної надійності електропостачання.



1 – 160 кВ·А; 2 – 250 кВ·А; 3 – 400 кВ·А; 4 – 630 кВ·А; 5 – 1000 кВ·А

Рисунок 2 – Залежність дисконтованих витрат від потужності навантаження двобмоткових трансформаторів з вищою напругою 10 кВ

Таблиця 1 – Результати розрахунку економічних інтервалів навантажень для двобмоткових трансформатора з вищою напругою 110 кВ

Номінальна потужність трансформатора, МВ·А	Граничне економічне навантаження, МВ·А
10	13
16	21
25	36
40	56
63	95

Висновки

1. Необхідно уточнити граничні економічні навантаження проводів ліній електропередавання з врахуванням сучасних умов розвитку енергетики та цінової політики.

2. Рекомендується вибирати перерізи проводів ліній усіх напруг і встановлену потужність трансформаторів методом економічних інтервалів з урахуванням відповідних технічних обмежень.

3. Забезпечення раціональної густини струму в сучасних умовах дозволить майже удвічі зменшити втрати електроенергії в електричних мережах.

Література

- 1 Правила улаштування електроустановок. – Харків : Форт, 2009. - 708 с.
- 2 Блок В.М. Электрические сети и системы. / В.М. Блок. - М. : Высшая школа, 1986. - 432 с.
- 3 Справочник по проектированию электроэнергетических систем / [Ершевич В.В., Зейлигер А.Н., Илларионов Г.А. и др.] ; под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро.– [3-е изд.]. - М. : Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
- 4 Романюк Ю.Ф. Электричні системи та мережі: навч. посіб. / Ю.Ф. Романюк. - Івано-Франківськ : Факел, 1997. - 292 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
16.11.09

Рекомендована до друку професором
В.С. Костишиним