

В.О. Перепечений

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ ВИБІР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ В РАЙОНАХ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ

В статті показані сучасні підходи вибору параметрів кабельних ліній з ізоляцією із зшитого поліетилену з використанням методу економічних інтервалів. На підставі проведеного аналізу й виконаних розрахунків обґрунтована можливість техніко-економічного вибору альтернативної схеми системи електропостачання мікрорайону міста в районах багатоповерхової забудови.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, метод економічних інтервалів, електроспоживання, вибір перерізу.

Постановка проблеми

Як показує аналіз сучасного технічного стану розподільних електричних мереж, значна частина ліній електропередач витратила свій ресурс і вимагає технічного переоснащення, реконструкції й заміни. Такий стан електричних мереж є причиною зростання втрат електричної енергії, погіршення її якості та зниження рівня надійності.

При реконструкції ліній електропередач, повинне бути вирішено завдання техніко-економічного порівняння схем електропостачання, обґрунтованого вибору перерізів проводів і жил кабелів. Як показує досвід, ці завдання є складними, а недостатня їх обґрунтованість може приводити до істотних невиправданих витрат.

При цьому слід мати на увазі існуючу світову тенденцію в промислово розвинених країнах Європи, де значну частину ринку силових кабелів займають нові кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену. Така ж тенденція спостерігається у світі при використанні повітряних ліній електропередач нових конструкцій і нових матеріалів з композитним сердечником. [1,2]

Виклад основного матеріалу

У загальному випадку, в основу формування техніко-економічної моделі об'єкта розподільних електричних мереж покладемо показник економічної ефективності, такий як наведені дисконтировані витрати [3].

$$Z = \sum_{t=1}^{T_p} (K_t + I \sum_t - K_{лікв}) (1 + E)^{-t}, \quad (1)$$

де T_p - розрахунковий період;

K_t - капіталовкладення за рік;

$I \sum_t$ - сумарні експлуатаційні витрати за рік;

E - норматив дисконтування;

$K_{лікв}$ - ліквідаційна вартість.

Вибір перерізів проводів і жил кабелів у мережах напругою вище 1000 В, відповідно до норм [5],

слід виконувати за економічними міркуваннями. Найпростішим вважається метод вибору перерізів за економічною щільністю струму

$$F = \frac{I_p}{j_{ек}}, \quad (2)$$

де F - економічний переріз проводу або жили кабелю, мм²;

I_p - розрахункове значення струму, А;

$j_{ек}$ - нормована економічна щільність струму.

Такий підхід має граничну простоту, однак має ряд серйозних недоліків:

- наведені нормовані значення економічної щільності струму [6] були встановлені ще в 50-х роках минулого сторіччя. До теперішнього часу вартісні співвідношення (електроустаткування, вартість електроенергії) істотно змінилися;

- шкала стандартних перерізів носить дискретний характер. При визначенні перетинів по $j_{ек}$ знайдені економічні перерізи проводів і жил кабелів слід округляти до стандартних величин, тобто метод не дає однозначних рішень;

- запропоновані значення економічної щільності струму залежно від числа годин використання максимуму навантаження були однаковими для всіх районів країни, затверджуючи принцип загальної зрівнялівки. Сучасна економічна політика України, в основу якої закладені ринкові відносини й вимоги ресурсо- і енергозбереження, змушує при проектуванні й будівництві ліній електропередач урахувати індивідуальні умови в кожному конкретному випадку.

З огляду на це, вибір перерізів за нормованою економічною щільністю струму $j_{ек}$ не може бути рекомендованим для застосування при проектуванні. Для перерізів у мережах вище 1000 В слід користуватися методом економічних інтервалів, що практично вільний від всіх перерахованих недоліків методу нормованої щільності струму [3].

Сутність методу економічних інтервалів складається у визначенні граничного струму $I_{ep(i+1)}$ двох суміжних перерізів ліній і ґрунтується на наступних допущеннях:

- лінія електропередач споруджується протягом першого року будівництва при одноразових капітальних вкладеннях. У цьому випадку дисконтування (приведення витрат до одного року) не потрібно;
- щорічне відрахування на обслуговування, вартість витрат $C_0 = const$ і форма графіка навантаження $T_M = const$ залишаються постійними;

У цих випадках формула витрат стає простішою й буде мати вигляд [3]

$$Z = (E_n + P_a)K + 3I^2 r_0 C_0 \tau \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

де K - капіталовкладення в будівництво;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності;

C_0 - вартість витрат електроенергії, грн/кВт·год;

P_a - відрахування на амортизацію кабелю;

r_0 - питомий опір жили кабелю, Ом/км;

τ - час максимальних витрат, год.

Дорівнявши витрати суміжних перерізів кабелю $Z_i = Z_{i+1}$ й вирішивши рівняння щодо струму I , одержимо значення граничного струму $I_{ep(i,i+1)}$ для перерізу F_{i+1} [3]:

$$I_{ep(i,i+1)} = \sqrt{\frac{E_a + P_a}{3C_0\tau \cdot 10^{-6}}} \cdot \sqrt{\frac{k_{i+1} - k_i}{r_{0i} - r_{0i+1}}} = D \sqrt{\frac{\delta k_{i+1}}{\delta r_{0i+1}}}. \quad (4)$$

В Україні, у наслідок соціально-економічних перетворень, що відбулися в країні, переходу до ринкових відносин, серед деяких фахівців зложилася думка про неправомірність використання наведених витрат як критерій техніко-економічної ефективності обраного варіанта при проектуванні. При цьому, при прийнятті рішень, був поставлений критерій не мінімізації витрат, а максимізації чистого прибутку. Однак, у результаті проведених дискусій було встановлено, що підходить, інформаційні технології, нормативні документи, які ґрунтувалися на методі наведених витрат і використовувалися в умовах адміністративно-планової економіки, у сучасних умовах ринкових відносин не втратила наукової й практичної цінності і їх необхідно застосовувати [5,6].

При техніко-економічному порівнянні варіантів можуть не мати принципового значення абсолютні характеристики витрат. Важливо тільки, щоб у розрахунках приймалися вартісні показники в одній економічній системі координат. Однакові види витрат у порівнюваних варіантах можуть бути виключені.

Вибір варіанта побудови електричної мережі за мінімумом наведених витрат дає при наступній експлуатації максимізацію прибутку, незалежно від форми власності в галузі. Область застосування наведених витрат повинна обмежуватися, як і раніше,

лише техніко-економічним порівнянням варіантів електроустановок і не замінити собою показники економічної діяльності.

Останні роки спостерігається інтенсивне зростання електроспоживання, особливо в більших містах, завдяки висотній забудові нових мікрорайонів і широким впровадженням потужних електроприладів. Це привело до того, що на ряді із проектуванням трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ потужністю трансформаторів 2×630 кВ·А, все частіше використовуються сучасні підстанції із трансформаторною потужністю 2×1000 кВ·А. Так, ще в 2003 році в МКС із 370 знов введених трансформаторних підстанцій 270 мали трансформатори 2×1000 кВ·А [7].

На жаль, ні в діючих нормативних документах, ні в технічних журналах не вдалося знайти обґрунтування області застосування трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ потужністю 2×630 кВ·А та 2×1000 кВ·А.

У зв'язку з тим, що нині істотно зросли вартісні показники електроустановки, вартість електроенергії, широке використання нового сучасного електроустановки (ізолювані самонесучі проводи, кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену, сучасна електроапаратура та ін.) дозріла ідея провести повне й ретельне техніко-економічне обґрунтування двох варіантів системи електропостачання мікрорайону розміром 250×200 м, де розташовані житлові й суспільні будинки (рис. 1).

1. Два будинки з електроплитами, 24 поверху, 4 секції (А).
2. Два будинки з електроплитами, 24 поверху, 2 секції (Б).
3. Чотири будинки з електроплитами, 24 поверху, 1 секція (В).
4. Будинок з електроплитами, 24 поверху, 2 секції (М).
5. Кінотеатр (К).
6. Школа (Е) і інші приміщення [9].

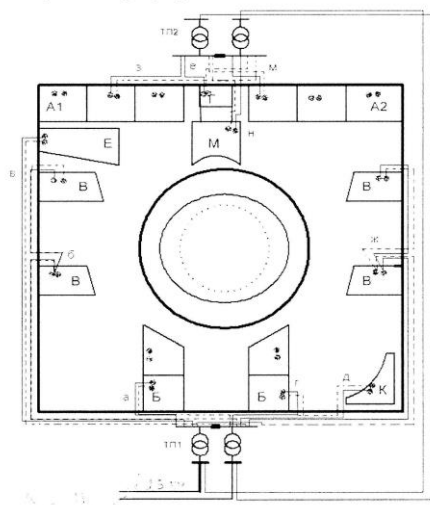


Рис. 1. План і схема електропостачання мікрорайону

Електропостачання споживачів мікрорайону здійснюється від підстанції 110/10 кВ, що перебуває на відстані 1,5 км. У статті розглянуто 2 варіанти

схеми електропостачання мікрорайону із трансформатором 2×630 кВ·А и 2×1000 кВ·А із АВР на стороні 0,4 кВ.

Визначення розрахункових електричних навантажень житлових будинків і суспільних приміщень здійснювалося з використанням директивного документа "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення ДБН В.2.5-23-2003, Київ, 2004 р." [8].

Розрахункові електричні навантаження в різних вузлах електричної мережі визначалися відповідно до рекомендацій ДБН [8].

Для розподільної мережі 10 кВ прийнята двопробенева схема із трансформаторами 2×1000 кВ·А із АВР на стороні 0,4 кВ. Враховуючи, що графіки електричних навантажень в житлових районах істотно нерівномірні, то для трансформаторів допускається в післяаварійному режимі перевантаження до (1,6-1,8) $S_{нпр}$ та відповідно навантаження у нормальному режимі (0,8-0,9) [9].

У мережі 10 кВ застосований силовий кабель із ізоляцією зі зшитого поліетилену марки АПВП. Такі сучасні кабелі мають безсумнівні переваги перед силовими кабелями з паперовою просоченою ізоляцією [1]:

- підвищене робоче припустиме навантаження, що дозволяє збільшити пропускну здатність кабелю;
- підвищена стійкість при роботі в умовах перевантажень і коротких замикань;
- можливість прокладки на трасах з необмеженою різницею рівнів;
- не містить масла, бітуму, свинцю, що спрощує монтаж і експлуатацію кабелю;
- більш надійні в експлуатації та вимагають менших витрат на реконструкцію кабельних ліній;
- менша вага й припустимий радіус вигину;
- більша будівельна довжина кабелю;
- заводи випускають кабелі зі зшитого поліетилену на напругу від 6 до 500 кВ.

ПУЕ [5] передбачають здійснювати вибір перерізів проводів і жил кабелів у мережах (6-750 кВ) за економічними міркуваннями. У табл. 1 наведені деякі параметри КЛ-10 кВ трехжильного кабелю марки АПВП й економічні інтервали для конкретного об'єкта проектування.

Таблиця 1. Параметри КЛ-10 кВ АПВП і економічні інтервали.

F_i мм ²	50	70	95	120	150	185	240	
K_0 , тис.грн	81	99	121	144	171	200	248	Одес-кабель
r_0 Ом/км	0,62	0,44	0,33	0,258	0,206	0,167	0,129	Питомі опори
$I_{zp(i,i+1)}$ А	0-84	84-118	118-154	154-193	193-227	227-302	302	Економічні інтервали

$$T_m = 3000 \text{ год}, C_0 = 0,51 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}.$$

У табл. 2 зазначені економічні щільності струму середні для кожного інтервалу струму.

Таблиця 2. Середні економічні щільності струму А/мм²

50	70	95	120	150	185
$i_{эк} = 0,84$	$i_{эк} = 0,84$	$i_{эк} = 0,84$	$i_{эк} = 0,84$	$i_{эк} = 0,84$	$i_{эк} = 0,84$
84	118	154	193	227	302

\xrightarrow{IA}

На рис. 1 зображений план і схема електропостачання мікрорайону міста для варіанта із трансформаторами 2×1000 кВ·А.

Для забезпечення сталості економічного перерізу за всю довжину лінії 10 кВ (рис. 2) необхідно розрахувати еквівалентний струм $I_{эк}$ - це такий умовний струм сумарного навантаження, що будучи прикладеним наприкінці реальної лінії довжиною L з перерізом $F = \text{const}$, викликає в ній такої ж втрати потужності як і в реальній лінії зі змінними економічними перерізами F_i на окремих її ділянках [11].

$$I_{эк} = \frac{\sum_1^n I_i L_i}{\sum_1^n L_i} = 81 A. \quad (5)$$

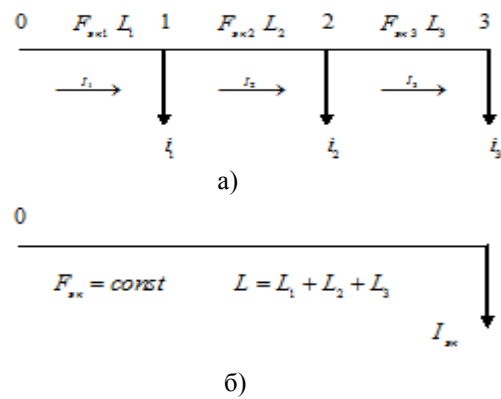


Рис. 2. Розрахункова магістральна лінія
а) реальна розрахункова лінія
б) еквівалентна лінія

Знайдені значення еквівалентного струму $I_{эк} = 81 A$ відповідає економічному перерізу $F=50$ (табл.1), що практично примикає до границі наступного інтервалу перерізу $F=70$. Тому з метою зниження втрат потужності в лінії приймаємо перетин $F=70$. Знайдений економічний перетин повинне бути перевірено за технічними обмеженнями – за нагрівом струмами нормального й післяаварійного режимів, а також термічної стійкості СКЗ. Обмеження виявилися неактивними, тому остаточно приймаємо кабель АПВП 3×70 [12].

Кабелі марки ААБл чотирьохжильні для ліній 0,38 кВ обиралися за припустимою втратою напруги на сталість перерізу, з наступною перевіркою за нагріванням струмами в нормальному й післяаварійному режимах.

Аналогічні розрахунки були проведені й для варіанта схеми електропостачання із трансформаторами 2×630 кВ·А.

На підставі проведеного аналізу й виконаних розрахунків є можливість провести техніко-економічний вибір альтернативної схеми системи електропостачання мікрорайону міста з використанням трансформаторів 10/0,4 кВ потужністю 1000 кВ·А або 630 кВ·А.

Сумарні наведені витрати, які пов'язані з реалізацією схеми електропостачання мікрорайону Z_{Σ} складаються із трьох тридцятилітніх: $Z_{ТП}$ - витрати на ТП, $Z_{кл10}$ - витрати на КЛ 10 кВ, $Z_{кл0,38}$ - витрати на КЛ 0,38 кВ.

$$Z_{\Sigma} = Z_{ТП} + Z_{кл10} + Z_{кл0,38} \quad (6)$$

$$Z_{ТП} = n_{ТП} \left[(E_n + P_a) K_{ТП} + \Delta P_T^{K3} \cdot \beta^2 C_0 \tau + \Delta P_T^{XX} C_0 8760 \right] \quad (7)$$

$$Z_{кл10} = \left[(E_n + P_a) \sum_1^n K_{oi}^{10} l_i + \Delta P_{кл\Sigma}^{10} \cdot C_0 \tau \right] \quad (8)$$

$$Z_{кл0,38} = \left[(E_n + P_a) \sum_1^n K_{oi}^{0,38} l_i + \Delta P_{кл\Sigma}^{0,38} \cdot C_0 \tau \right] \quad (9)$$

У зведеній табл. 3 наведені результати розрахунків для двох варіантів схеми електропостачання мікрорайону із трансформаторами 1000 кВ·А та 630 кВ·А.

Таблиця 3: Результати розрахунку двох варіантів мережі

Варіант розрахунку	Кільк. ТП, шт.	$Z_{ТП}$ тис. грн	$Z_{кл10}$ км	$Z_{\Sigma кл}^{10}$ тис. грн	$Z_{кл0,38}$ км	$Z_{\Sigma кл}^{0,38}$ тис. грн	Z_{Σ} тис. грн
ТП-1000	2	436	4	98	1,3	105	639
ТП-630	4	532	4,3	97	0,9	98	727

Як показали результати розрахунків, сумарні наведені витрати варіанта мережі із трансформаторами 10/0,4 кВ потужністю 1000 кВ·А оказались меншими за варіантом із трансформаторами потужністю 630 кВ·А, тобто схему мережі з трансформаторами 1000 кВ·А слід вважати прийнятнішою.

Висновки

1. Методична база техніко-економічних розрахунків при порівнянні варіантів електроустановок показує, що як критерій оптимальності прийнятих розрахунків може бути застосований метод мінімуму наведених витрат.

2. У випадку коли лінії електропередач і підстанції в системах електропостачання споруджуються протягом першого року при одноразових капіта-

ловкладеннях, то наведені витрати можуть не дисконтуватися.

3. Вибір економічних перерізів проводів і жил кабелів слід проводити використовуючи метод економічних інтервалів. Це дозволяє враховувати дискретність шкали стандартних перерізів і одержувати однозначні й більше обґрунтовані рішення й тим самим сприяти рішенням проблеми ресурсо- і енергозбереження.

4. Вибір перерізу в магістральних кабельних лініях 10 кВ із відбором потужності по довжині лінії слід розраховувати використовуючи поняття еквівалентного струму $I_{екв}$, що дозволяє одержувати економічно обґрунтований постійний переріз жил кабелю за всією довжиною магістралі.

Література

1. Руководящий материал по сооружению и эксплуатации кабельных линий с использованием кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжении 6-35 кВ.- Харьков.-2007.-65с.
2. Жан-Франко Гоффинет Существование линии не могут обеспечить увеличение пропускной способности.//Transmission, Distribution World.-2012, №4.- с. 18-22.
3. В.В.Зорин К вопросу о выборе параметров линий электропередач//Энергетика: экономика, технологии, экология.-2008, №2.- с. 61-67.
4. М.Ш.Мисреханов и др. О технико-экономическом сравнении вариантов при проектировании// Электрические станции.-2007. №2.- с.2-8.
5. Правила устройств электроустановок.- М:изд.Энергосервис.-2002.-60бс.
6. В.В.Зорин и др. Экономическое обоснование технических решений в системах электроснабжения общего назначения в рыночных условиях//Международный научно-практический семинар.-Минск БНТУ.-2011.-с.181-192.
7. Л.Ф.Плетнев внедрение современного электрооборудования на трансформаторных подстанциях Московской кабельной сети//Энергетик.-2004. №4.-с.18-20.
8. Проектирование электрообладнання об'єктів цивільного призначення ДБН.2.5-23-2003.-2004.-129 с.
9. Інструкція з проектування електромереж 110-0,38 кВ.-Київ.-2004.-44с.
10. Визначення економічної ефективності капітальних вкладів в енергетику ТКБ 340.000.002-97.-Київ.-1997.-21.-21с.

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук проф. В.Ф. Рой, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова.

Автор: ПЕРЕПЕЧЕНИЙ Віталій Олександрович Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, кандидат технічних наук, доцент

TECHNICAL-ECONOMIC CHOICE OF SYSTEMS ELECTRIC POWER SUPPLY OF THE CITY MULTISTORY BUILDING

V.O.Perepecheniy

In the article modern approaches of choice of parameters of cable busses are shown with an isolation from the sewn together polyethylene with the use of method of economic intervals. On the basis of the conducted analysis and executed calculations implementations of technical-economic choice of alternative chart of the system of power supply of the city of districts of multistory building are reasonable.

Keywords: distributive electric networks, method of economic intervals, power supply, choice of section.