

УДК 621.315.3-93

В.О. Перепечений

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

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В РАЙОНАХ З МАЛОЮ ЩІЛЬНІСТЮ НАВАНТАЖЕННЯ

У статті наведені результати досліджень параметрів й режимів електричних мереж напругою 6(10) і 0,38 кВ щодо надійності та капіталовкладень. Проведено аналіз існуючих методів передпроектної оцінки параметрів електричних мереж районів малої щільності навантаження. Метою досліджень стало вдосконалення існуючих методів на основі роздільного врахування надійності мережі 0,38 кВ і 6(10) кВ. Запропоновано метод оптимізації параметрів розподільної мережі 0,38 кВ в умовах невизначеності вхідної інформації.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, наведені витрати, число споживачів, вибір перерізу.

Постановка проблеми в загальному виді.

Система електропостачання є складною системою з характерними для таких систем властивостями: динамікою розвитку, безліччю цілей функціонування і невизначеністю частини вхідної інформації. Дві останні властивості мають на увазі необхідність рішення завдань оптимізації для систем електропостачання за багатокритерійній моделі.

Численні дослідження параметрів і режимів мереж показали, що найбільш капіталомісткими й малонадійними, незважаючи на, практично, подвійне резервування, є розподільні мережі 6(10) і 0,38 кВ. Їх довжина сьогодні досягає десятки тисяч кілометрів, і становлять до 70% довжини всіх розподільних мереж "Облэнерго", а втрати активної електроенергії в розподільних мережах досягають близько 60 % всіх втрат енергії в мережах "Облэнерго". Рівною мірою це ставиться й до рівня капіталовкладень у мережах, які становлять до 40 % всіх капітальних вкладень. Це спричиняється підвищення уваги до співвідношення рівня капітальних вкладень і втрат активної потужності в мережах і вимагає вдосконалення існуючих методів розрахунку й принципів побудови розподільних мереж 6(10) і 0,38 кВ.

Найважливішими факторами, що визначають рівень капітальних вкладень, значення втрат активної потужності, якість електроенергії й надійність електропостачання споживачів у мережах є їхні схеми й параметри.

При складанні схеми електропостачання населеного пункту головним питанням є вибір технічного рішення, що спричиняє оптимальні: конфігурацію, параметри, напругу, принципи регулювання напруги й компенсації реактивної потужності. Такого роду рішення обґрунтовуються техніко-економічним порівнянням ряду технічно прийнятних варіантів схем електропостачання. Важливим заходом, що спрощує завдання вибору найбільш економічного варіанта, є передпроектна оцінка питання вибору оптимальної потужності

мережних трансформаторних підстанцій (ТП) за допомогою розрахункових формул.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Обґрунтована оптимальна побудова розподільних електричних мереж можливо тільки при повноцінному обліку їхніх залежностей із суміжними системами. Однак конкретні оптимізаційні рішення реально досяжні тільки за умови виділення електропостачання міст із великої системи електроенергетики. Загальна теорія декомпозиції більших систем електроенергетики розглядається в [1] і ін., однак тут не вримуються необхідні конкретні матеріали.

Основним параметром міської розподільної електричної мережі, що визначає схему побудови й параметри всіх інших її елементів, є потужність трансформаторної підстанції. При виводі формул оптимальної потужності ТП, оптимального їхнього числа [2] або при визначенні найвигіднішої відстані від ТП до точки з найбільшою втратою напруги [3], на ранніх етапах розвитку мереж виходили із припущення рівномірного розподілу навантаження по території району. Досить докладний і коректний аналіз виражень для оптимальної потужності ТП раннього періоду зроблений в [3].

Надалі цей напрямок дослідження оптимальних параметрів мережі, з урахуванням конкретних умов, одержало розвиток у роботах В.А.Козлова [4].

Питання, пов'язані з рішенням перерахованих завдань, вже розглядалися в багатьох роботах, але не були визначені домірності засобів, затрачуваних на спорудження мереж.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою досліджень є вдосконалення існуючих методів передпроектної оцінки параметрів електричних мереж районів малоповерхової забудови на основі роздільного врахування фактора надійності мережі 0,38 кВ і 6-10 кВ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Існуючі розрахункові формули визначення оптимальної потужності ТП у районах малоповерхової забудови отримані при мінімізації рівнянь наведених

витрат або капіталовкладень із використанням питомих показників навантаження, що характеризують щільність її на розглянутій території.

Поверхнева щільність навантаження використана як питомий показник $\sigma(\kappa B \cdot A / \text{га}; \kappa B \cdot A / \text{км}^2)$ або лінійна щільність навантаження $\delta \kappa B \cdot A / \text{км}; \kappa B \cdot A / \text{м}$, для визначення яких необхідно знати сумарне навантаження району й поверхневу площу забудови, що не представляє великої праці.

Однак розрахункове навантаження комунально-побутових споживачів залежить від характеристики споживачів і їх числа, приєднаних до лінії ТП. У загальному виді ця залежність має вигляд

$$S_p = S_{y\delta} \cdot k_{одн} \cdot n, \quad (1)$$

де n - число споживачів; $S_{y\delta}$ - питоми навантаження окремих споживачів, $\kappa B \cdot A$; $k_{одн}$ - коефіцієнт одночасності, що може бути виражений у функції від числа споживачів у вигляді

$$k_{одн} = a_n + \frac{b_n}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

де a_n й b_n - коефіцієнти інтерполяції.

Отже, розрахункове навантаження від комунально-побутових споживачів населеного пункту або групи споживачів буде дорівнювати

$$S_p = S_{y\delta} \cdot (a_n \cdot n_{\Sigma} + b_n \cdot \sqrt{n_{\Sigma}}), \quad (3)$$

де n_{Σ} - сумарне число споживачів.

При виводі розрахункових формул для визначення оптимальної потужності ТП, відзначених вище, приймалися наступні допущення. Розрахункове навантаження ТП визначалося за формулою

$$S_{ТП} = \frac{S_p}{N}, \quad (4)$$

де N - число ТП.

Навантаження лінії 0,38 κB за формулою

$$S_l = \frac{S_{ТП}}{m}, \quad (5)$$

де m - число ліній 0,38 κB , що відходять від ТП.

Тобто, в обох випадках не враховується вплив коефіцієнта одночасності, що залежить від кількості підключених до ТП або лінії споживачів.

Як показують розрахунки, помилка у визначенні оптимального навантаження ТП при використанні розрахункового навантаження району може скласти від 10 до 25%, а помилка у визначенні оптимальних перерізів ліній 0,38 κB - від 25 до 40 %, при числі споживачів району від 500 до 1500.

При збільшенні n_{Σ} вище зазначені помилки будуть зростати. Складна залежність між числом споживачів, підключених до ТП і до ліній 0,38 κB , і

потужністю трансформаторів, установлених у ТП, не дозволяє ввести поправочний коефіцієнт.

Меншу погрішність дасть методика визначення оптимальних параметрів мережі після попереднього визначення оптимального числа споживачів, що підключаються до однієї ТП, використовуючи в якості вхідних даних щільність розподілу споживачів по території і питоми навантаження окремих споживачів.

Число й сумарна довжина ліній у населеному пункті з малоповерховою забудовою мало змінюється зі зміною числа підстанцій. Тому вважаємо, що загальна довжина їх залишається постійною й дорівнює в зоні дії однієї ТП.

$$L_H = l_0 \cdot n_l \cdot m, \quad (6)$$

де l_0 - середня відстань між споживачами, км ; n_l - число споживачів, підключених до однієї лінії; m - число ліній, що відходять від ТП.

У реальних умовах щільність і характер розташування споживачів можуть бути досить різноманітні. Для узагальнення досліджень неминуча певна ідеалізація схеми мережі. Оскільки така ідеалізація поширюється на конкретний район для ряду варіантів схем електропостачання, то неточність, допущена для одного варіанта, буде також допущена й для іншого, отже, обидва варіанти будуть мати однакові погрішності.

Представивши лінію 0,38 κB у вигляді магістралі з відпайками, де відстань між навантаженнями й перетин по всій довжині незмінні, припустивши, що відпайки рівномірно розподілені по довжині магістралі можна одержати для такої лінії лінійний момент у вигляді

$$M_l = S_l \cdot l_0 \cdot n_l \cdot k_H, \quad (7)$$

де k_H - коефіцієнт розподілу навантажень за напругою.

Коефіцієнт розподілу навантажень за напругою для такої моделі лінії буде дорівнювати

$$k_H = \frac{0.5}{1 + \alpha_M}, \quad (8)$$

де α_M - відношення числа навантажень на відгалуженні до загального їх числа, підключеному до лінії.

Втрати потужності в лінії будуть рівні

$$\Delta W_l = \frac{S_l^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{U_H^2 \cdot k_{\Sigma}^2 \cdot F} \cdot l_0 \cdot n, \quad (9)$$

де ρ - питомий опір матеріалу проведення, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{км}$; τ - час матеріальних втрат, $\text{год} / \text{рік}$; U_H - номінальна напруга мережі, κB ; F - переріз проводів, мм^2 ; k_{Σ} - коефіцієнт розподілу навантажень за потужністю, для розглянутої моделі лінії з точністю до 10 % можна визначити за формулою

$$k_3 = 1.58 \cdot (1 + \alpha_m), \quad (10)$$

Прийнявши, що до ліній, що відходять від ТП, підключене рівне число навантажень, при числі ліній m , навантаження однієї лінії буде дорівнює

$$S_L = S_{y\partial} \cdot \left(\frac{a_H \cdot n_{ТП}}{m} + \frac{b_H \cdot \sqrt{n_{ТП}}}{\sqrt{m}} \right), \quad (11)$$

де $n_{ТП}$ - число навантажень підключених до ТП.

Для одержання мінімуму наведених витрат на мережі 0,38 кВ, перетин ліній необхідно вибирати виходячи з економічних міркувань, тобто по економічній щільності струму (j_3).

$$F_1 = \frac{S_L}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot k_3 \cdot j_3}, \quad (12)$$

Обраний перетин повинне задовольняти технічним обмеженням. Технічними обмеженнями в розгалужених нерезервованих розподільних мережах є механічна міцність і припустима втрата напруги ΔU_{∂} . Для повітряних ліній по механічній міцності мінімальний переріз алюмінієвого проводу $F_2 = 16 \text{ мм}^2$.

Переріз, обумовлений за припустимою втратою напруги ($\Delta U_{\partial} \%$),

$$F_3 = \frac{S_L \cdot \rho \cdot l_0 \cdot n_{ТП} \cdot k_H \cdot \xi}{10 \cdot U_H^2 \cdot \Delta U_{\partial} \% \cdot m}, \quad (13)$$

де ξ - коефіцієнт, що характеризує опір проводів і коефіцієнт потужності навантаження,

$$\xi = \cos \varphi + \frac{x_0}{r_0} \cdot \sin \varphi, \quad (14)$$

Для повітряних мереж 0,38 кВ при $\cos \varphi = 0.95$ $\xi \cong 1.05$.

Для визначення областей застосування формул вибору перерізів за $j_3, \Delta U_{\partial} \%$ і механічної міцності, дорівнюємо

$$F_2 = F_1; \quad F_1 = F_3 \quad \text{і} \quad F_2 = F_3.$$

вибір перерізу проводів ліній 0,38 кВ доцільно здійснювати за (12) при числі навантажень на одній лінії

$$n_L \geq \left(-\frac{b_H}{2a_H} + \sqrt{\frac{b_H^2}{4a_H^2} + \frac{\sqrt{3} \cdot F_2 \cdot U_H \cdot k_3 \cdot j_3}{S_{y\partial} \cdot a_H}} \right), \quad (15)$$

і при довжині ліній

$$n_L \cdot l_0 \leq \frac{10 \cdot U_H \cdot \Delta U_{\partial} \%}{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot j_3 \cdot k_H \cdot k_3 \cdot \xi}, \quad (16)$$

вибір проводів по $\Delta U_{\partial} \%$ доцільно здійснювати при

$$n_L \cdot l_0 \geq \frac{10 \cdot U_H \cdot \Delta U_{\partial} \%}{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot j_3 \cdot k_3 \cdot k_H \cdot \xi}, \quad (17)$$

та

$$n_L \cdot l_0 \geq \frac{10 \cdot U_H^2 \cdot \Delta U_{\partial} \% \cdot F_2}{\rho \cdot \xi}, \quad (18)$$

Аналіз областей використання різних способів вибору перетинів для ліній на залізобетонних опорах показав, що при числі навантажень, підключених до лінії, 21 і більше й при довжині ліній $n_L \cdot l_0$ до 1 км доцільно вибирати перетин по j_3 .

З огляду на вищесказане, наведені витрати на мережу 0,38 кВ можна представити при визначенні F по j_3 , як

$$Z_{HH} = [p_{\Sigma L} \cdot K'_L \cdot l_0 \cdot n_{ТП} + 2 \cdot \frac{S_{y\partial} \cdot \left(\frac{a_H \cdot n_{ТП}}{m} + \frac{b_H \cdot \sqrt{n_{ТП}}}{\sqrt{m}} \right)}{U_H \cdot k_3} \times \\ \times \sqrt{p_{\Sigma L} \cdot K''_L \cdot \rho \cdot \tau \cdot c_3 \cdot 10^{-3} \cdot l_0 \cdot n_{ТП}}] \cdot N, \quad (19)$$

де $p_{\Sigma L}$ - відрахування на амортизацію, ремонт і обслуговування ліній 0,38 кВ, в.о.; C_3 - вартість витраченої електроенергії, грн/кВт·ч; k' і k'' - частина вартості 1 км лінії незалежна й залежна від перерізу, відповідно, грн/км, грн/км·мм².

$$Z_{HH} = [p_{\Sigma L} \cdot K'_L \cdot l_0 \cdot n_{ТП} + p_{\Sigma L} \cdot K''_L \times \\ S_{y\partial} \cdot \left(\frac{a_H \cdot n_{ТП}}{m} + \frac{b_H \cdot \sqrt{n_{ТП}}}{\sqrt{m}} \right) \cdot \rho \cdot l_0^2 \cdot n_{ТП}^2 \cdot k_H \cdot \xi \\ \times \frac{1}{U_H \cdot k_3} + S_{y\partial} \cdot \left(\frac{a_H \cdot n_{ТП}}{m} + \frac{b_H \cdot \sqrt{n_{ТП}}}{\sqrt{m}} \right) \cdot \frac{m \cdot \tau \cdot c_3 \cdot \Delta U_{\partial} \% \cdot 10^{-2}}{k_3^2 \cdot k_H \cdot \xi}] \cdot N, \quad (20)$$

при визначенні F по $\Delta U_{\partial} \%$.

Наведені витрати на спорудження й експлуатацію ТП

$$Z_{ТП} = \left[(p_H + p_{ТП}) \cdot K_{ТП} + \Delta W_{ТХ} \cdot c_3^x + \Delta W_{ТК} \cdot c_3^k \right] \cdot N, \quad (21)$$

де $K_{ТП}$ - капіталовкладення в ТП, грн; $\Delta W_{ТХ}$ - втрата електроенергії в сталі трансформаторів, кВт; $\Delta W_{ТХ} = \Delta P_X \cdot T_B$; $\Delta W_{ТК}$ - втрата електроенергії в обмотках трансформаторів, кВт;

$\Delta W_{ТК} = \Delta P_K \cdot \left(\frac{S_p}{S_H} \right)^2 \cdot \tau$; c_3^x, c_3^k - вартості загубленої електроенергії, грн/кВт·год; S_p, S_H - розрахункові й номінальне навантаження трансформаторів, кВ·А;

T_B - час включеного стану трансформатора, год · рік.

Приймаючи наведені витрати на мережу рівними сумі витрат на ТП і мережа 0,38 кВ, відносячи їх до одиниці довжини мережі

$$0,38 \text{ кВ, тобто } Z_{c \text{ уд}} = \frac{Z_c}{l_0 \cdot n_{ТП} \cdot N}.$$

На рис.1 представлені залежності $Z_{c \text{ уд}} = f(l_0)$ при певних вихідних даних.

Число споживачів, підключених до трансформатора заданої потужності, визначалося із співвідношення

$$S_{ТП} \cdot k_{з1} = S_{уд} \cdot (a_n \cdot n_{ТП} + b_n \cdot \sqrt{n_{ТП}}), \quad (22)$$

де $k_{з1}$ - коефіцієнт завантаження трансформатора комунально-побутовим навантаженням (залежить від співвідношення комунально-побутового й іншого навантаження в даному житловому районі).

$$n_{ТП} = \left(-\frac{b_n}{2 \cdot a_n} + \sqrt{\frac{b_n^2}{4 \cdot a_n^2} - \frac{S_{ТП} \cdot k_{з1}}{S_{уд} \cdot a_n}} \right)^2, \quad (23)$$

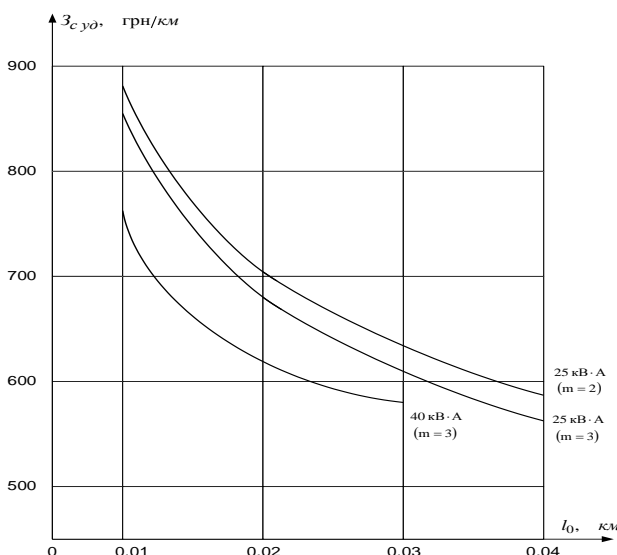


Рис.1. Залежність $Z_{c \text{ уд}} = f(l_0)$ для комплектних ТП і ліній 0,38 кВ на залізобетонних опорах

Зона економічності використання ТП тієї або іншої потужності може бути визначена в загальному виді аналітично з рівності

$$Z_{c \text{ уд} 1} = Z_{c \text{ уд} 2}, \quad (24)$$

де індекси 1 і 2 ставляться до ТП суміжних потужностей.

Розкриваючи зміст (24), можна отримати середню відстань між споживачами, при яких

доцільно переходити на ТП меншої потужності

$$l_0 = \frac{A_{1(2)} - A_{1(1)}}{S_{уд} \cdot C_1 \cdot \left[a_n \cdot (n_{л1} - n_{л2}) + b_n \cdot (\sqrt{n_{л1}} - \sqrt{n_{л2}}) \right]}, \text{ км} \quad (25)$$

$$\text{де } n_{л1} = \frac{n_{ТП1}}{m_1}; \quad n_{л2} = \frac{n_{ТП2}}{m_2}.$$

Висновки й перспективи подальшого розвитку дослідження. Аналіз графіків рис.1 показує, що обмежувачим фактором при виборі ТП великої потужності є довжина ліній 0,38 кВ підключених до ТП. При проектуванні системи електропостачання слід прагнути до скорочення довжини низьковольтних мереж та здешевлення вартості трансформаторних підстанцій, що може бути досягнуто застосуванням вбудованих підстанцій в напівпідвальних приміщеннях будівель, поверхових і дахових ТП за умови застосування комплектних розподільних пристроїв 6 (10) і 0,38 кВ.

Література

1. Астахов Ю.Н., Гордиевский И.Г., Карасев Д.Д. Об экономической соразмерности в системах электроснабжения городских районов // Технический прогресс в электроснабжении городов. – Л.: Энергия, 1970.
2. Принципы планирования электроснабжительных сетей города. Принципы планирования дистрибутивных сетей у градоуниверситета. Фатур Бранко "Электродистрибуция" 1988, 16, № 1, 59-63.
3. Козлов В.А. Вопросы построения городских распределительных сетей / Опыт построения систем электроснабжения городов. – Л.: Энергия, 1973.
4. Козлов В.А. Электроснабжение городов /3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 264 с.

References

1. Astahov J.N., Gordievskiy I.G., Karasev D.D. About economic proportionality in the systems of power supply of municipal districts // Technical progress in the power supply of cities. it is L: Energy, 1970.
2. Principles of planning of electric distributive networks of city. Principles of planning of distributive networks of cities. Fatur Branko "Электродистрибуция" 1988, 16, №1, p.59-63.
3. Trestles of V.A. Questions of construction of municipal distributive networks / Experience of construction of the systems of power supply of cities. - L.: Energy, 1973.
4. Kozlov V.A. Power supply of cities / 3-th publ. - L.: Energoatomizdatm, 1988. – p.264.

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

Автор: ПЕРЕПЕЧЕНИЙ Віталій Олександрович кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання міст, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. E-mail – jahoma@i.ua

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В РАЙОНАХ С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ НАГРУЗКИ

В.А. Перепеченый

В статье приведенные результаты исследований параметров и режимов электрических сетей напряжением 6 (10) и 0,38 кВ относительно надежности и капиталовложений. Проведен анализ существующих методов предпроектной оценки параметров электрических сетей районов малой плотности нагрузки. Целью исследований стало совершенствование существующих методов на основе раздельного учета фактора надежности сети 0,38 кВ и 6-10 кВ. Предложен метод оптимизации параметров распределительной сети 0,38 кВ в условиях неопределенности входной информации.

Ключевые слова: распределительные электрические сети, приведенные расходы, число потребителей, выбор сечения.

CHOICE OF PARAMETERS OPTIMIZATION OF DISTRIBUTIVE ELECTRICAL NETWORKS WITHIN TOWN DISTRICTS WITH FEW-STOREYED BUILDINGS

V.O. Perepechenyy

In this paper the brought results over of researches of parameters and modes of electric networks by tension 6 (10) and 0,38 kV in relation to reliability and capital investments. analysis has been made concerning existing methods of pre-design parameters estimation for the electric power supply networks within a settlement town with few-storeyed buildings. Their deficiency was accentuated. A methodology is offered herein for an optimum power determination of transformer substations, and optimum sections of 0.38 kV power transmission lines taking into account a probability character of the load applied. When compiling the electric power supply circuit for optimum shape, parameters, voltage, voltage adjustment principles and reactive power compensation. Solutions of such a kind are substantiated by feasibility comparisons of a series of technically acceptable variants of electric power supply networks. An important measure that facilitates a choice of the most economical variant is the predesign estimation dealing with a matter of choosing the optimum power of network trans-former substations (TS) by means of calculation formulae. Perfection of existent methods became the aim of researches on the basis of separate account of factor of reliability of network 0,38 kV and 6-10 kV A methodology is offered herein for an optimum power determination of transformer substations, and optimum sections of 0.38 kV power transmission lines taking into account a probability character of the load applied.

Keywords: distributive electric networks, the brought charges over, number of consumers, choice of section.