

УДК 621.314.222.6

В.О. Перепечений

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ З УРАХУВАННЯМ ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В даній роботі, проведені дослідження схем електропостачання міст з урахуванням економічних характеристик розподільних мереж для районів багатопверхової забудови при зміні поверхневого навантаження. На основі ретроспективного аналізу режимів і параметрів мереж розроблені математичні моделі витрат і досліджені економічні характеристики мереж при різних параметрах і режимах роботи, а також встановлені області оптимальних рішень.

Ключові слова: система електропостачання міст, розподільні електричні мережі, потужність трансформаторної підстанції, довжина та перетин лінії, параметри та схеми електричних мереж.

Актуальність теми досліджень. В умовах енергетичної кризи, обумовленої дефіцитом паливних та енергетичних ресурсів, однією із актуальних задач електроенергетики є зниження витрат на експлуатацію систем електропостачання різного рівня, через які пропускається більша частина електроенергії. Розв'язання цієї задачі дозволить виявити вузли мереж з понаднормативними капітальними та експлуатаційними витратами і визначити шляхи зменшення витрат при побудові та експлуатації систем електропостачання (СЕП).

Рішення визначеної проблеми базується на врахуванні лише окремих з показників ефективності СЕП, та тільки для деяких окремих, заздалегідь визначених умов. Вони не враховують комплексного характеру задачі і широкого діапазону зміни її параметрів та умов функціонування у часі. Це означає, що параметри та режими СЕП, визначені як оптимальні для одного з співвідношень, не є такими для інших. Наслідком такого стану є застосування заздалегідь завищених потужностей трансформаторів та перерізів ліній. Кінцевим результатом традиційного підходу до проектування міських електричних мереж є значне завантаження території міст кабельно-проводниковою продукцією та низький рівень використання обладнання та ліній з відповідним зростанням значення експлуатаційних і капітальних витрат та зменшенням ефективності їх функціонування. Аналіз методів вирішення поставленої задачі свідчить про те що вони базуються на детермінованому однокритеріальному підході і не враховують всього спектру соціальних та економічних умов функціонування мереж. Викладене вище вимагає проведення досліджень по

врахуванню всього різноманіття параметрів та умов функціонування СЕП, їх взаємозв'язку та зміни у часі, шляхом удосконалення методів проектування та принципів побудови розподільчих мереж.

Аналіз публікацій. Питаннями підвищення ефективності роботи розподільчих мереж міст займалися В.М. Хрущов, О.А. Глазунов, В.Г.Холмський, В.В Зорін та багато інших вчених. Однак, не дивлячись на це повне вирішення вказаної задачі є досі актуальною задачею значної соціально-економічної ваги.

Мета та задачі досліджень. Метою досліджень є удосконалення математичних моделей розподільчих електричних мереж міст та їх елементів на основі роздільного врахування факторів надійності та якості електропостачання, а також непостоянства вхідної інформації.

Щодо вирішення мети досліджень, здійснено структурування СЕП за рядом ознак: технологічному, номінальній напрузі, конструктивному виконанню та функціональному призначенню (рис.1). Аналіз вхідних даних показав, що основним параметром міської розподільчої електричної мережі, що визначає схему побудови і параметри всіх інших її елементів, є потужність трансформаторної підстанції.

ПГВ – підстанція глибокого вводу; МГВ – мережа глибокого вводу; РС – районна підстанція 110(220)/10(6)кВ; ТП – трансформаторна підстанція 10(6)/0.4 кВ; РМ –розподільча мережа 10(6) кВ або 0.38 кВ; ЕСт – електростанція; ВЕП – електричні мережі зовнішнього електропостачання; РП – розподільча підстанція 10(6) кВ; ЖМ – живлюча мережа 10(6) кВ; ВРП – ввідно розподільчий пристрій; ДЖ – джерело живлення; ВРП, ЗРП – відкритий та закритий, відповідно, розподільчий пристрій; ЕО, ЕД, ЕП, В, ЕТ – освітлювальні,

двигунові, перетворюючі та електротехнологічні електроприймачі; ВН, СН, НН – висока (110 кВ та більше), середня (6, 10 кВ) та низька (0.38 кВ) напруга, відповідно

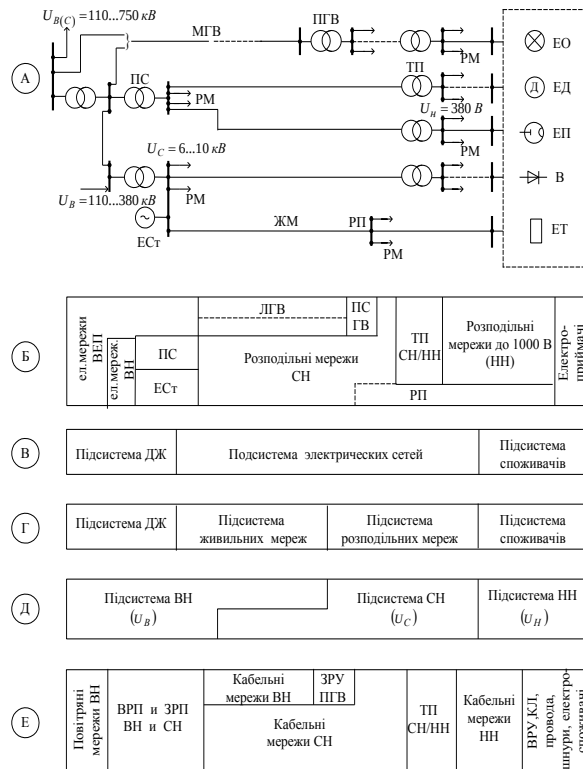


Рис. 1 – Структури підсистем системи електропостачання міста

На основі техніко-економічних моделей виконується пошук оптимального рішення тільки за одним з критеріїв, як правило, економічному, а врахування інших критеріїв здійснюється у вигляді технічних обмежень при неповному їхньому складі, та без урахування динаміки їх зміни у часі, що не забезпечує необхідної точності розрахунків, особливо якщо варіанти мережі по вартості відрізняються незначно. Виходячи з цього необхідним є використання методів багатокритеріальної оптимізації, та урахування динаміки змін параметрів СЕП у часі.

Аналіз схем та параметрів мереж дозволяє зробити висновок щодо доцільності застосування найпростіших схем мереж та конструкцій розподільних пристроїв і ліній за умовою мінімізації кількості електроустаткування та спрощення його конструкції.

Результати дослідження. За основу моделювання схем і параметрів мереж в умовах невизначеності вихідних даних і багатокритеріальності задачі застосовано апарат, що базується на понятті розпливчастої безлічі [1].

За результатами класифікації інформаційних ситуацій розроблено алгоритм рішення задачі який включає:

- формування безлічі рішень Φ і безлічі станів середовища θ ;
- визначення основних показників ефективності, обумовлених за допомогою оцінного функціонала $F = \{f_j\}$;
- визначення органом ухвалення рішення P інформаційної ситуації, що характеризує поведінку середовища Z ;
- вибір критерію ухвалення рішення з безлічі критеріїв;
- прийняття за обраним критерієм оптимального рішення.

Вирішення питання оптимізації схем і параметрів СЕП міст зведено до спрямованого перебору варіантів, що відрізняються схемами мережі, довжиною і перетином ліній, законами регулювання напруги в центрах живлення, положеннями відгалужень трансформаторів ТП, параметрами і місцями установки додаткових засобів місцевого регулювання напруги та областю їх зміни у часі. З метою подолання чисельної несумірності окремих критеріїв, а також їх більш строгої ранжировки здійснено нормування критеріїв шляхом їх приведення до безрозмірного виду в сполученні з застосуванням методу експертних оцінок для визначення чисельних значень коефіцієнтів. Враховуючи інтегральний характер критеріїв за умов того, що витрати від зниження надійності і якості електропостачання прийняті пропорційними середньому квадратові відхиленню показників від їх номінального значення, критеріальні функції кожного i -го показника економічності, надійності або якості представлені у вигляді другого початкового моменту розподілу показників у часі. Для розгалуженої мережі значення показника додатково “зважено” за споживаній потужністю P_i , а зміну показників у часі враховано їх “зважуванням” за споживаною ЕЕ.

Важливим заходом, що забезпечує вибір найбільш економічного варіанта схеми мережі, є передпроектна оцінка її параметрів. Аналізом встановлено [5], що в основу відомих методів розрахунку покладений дискретний стохастичний підхід, число оптимізаційних параметрів зведено до одного, у рідких випадках - до двох параметрів (потужності ТП і перетині ліній низької напруги). На основі аналізу методів зроблено висновок про необхідність розширення числа оптимальних параметрів і врахування невизначеності вхідної інформації.

З огляду на той фактор, що в умовах багатоповерхової забудови для розподільних мереж використовується обмежене число стандартних

потужностей трансформаторів (250, 400 і 630 кВ·А), визнане доцільним застосування методу поетапної комплексної оптимізації.

Вирази для питомих приведених витрат при виборі перетину ліній за економічними показниками отримано у вигляді:

$$3_{\text{уд}} = \frac{p_{\Sigma} K'_{01} L_1}{P_1} + \frac{p_{\Sigma} K'_{02} L_2}{P_1} + \frac{2 \cdot \sqrt{\rho \cdot \Pi_3 \cdot \tau \cdot 10^{-3}}}{U_H} \times \left(L_1 \sqrt{p_{\Sigma} K''_{01}} + \frac{L_2}{k_{32}} \sqrt{p_{\Sigma} K''_{02}} \right), \quad (1)$$

де L_1, L_2 - довжина ділянки зовнішньої і внутрібудинкової мережі, відповідно.

Для вибору перетину за припустимою втратою напруги вилучено:

$$3_{\Delta U_{\text{уд}}} = \frac{p_{\Sigma} K'_{01} L_1}{P_1} + \frac{p_{\Sigma} K'_{02} L_2}{P_1} + \frac{2 \cdot \sqrt{\rho \cdot \Pi_3 \cdot \tau \cdot 10^{-3}}}{U_H} \times \left(L_1 \sqrt{p_{\Sigma} K''_{01}} + \frac{L_2}{k_{32}} \sqrt{p_{\Sigma} K''_{02}} \right) \times \left[\frac{\rho}{10 \cdot U_c^2 \Delta U_d} \cdot \left(L_1 \sqrt{p_{\Sigma} K''_{01}} + L_2 k_{n2} k_{32} \cdot \sqrt{p_{\Sigma} K''_{02}} \right) \right] + \frac{\Delta U_d \cdot \Pi_3 \cdot \tau \cdot 10^{-2}}{L_1 \cdot \sqrt{p_{\Sigma} K''_{01}} + L_2 k_{n2} k_{32} \sqrt{p_{\Sigma} K''_{02}}}, \quad (2)$$

де p_{Σ} - відрахування на амортизацію, ремонт і обслуговування ліній; L_1 - довжина i -го ділянки мережі; ρ - питомий опір матеріалу проводу (кабелю); K'_{01}, K''_{01} - безліч вартостей лінії не залежне і залежне від перетину відповідно; τ - час максимальних втрат; P_1 - навантаження i -ї ділянки мережі; Π_3 - безліч цін на електроенергію.

Результати досліджень, що проведено за допомогою (2), наведено на рис.2. Аналіз результатів дослідження свідчить, що при малих довжинах, розрахунок зовнішніх мереж за ΔU_d приводить до значної перевитрати грошових коштів і тільки при $L_1 = (0.25 - 0.3)$ км $3_{\Delta U_{\text{уд}}} \approx 3_{\text{уд}}$, а при $L_1 = (0.1 - 0.2)$ км $3_{\Delta U_{\text{уд}}} = (2 - 3) 3_{\text{уд}}$.

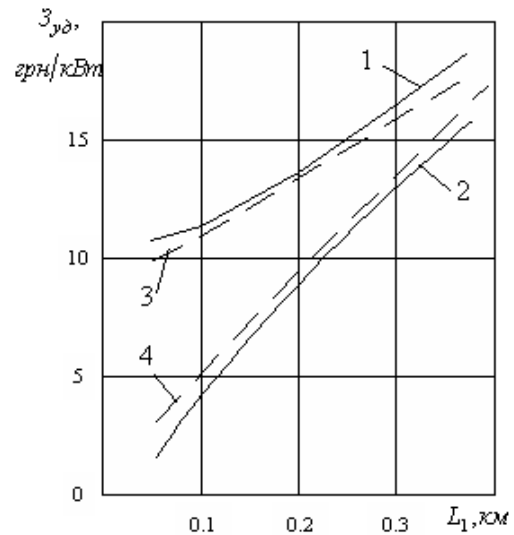


Рис.2. Залежність $3_{\text{уд}} = f(L_1)$

1- $3_{\Delta U_{\text{уд}}} = f(L_1)$; 2- $3_{\text{уд}} = f(L_1)$ при $L_2 = 0.03$ км;

3- $3_{\Delta U_{\text{уд}}} = f(L_1)$; 4- $3_{\text{уд}} = f(L_1)$ при $L_2 = 0.09$ км.

Значення критичної довжини зовнішньої мережі отримано у вигляді:

$$L_{1kp} = \frac{\Delta U_d U_c 10^{-1} \sqrt{\frac{\Pi_3 \tau}{\rho}} - L_2 k_{n2} k_{32} \sqrt{p_{\Sigma} K''_{02}}}{\sqrt{p_{\Sigma} K''_{01}}}. \quad (5)$$

Таким чином, при $L_1 < L_{1kp}$ визначальними при виборі перетину ліній є економічні показники, при $L_1 > L_{1kp}$ перетин варто вибирати за припустимою втратою напруги.

Дослідженням (4) встановлено, що для районів багатоповерхової забудови варто рекомендувати вибір перетину зовнішніх і внутрібудинкових мереж за економічними показниками.

Математична модель питомих приведених витрат усієї мережі 0.38 кВ, віднесеної до величини сумарної потужності району отримана у вигляді

$$3_{n \text{ уд}} = B_n \cdot \lambda_2 \cdot M_I^{1/2} \cdot S_i^{-1} \cdot m_n^{1/2} + C_n \cdot \lambda_2 \cdot M_I^{1/2} \cdot S_i^{-1} \cdot m_n^{1/2} \cdot F_n + D_n \cdot \lambda_2 \cdot M_I^{1/2} \cdot S_i^{-1} \cdot k_{II} \cdot n_n^{4/3} \cdot m_n^{1/2} \cdot F_n^{-1}, \quad (3)$$

де B_n, C_n - коефіцієнти, що залежать від марки кабелю 0.38 кВ; D_n - коефіцієнт, що залежить від матеріалу жил кабелю, часу, максимальних втрат, вартості загубленої електроенергії і номінальної напруги мережі; λ_2, k_{II} - коефіцієнти, що залежать від способу побудови мережі і ступені її резервування. [5]

На основі результатів проведених досліджень:

1. Розвинуті теоретичні основи побудови математичних моделей розподільних мереж міст, що на відміну від відомих враховують комплексний багатокритеріальний характер процесів, а також змінний характер вхідної інформації, чим забезпечується більш коректний вибір параметрів мереж і підвищується точність розрахунку їхніх режимів.

2. Створено й обґрунтовано математичні моделі розподільних електричних мереж на відміну від відомих враховують відокремлено показники надійності та якості кожного з елементів СЕП, а також значення та зміну параметрів кожного з них у часі.

3. Розроблено рекомендації з вибору параметрів і схем розподільних електричних мереж міст, з врахуванням взаємного впливу мереж різної напруги, а також реального кошторису кожного з елементів мережі.

Литература

[1]. Говоров Ф.П. Учет фактора надежности при проектировании распределительных электрических сетей городов / Ф.П. Говоров, В.А. Перепеченый // Энергетика и электрификация. – 2002. – №6. – С.12-16.

[2]. Воропай Н.И., Иванова Е.Ю. Многокритериальный анализ решений при планировании развития электроэнергетических систем // Электричество. 2000. №11.

[3]. Некоторые проблемы компьютеризации проектирования развития городской питающей сети среднего напряжения. Wybrane problemy komputeryzacji

projektowania rozwoju syacji miejskich zasilajacych siec srediego napiecia /Marzecki Jerzy/ Arch/elektrotechn/ - 1986(1989) – 35.-№3-4. – С.805-812. – Пол.

[4]. Говоров Ф.П. Состояние и пути повышения энергоэффективности производства в системах электроснабжения и освещения городов / Ф.П. Говоров, В.А. Перепеченый, В.Ф. Говоров // Энергетика, энергосбережение, энергоаудит. – 2007. – №3. – С. 94-100.

[5]. Говоров Ф.П., Перепеченый В.А, Говоров В.Ф. Выбор экономических схем распределительных сетей районов многоэтажной застройки. / Збірник матеріалів III-ї міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми економії енергії”. Львів, 10-14 жовтня 2001 р. Видавництво Національного університету “Львівська політехніка” – 2001.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Ф. Харченко, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В.А. Перепеченый

В настоящей работе, проведены исследования схем электроснабжения городов с учетом экономических характеристик распределительных сетей для районов многоэтажной застройки при изменении плотности нагрузки. На основе ретроспективного анализа режимов и параметров сетей разработаны математические модели затрат и исследованы экономические характеристики сетей при различных параметрах и режимах работы, а также установлены области оптимальных решений.

Ключевые слова: система электроснабжения городов, распределительные электрические сети, мощность трансформаторной подстанции, длина и сечение линии, параметры и схемы электрических сетей.

RESEARCH OF CHARTS OF ELECTRIC POWER SUPPLY OF CITIES TAKING INTO ACCOUNT ECONOMIC DESCRIPTIONS

V.A. Perepechenyy

In the paper, studies of charts of electric power supply of cities are undertaken taking into account economic descriptions of distributive networks for the districts of multistory building at the change of closeness of loading. On the basis of retrospective analysis of the modes and parameters of networks the mathematical models of expenses are worked out and economic descriptions of networks are investigational at different parameters and office hours, and also the areas of optimal decisions are set.

Keywords: system of electric power supply of cities, distributive electric networks, power of transformer substation, length and section of line, parameters and charts of electric networks.