

УДК 621.311

В. А. МАЛЯРЕНКО, д-р техн. наук, проф.

І. Є. ЩЕРБАК, аспірантка

Харківська національна академія міського господарства, м. Харків

І. Д. КОЛОТИЛО, канд. техн. наук

ЧП «Энергосбережение плюс», м. Харків

## ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ І ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

*Рассмотрены пути улучшения показателей работы оборудования в городских электрических сетях, освещены вопросы экономного использования электроэнергии в городском хозяйстве. Предложены меры по выравниванию графика нагрузки.*

*Розглянуто шляхи поліпшення показників роботи устаткування в міських електричних мережах, висвітлено питання економного використання електроенергії в міському господарстві. Запропоновано заходи щодо вирівнювання графіку електричного навантаження.*

### Вступ

Зростання втрат енергії в електричних мережах визначається об'єктивними закономірностями розвитку енергетики в цілому. Основними з них є: тенденція до концентрації виробництва електроенергії на великих електростанціях; безперервне зростання навантажень електричних мереж, пов'язане з зростанням навантажень споживачів і відставанням темпів приросту пропускної здатності мережі від темпів приросту споживання електроенергії і генеруючих потужностей.

Різке загострення проблеми втрат електроенергії в електричних мережах вимагає активного пошуку нових шляхів її вирішення, нових підходів до вибору відповідних заходів, головне, до організації роботи із зниження втрат. Відомо, що нерівномірність графіка навантаження здійснює істотний вплив на рівень втрат електроенергії.

Втрати електричної енергії характерні для всіх систем розподілу електричної енергії. Правильне проектування та експлуатація електричних систем дозволяють не тільки звести їх до мінімуму, а й забезпечити зниження витрат на електроенергію.

### Основна частина

Важливою економічною передумовою електрифікації побуту комунального господарства є подорожчання палива і теплової енергії. Це дозволяє в певних випадках говорити про економічність електрифікації водонагріву та опалення. З іншого боку, зростання споживання електроенергії вимагає введення нових генеруючих потужностей, будівництва ліній електропередач і підвищення витрат палива, залучення значних капітальних витрат.

Розглянемо нерівномірність споживання електроенергії по годинах доби та по сезонах. У житлових будинках близько 60 % електроенергії витрачається в період між 18 і 22 год; влітку електроенергії витрачається на 15–25 % менше ніж взимку. Добовий графік навантаження міських електричних мереж має яскраво виражений нерівномірний характер з істотним зростанням навантаження ввечері та вранці і спадом в нічні години.

Швидка зміна електричного навантаження комунально-побутових споживачів висуває особливі вимоги до системи виробництва і розподілу електроенергії. Енергосистема повинна забезпечити вироблення і передачу електроенергії з урахуванням навантаження комунально-побутових споживачів. Разом з тим однією з особливостей вироблення електроенергії є її відповідність рівню споживання в кожен момент часу. Енергосистема повинна мати можливість управляти виробленням електроенергії у відповідності до графіка її споживання, що вимагає наявності відповідних мобільних потужностей.

В якості таких потужностей використовують ГАЕС, пікові паротурбінні і газотурбінні агрегати та інші установки. Енергоблоки теплових електростанцій, особливо великої потужності, допускають розвантаження не більше ніж на 20%. Робота цих блоків на більш низькій потужності не тільки є технічно важким завданням, але й викликає додаткові витрати палива і зниження терміну служби агрегатів. Перехід на режим номінальної потужності або повторний пуск агрегату після зупинки займає певний час і пов'язаний з перевитратою палива. Ще складніша справа з атомними електростанціями, які в даний час практично не мають можливості знижувати потужність енергоблоків. Тому підвищується можливість вирівнювання графіка навантаження споживачів, в тому числі, комунально-побутових, заповнення нічних знижень графіків навантаження енергоблоків та електричних мереж. Як паливо на теплових електростанціях України використовують вугілля, газ, мазут. У загальних витратах на виробництво і розподіл електроенергії по мережах системного значення витрати палива складають 35–50 %. Тому при подорожчанні палива ціна на електроенергію зростає повільніше. Дана обставина в ряді випадків виявляється вирішальною при виборі енергоносіїв для житлово-комунального господарства в умовах дефіциту якісного палива.

Вартість на нічну електроенергію, яка виробляється в години провалу графіка навантаження енергосистеми, за трьохставочним тарифом розраховується з урахуванням коефіцієнта 0,4, що є економічним стимулом вирівнювання графіка навантаження та використання нічної електроенергії споживачами і відображає важливість проблеми вирівнювання графіка навантаження енергосистеми, особливо, для районів, розташованих поблизу атомних електростанцій.

На низькотемпературні процеси опалення, водонагріву, вентиляції, кондиціонування витрачається приблизно 90 % корисної енергії. 72 % теплової енергії, що витрачається на низькотемпературні процеси, подається в будинок у вигляді пари та гарячої води від централізованих джерел. Решта покривається за рахунок прямого спалювання палива в квартирних генераторах теплоти. Використання окремих видів електроопалення та електроводонагріву (акумуляційне) у ряді випадків може знизити витрату електроенергії та підвищити економічність системи електротеплопостачання.

Капітальні витрати крім вартості технологічного обладнання, приладів, їх установки, налашки, перевезення та зберігання враховують витрати, пов'язані із збільшенням потужності генеруючих електростанцій і посиленням електричних мереж всіх напруг, включаючи внутрішньобудинкові.

Технічні рішення щодо економічного витрачання електроенергії часто вимагають для своєї реалізації установки нового або модернізації існуючого технологічного обладнання та приладів, реконструкції електричних мереж, впровадження засобів автоматизації і управління, організаційних заходів щодо підвищення рівня експлуатації. Критерієм ефективності є приведені витрати, причому в значення річних витрат включають витрати на компенсацію втрат електроенергії в мережах.

Приведені витрати в трансформатори, встановлені у міських мережах, визначають за формулою [1]

$$Z_{тр} = (E_k + p_a + p_k) \cdot K_{тр} + \left(\frac{S}{S_{ном}}\right)^2 \cdot P_k T_n' z'_{вл} + P_x T_n'' z''_{вл} \quad (1)$$

де  $K_{тр}$  – вартість трансформатора, включаючи монтажні роботи, додаткове обладнання та будівельну частину;

$S$  і  $S_{ном}$  – розрахункова і номінальна потужність трансформатора;

$P_k$  і  $P_x$  – втрати короткого замикання та холостого ходу трансформатора;

$T_n'$  і  $T_n''$  – час найбільших втрат для змінних та постійних втрат потужності;

$z'_{вл}$  і  $z''_{вл}$  – питомі витрати на компенсацію змінних та постійних втрат.

Якщо визначити значення  $Z_{тр}$  для всієї шкали номінальних потужностей трансформаторів однієї напруги в залежності від їх завантаження, можна отримати ряд

економічних параметрів, точки перетину яких визначають межі економічно доцільного використання розглянутих трансформаторів. Розрахунки, виконані за (1), показали, що для трансформатора кожного габариту є певна зона економічного навантаження. Наприклад, трансформатори 10/0,4 кВ номінальною потужністю 100 кВ·А застосовувати економічно доцільно до навантаження 100 кВ·А, а трансформатор 160 кВ·А - в межах навантаження 100-170 кВ·А. Трансформатори 400 кВ·А – в межах навантаження 280-560 кВ·А (при дотриманні вимоги за перегрівом).

### ***Передача і розподіл електроенергії міськими мережами***

Міські електричні мережі є замикаючим елементом системи передачі електроенергії. До елементів міських мереж безпосередньо приєднуються вводи споживачів: житлових будинків, адміністративно-громадських будівель, комунальних підприємств. Побудова міської електромережі, вибір параметрів електромережних споруд, електричних ліній і способів їх прокладання визначаються вимогами надійності електропостачання, обсягами споживання електроенергії, рівнем електричних навантажень на всіх елементах і характером графіка навантаження комунально-побутових споживачів.

Особливість електроспоживання квартир полягає в його істотній нерівномірності за часом. Основне електроспоживання припадає на вечірні години. Нічне навантаження побутових та комунально-громадських споживачів становить не більше 25 % вечірнього.

При встановленні можливості підключення додаткового споживача до існуючої лінії, ТП або РП, що часто зустрічається в експлуатації, важливо знати існуючий зимовий і літній добовий графіки елементів мережі. Завдяки графікам навантаження можна аналізувати роботу елементів мережі або групи споживачів за окремий проміжок часу, проводити заходи щодо зниження максимуму навантаження, тобто переводити роботу окремих електроустановок з годин максимуму навантаження енергосистеми на нічні або певні денні години.

Для оцінки параметрів міських електромереж застосовують 30-хвилинні графіки навантаження в період зимового максимуму і літнього мінімуму навантаження. Ступінь завантаження електромережевого обладнання, насамперед силових трансформаторів 10/0,4 кВ, визначають за середніми графіками навантаження за кілька діб. Знаючи характер графіків навантаження споживачів, приєднаних до даної ТП, можна вирішувати питання про збільшення завантаження ТП. Систематичний контроль за рівнем навантаження в елементах мереж дозволяє реалізувати заходи щодо економії електроенергії, стежити за динамікою росту навантажень і своєчасно визначати необхідність реконструкції або заміни окремих елементів і електричної мережі в цілому.

Схема міської електричної мережі визначається складом, потужністю і режимом роботи споживачів, вимогами безперебійності їх електропостачання з урахуванням економічних показників. До міських мереж відносяться розподільні мережі 10 (6) кВ від збірних шин центрів живлення, понижуючі трансформаторні підстанції (ТП) і розподільні пункти (РП), розподільчі мережі 0,4 кВ до вводів споживачів [3].

Масляні трансформатори, встановлені в ТП, працюють з наступним навантаженням:

- в резервованих розподільних мережах в аварійних режимах – до 1,7–1,8 номінальної потужності;
- в нерезервованих розподільних мережах – систематично до 1,5–1,7 номінальної потужності.

Процес постачання споживачів електроенергією характеризується струмом, напругою, потужністю (активною та реактивною) і втратами потужності та електроенергії в елементах мережі. Зміну за часом вказаних величин визначають режими роботи електричних мереж міста. Оскільки графіки навантаження споживачів безперервно змінюються, режим роботи міських електричних мереж є нестационарним. До цього слід додати, що зростання насичення квартир побутовими електроприладами, зміна складу споживачів електроенергії комунальних і громадських будівель і підприємств викликають перевантаження одних елементів і недовантаження інших, що супроводжується зростанням втрат потужності та

електроенергії, перевантаженням елементів мережі, прискоренням старіння ізоляції та виходом з ладу ліній і трансформаторів і може призвести до виникнення аварійних ситуацій.

Нерівномірність добових графіків навантаження комунально-побутових споживачів з підвищенням навантаження у вечірні години та різким зниженням в нічні становить серйозні проблеми перед енергосистемами і знижує техніко-економічні показники роботи міських електричних мереж. Ущільнення графіка навантаження розподільних мереж і трансформаторів дає змішане живлення житлових і комунально-громадських будівель, які мають різні добові графіки навантаження. Однак такі заходи впливають тільки на ущільнення графіка навантаження в денні години.

Велике зростання навантаження у вечірні години викликає збільшення втрат потужності та електроенергії в мережах. Вирівнювання графіка навантаження повинне відбуватися без збільшення розрахункового навантаження в даному елементі (трансформаторі, розподільній лінії, центрі живлення).

Вирівнювання графіка навантаження споживачів з метою поліпшення показників роботи міських мереж може включати:

- ✓ перенесення часу роботи устаткування з денних або вечірніх годин на інші години, переважно нічні;
- ✓ відключення частини або всього навантаження споживачів в години максимуму;
- ✓ зменшення потужності встановленого обладнання зі збільшенням тривалості його роботи;
- ✓ застосування спеціальних споживачів-регуляторів, що працюють з примусовим графіком в нічні години [2].

Впровадження заходів з вирівнювання графіка навантаження повинно стимулюватися системою тарифів на електроенергію і бути економічно вигідним не лише для міської електромережі, а й, насамперед, для споживачів.

Як споживачі-регулятори (СР) можна використовувати електроустановки для нагріву води з організованим споживанням електроенергії, теплоаккумуляційні електродіодні з примусовим режимом включення в нічні години, насосні станції міського водопроводу, які мають збірні резервуари чистої води та ін.

Заходи щодо вирівнювання графіка навантаження в більшості випадків вимагають додаткових витрат на установку приладів автоматичного підключення електроприймачів в заданому режимі, будівництво акумулюючих ємностей, заміну технологічного обладнання на обладнання з іншими параметрами.

Рівень втрат енергії в розподільних мережах визначається їх параметрами, які закладені при спорудженні мережі, та фактичними режимами роботи споживачів. На втрати енергії в цілому по мережі і її елементах впливає величина і характер зміни електричних навантажень споживачів і елементів мережі.

Для визначення втрат в трансформаторах напругою 10/0,4 кВ необхідно мати такі вихідні дані:

- ✓ кількість активної енергії, що надійшла в силові трансформатори ТП за розрахунковий період;
- ✓ кількість енергії, що надійшла в мережеві трансформатори;
- ✓ максимальне навантаження (струм) в зимовий максимум кожного мережевого трансформатора;
- ✓ номінальні дані кожного трансформатора (за паспортними даними).

Втрати активної електроенергії в мережевих трансформаторах складаються із змінних та постійних втрат.

За результатами вимірювань в період зимового максимуму розраховують:

- ✓ максимальний струм трансформатора;
- ✓ кількість активної енергії, що надійшла в абонентські трансформатори;
- ✓ характер приєднаного до ТП навантаження.



Характер навантаження оцінюють по співвідношенню денного  $S_d$  і вечірнього  $S_B$  максимумів:

- ✓  $S_d/S_B \leq 0,36$  – комунально-побутове;
- ✓  $S_d/S_B > 1,41$  – виробниче навантаження переважно з однозмінною роботою;
- ✓  $S_d/S_B = 0,36 - 1,4$  – змішане навантаження.

Відомо, що оптимальна загрузка трансформаторів, що працюють в режимі постійного включення, становить 75 % номінальної і більше. Такий режим завантаження приблизно відповідає рівності втрат холостого ходу і короткого замикання. Зниження втрат електроенергії в малозавантажених трансформаторах можна досягти шляхом підключення до них СР з регульованим споживанням потужності.

#### ***Якість електроенергії та шляхи її підвищення***

Обмежене застосування трансформаторів з пристроями РПН на ЦП призводить до того, що в години максимуму навантаження напруга у споживачів стає нижче номінального значення, а в години провалу графіка - рівень напруги перевищує номінальний на величину до 12 %.

Як вже було сказано, електричні навантаження мають добову і сезонну нерівномірність. Зниження навантаження влітку викликає підвищення напруги у споживачів, збільшення взимку – зниження її.

У цьому разі істотну роль у зміні напруги на затискачах електроприймачів відіграє характер графіка електричних навантажень. Тому додатковим способом підвищення якості електроенергії слід вважати вирівнювання графіка, перенесення часу роботи енергоємного устаткування з годин максимуму [1]. Таку роботу енергопостачальні організації повинні проводити систематично.

Частково компенсувати ці зміни напруги можна підключенням СР з організованим споживанням електроенергії, зокрема, за рахунок її використання у системах гарячого водопостачання.

#### ***Нагрів води електроенергією***

Більше 50 % населення нашої країни забезпечується гарячою водою від централізованих джерел: ТЕЦ, районних, квартальних і будинкових котельних. Для отримання гарячої води для господарських потреб і особистої гігієни застосовують також стаціонарні електроводонагрівачі (ЕВН). Вони підрозділяються на проточні та ємнісні.

Проточні ЕВН призначені для нагріву води при її безпосередньому використанні в процесі нагрівання. Для отримання високих температур при великій витраті гарячої води нагрівачі таких приладів повинні мати значну потужність. Це тягне за собою посилення внутрішньоквартирних, внутрішньо будинкових, і в меншій мірі, зовнішніх електричних мереж.

Ємнісні ЕВН (ЄЕВН) мають робочий бак, в якому поступово нагрівається вода. За часом використання нагрітої води ЄЕВН, в свою чергу, поділяються на швидкодіючі (ШЕВН) і акумуляційні (АЕВН). ШЕВН – прилад з ємністю бака 5–10 л, в якому відбувається спочатку нагрів води, а потім повне її витрачання. АЕВН являє собою прилад, бак якого має шар теплоізоляції, що забезпечує можливість тривалого нагрівання води з високим ККД і потім її тривале збереження в нагрітому стані. АЕВН місткістю 40–100 л в якості нагрівачів застосовні трубчасті електронагрівачі (ТЕНи) потужністю 1,25 і 2 кВт.

АЕВН принципово відрізняються від проточних і ємнісних швидкодіючих ЕВН. Навантаження двох останніх видів ЕВН потрапляє в максимум навантаження енергосистем, викликаючи необхідність збільшення генеруючих потужностей і посилення всіх ланок системи електропостачання. Короткий час використання ПЕВН і ШЕВН збільшує нерівномірність графіка електричного навантаження, погіршуючи економічні показники роботи електричних мереж.

Електричні мережі існуючих житлових будинків не розраховані на масове застосування ємнісних ЕВН, тому їх установка може здійснюватися тільки в незначному числі квартир (в межах 2–5 %) і тільки з дозволу енергопостачальної організації.

Впровадження ЕВН у великій кількості в багатоповерхових житлових будинках в даний час економічно недоцільно, оскільки це пов'язано з великим електроспоживанням ЕВН і необхідністю посилення електричних мереж.

Запропоновані СР, а саме, електроустановки для нагріву води з організованим споживанням електроенергії можуть споживати електроенергію у нічні або денні години зниження навантаження міських електромереж та енергосистеми. Даний захід не викликає необхідності збільшення перерізу внутрішньобудинкової проводки, тому що електроустановка для нагріву води підключається до ТП, а споживачі безпосередньо отримують гарячу воду.

Нагрівати воду можна до 90 оС, за рахунок чого, як наслідок, зменшити обсяг бака. Завдяки його теплоізоляції температура води знижується дуже повільно. Для раціонального витрачання електроенергії зазначені електроустановки для нагріву води працюють в режимі автоматичного управління.

### Висновки

Головною метою енергозбереження має стати пріоритет підвищення ефективності використання електричної енергії в ЖКГ. Раціональне використання електроенергії залежить від комплексу заходів спрямованих на зниження втрат при експлуатації систем електропостачання, до яких входить вирівнювання графіку навантаження.

Підвищення або зниження напруги в мережі електропостачання, через нерівномірність графіка навантаження, впливає на роботу побутових електроприладів, зменшуючи в більшості випадків термін їх служби, а також веде до збільшення витрати електроенергії в багатоквартирному будинку.

Для того щоб споживач безперебійно отримував електричну енергію високої якості, необхідно систематично спостерігати за роботою електричної мережі, знижувати втрати електроенергії в малозавантажених трансформаторах, що можливо завдяки підключенню СР з регульованим споживанням електроенергії.

### Список літератури

1. Тарнижевский М. В., Афанасьева Е. И. Экономия энергии в электроустановках предприятий жилищно-коммунального хозяйства. – М.: Стройиздат, 1989. – 275 с.: ил.
2. [http://www.energetika.by/arch/~page\\_\\_m21=10~news\\_\\_m21=169](http://www.energetika.by/arch/~page__m21=10~news__m21=169) Выравнивание графика электрической нагрузки энергосистемы.
3. Железко Ю. С. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. – М: ЭНАС, 2003. – 280 с.

## ENERGY SAVINGS AND LOSSES REDUCING IN ELECTRIC NETWORKS

V. A. MALYARENKO, D-r Scie.Tech., Pf.

I. E. SHCHERBAK, graduate student, I. D. KOLOTILO, Cand. Tech. Scie.,

*Ways of equipment performance improving in the municipal electrical networks have been treated, the issues of electricity economical use in the municipal economy have been also under analysis. The measures to equalize the load schedule have been offered.*

Поступила в редакцию 26.05 2012 г.