

В.П. Калінчик, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000 - 0003- 4028- 0185

В.А. Побігало, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000 - 0003- 2673 - 7329

В.В. Калінчик, канд. техн. наук, ORCID 0000 - 0003- 3931- 646X

О.В. Мейта, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-4132-5202

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В.Г. Скосирев, канд. техн. наук, ORCID 0000 - 0002- 4758- 802X

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ

В статті досліджуються методи управління режимами електроспоживання. Показано, що дефіцит потужності в години пікових навантажень ускладнює підтримання балансу між потужностями генерації та споживання, що приводить до необхідності введення обмежень електричного навантаження виробничих споживачів і розвитку методів і засобів управління режимами електроспоживання. Необхідність управління енергоспоживанням обумовлена цілою низкою причин, у тому числі: 1) значною різницею між піком навантаження та нічним провалом в енергосистемах; 2) недостатньою регулюючою можливістю теплових електростанцій та АЕС для покриття змінної частини графіків навантаження; 3) несприятливою тенденцією зниження частки маневрених потужностей в енергосистемах, спричиненої укрупненням енергоблоків; 4) значними капітальними та енергетичними витратами, пов'язаними із спорудженням та експлуатацією пікових агрегатів; 5) технічною можливістю та економічною доцільністю штучного вирівнювання графіків навантаження. Показано, що на даний час відомі наступні методи управління електроспоживанням: по миттєвій нормі; по ідеальній нормі; управління по прогнозній величині; управління з використанням усередненої потужності на рухомому інтервалі часу (метод рухомого вікна) і комбіновані методи, що використовують різні сполучення, а також по розподілу управляючого впливу між споживачами - регуляторами (метод розподілу ресурсів). Крайім варто вважати такий метод управління, що забезпечує для більшого числа керованих споживачів випадковий за часом характер розподілу можливих нетривалих викидів навантаження, їх мінімальне абсолютне значення, а також більш повне використання споживачем заявленої потужності або виділених йому лімітів потужності та енергії. За зазначеними критеріями порівняємо перераховані методи управління. Причому, метод миттєвої норми реалізується при диспетчерському або автоматичному управління з використанням сигналу, пропорційного усередненій потужності за 1, 2 або 3 хвилини, метод ідеальної норми передбачає вимірювання усередненої потужності споживача за малі проміжки часу (до трьох хвилин) і порівняння цієї величини із заявленою (або лімітною) потужністю, управління із прогнозом полягає в тому, що керуючий сигнал формується як різниця між величиною можливої потужності і прогнозованої на кінець циклу управління. Для підвищення ефективності управління електроспоживанням запропоновано комбінований метод управління, який представляє собою синтез двох відомих методів - управління по ідеальній нормі та управління за прогнозною величиною електроспоживання, що дозволяє поєднати переваги обох методів. Умовою управління є підтримання такого режиму електроспоживання, при якому не перевищується задана потужність і її задана величина використовується максимально.

Виконання даної умови забезпечується відпрацюванням заданих кожному кроку управління обмежень. З огляду на те, що різні кроки управління мають різну реакцію управління на реальний процес, для різних кроків застосовані відповідні методи управління. На перших кроках, коли для прийняття оптимального керуючого впливу достатньо часу і його можна скорегувати, управління ведеться на підставі прогнозної величини електроспоживання, на останніх кроках, які несуть особливу відповідальність за процес управління, управління ведеться за методом ідеальної норми. Таким чином, в даному методі поєднані переваги управління по прогнозу (керуючий вплив обґрунтовується) і методу управління по ідеальній нормі (на останньому кроці управління, що дозволяє оптимально використовувати ліміт потужності, що залишився, і не перевищити заданої величини) з апіорно обґрунтованим порядком споживачів-регуляторів.

Ключові слова: електроспоживання, управління, миттєва норма, ідеальна норма, прогноз, комбінований метод.

Вступ. В сформованій енергетичній галузі України базові електрогенеруючі потужності суттєво переважають маневрові, які вкрай необхідні для ефективного покриття потреб в електроенергії, особливо в періоди пікового попиту на неї [1, 2].

Дефіцит потужності в години пікових навантажень, екстенсивне використання електроенергії ускладнюють підтримання балансу між потужностями генерації та споживання. Все це привело до необхідності введення обмежень електричного навантаження виробничих споживачів.

Створення маневрових електроенергетичних потужностей вимагає значних коштів і, що не менш важливо, значного часу. Іншим шляхом вирішення цієї задачі є управління електроспоживанням, яке до останнього часу зв'язувалось з регулюванням потужності споживачів-регуляторів (СР) систем електропостачання (СЕ) промислових підприємств [1, 3].

Необхідність управління енергоспоживанням обумовлена цілою низкою причин [4], у тому числі:

- значною різницею між піком навантаження та нічним провалом в енергосистемах;
- недостатньою регулюючою можливістю теплових електростанцій та АЕС для покриття змінної частини графіків навантаження;
- несприятливою тенденцією зниження частки маневрених потужностей в енергосистемах, спричиненої укрупненням енергоблоків;
- значними капітальними та енергетичними витратами, пов'язаними із спорудженням та експлуатацією пікових агрегатів;
- технічною можливістю та економічною доцільністю штучного вирівнювання графіків навантаження.

На даний час відомі наступні методи управління електроспоживанням [5-10]: по миттєвій нормі; по ідеальній нормі; управління по прогнозній величині; управління з використанням усередненої потужності на рухомому інтервалі часу (метод рухомого вікна) і комбіновані методи, що використовують різні сполучення, а також по розподілу управляючого впливу між СР (метод розподілу ресурсів).

Кращим варто вважати такий метод управління, що забезпечує для більшого числа керованих споживачів випадковий за часом характер розподілу можливих нетривалих викидів навантаження, їх мінімальне абсолютне значення, а також більш повне використання споживачем заявленої потужності або виділених йому лімітів потужності та енергії. За зазначеними критеріями порівнюємо перераховані методи управління.

Метод миттєвої норми. Даний метод (рис. 1) передбачає вимірювання усередненої потужності споживача $\bar{P}(t)$ за малі проміжки часу τ_0 (до трьох хвилин) і порівняння цієї величини із заявленою P_3 (або лімітною P_n) потужністю, тобто керуючий вплив запишеться:

$$\Delta P(t) = P_3 - \frac{1}{\tau_0} \int_{t-\tau_0}^t P(t) dt$$

де $P(t)$ – поточне навантаження споживача; $\Delta P(t)$ – керуючий вплив.

При $\Delta P(t) < 0$ кероване навантаження споживачів-регуляторів знижується, а при $\Delta P(t) > 0$ відновлюється до P_3 .

Метод миттєвої норми реалізується при диспетчерському або автоматичному управління з використанням сигналу, пропорційного усередненій потужності за 1, 2 або 3 хвилини.

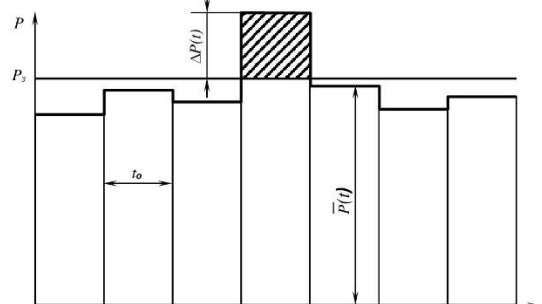


Рисунок 1 – Управління за методом миттєвої норми.

Основним недоліком управління по методу миттєвої норми є недовикористання споживачем заявленої P_3 або лімітної P_n потужності на півгодинному проміжку часу усереднення T .

Метод ідеальної норми. Цей метод (рис. 2) управління електроспоживанням є інтегральним (тобто управління по енергії) і припускає практично повне використання заявленої P_3 або лімітної P_n потужності. При регулюванні навантаження на дискретних півгодинних інтервалах часу T по даному методу управління (рис. 2) необхідно мати ту максимально можливу потужність P_0 , що підприємство може споживати до закінчення півгодинних інтервалів часу $T-\tau$, щоб не перевищувати заявлену потужність P_3 або P_n .

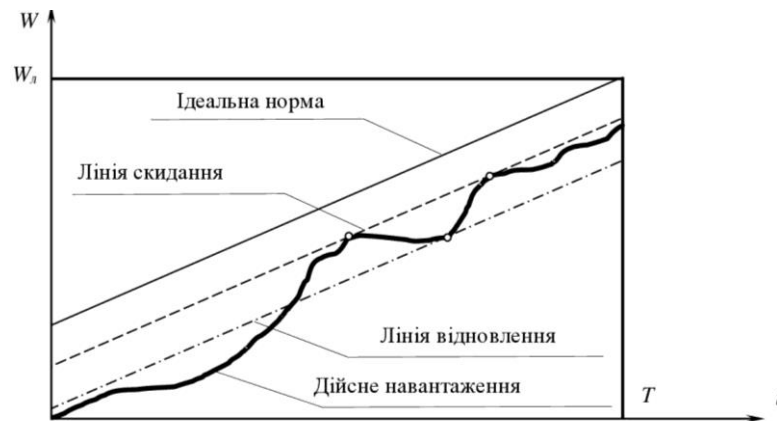


Рисунок 2 – Управління за методом ідеальної норми.

Виходячи з максимально можливого споживання енергії $W_l = P_3 \cdot T$ за півгодинний проміжок часу, значення P_6 визначиться з виразу

$$P_6 = \frac{P_3 T - \int_0^T P(t) dt}{T - \tau}.$$

Недоліками методу управління по ідеальній нормі є: 1) відсутність обмеження в споживаній потужності на початку півгодинних інтервалів часу T , що може привести до значних піків навантаження в енергосистемі в ці моменти часу при регулюванні по цьому методу на значній кількості підприємств. Звичайно, ці піки навантажень можна зменшити, задаючи початок максимумів навантаження зі зрушенням на кілька хвилин для кожного підприємства або групи підприємств, однак це приведе до великих незручностей і практично неприйнятно; 2) необхідність відключення значних навантажень наприкінці півгодинних інтервалів.

Ці недоліки обумовлені тим, що при такому методі управління здійснюється без урахування закону можливої зміни навантаження споживача, що приводить до необхідності відключення значних потужностей, або до недовикористання виділених лімітів.

Управління із прогнозом. Управління із прогнозом (рис 3) полягає в тому, що керуючий сигнал $\Delta \bar{P}_{np}(t)$ формується як різниця між величиною можливої потужності P_6 і прогнозованої $\bar{P}_{np}(t)$ на кінець циклу управління або на кінець півгодинного проміжку часу T

$$\Delta \bar{P}_{np}(t) = P_6 - \bar{P}_{np}(t)$$

Системи управління із прогнозом забезпечують більш повне використання заявленої потужності або відведених лімітів потужності й енергії. Однак відзначені вище основні недоліки залишаються. Крім того, через неминучі помилки прогнозування є деяка ймовірність перевищення заданого ліміту електроспоживання.

Застосування розглянутих методів у конкретних умовах диктується в основному ступенем напруженості технологічного процесу з погляду виконання виробничих завдань при введенні обмежень потужності. За основні критерії визначення межі прийнятності використовується економічна доцільність і технологічна допустимість.

Згідно [7] метод миттєвої норми використовується при рідких перевищеннях, метод ідеальної норми та за прогнозом використовуються при частих перевищеннях (до 4-х значень навантаження на контрольному інтервалі).

Метою роботи є підвищення ефективності управління режимами електроспоживання.

Викладення основного матеріалу. Для підвищення ефективності управління електроспоживанням запропоновано комбінований метод управління, який представляє собою синтез двох відомих - методів - управління по ідеальній нормі та управління за прогнозною величиною електроспоживання [6,7], що дозволяє поєднати переваги обох методів.

Умовою управління є підтримання такого режиму електроспоживання, при якому не перевищується задана на час T потужність і її задана величина використовується максимально, тобто

$$\left. \begin{aligned} P_3^T &\geq P_t^T \\ P_3^T - P_t^T &\rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де P_3^T – заявлена (лімітуєма) на час T потужність; P_t^T – поточна T -хвилинна потужність об'єкта.



Рисунок 3 – Управління із прогнозом.

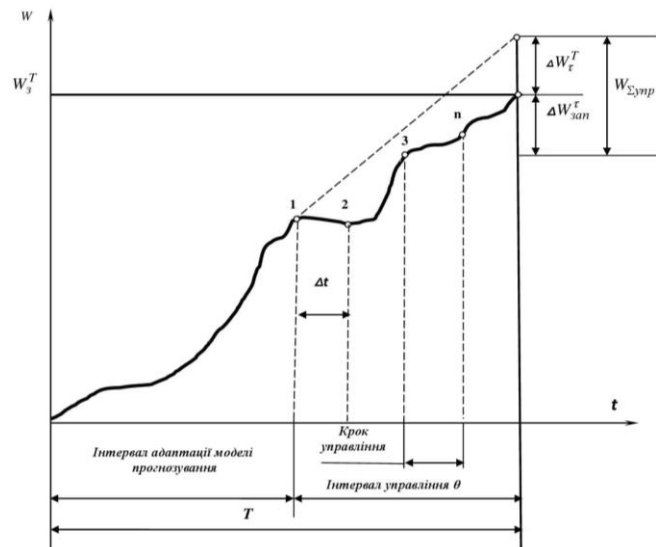


Рисунок 4. Принцип управління електричним споживанням за комбінованим методом

Виконання умови (1) забезпечується відпрацюванням заданих кожному кроку управління обмежень. З огляду на те, що різні кроки управління мають різну реакцією управління на реальний процес, для різних кроків застосовані відповідні методи управління. На перших кроках, коли для прийняття оптимального керуючого впливу достатньо часу і його можна скорегувати, управління ведеться на підставі прогнозованої величини електричного споживання, на останніх кроках, які несуть особливу відповідальність за процес управління, управління ведеться за методом ідеальної норми.

Принцип управління за даним методом показаний на рисунку 4. Інтервал контролю T розбивається на N підінтервалів

$$N = T / \Delta t, \quad (2)$$

де Δt – крок прогнозу (управління).

На рисунку 5 показано укрупнений алгоритм управління електричним споживанням. На перших $N - \tau$ кроках проводиться адаптація моделі прогнозу до реального процесу електричного споживання (блок 1). На τ ($\tau = \theta / \Delta t$) кроках, що залишилися, здійснюється управління електричним споживанням.

Починаючи з першого кроку управління, обчислюється величина можливого перевищення заданого значення електричного споживання (блок 2). Залежно від величини перевищення приймається рішення необхідності управління (блок 3).

При необхідності управління вирішується задача відключення споживачів-регуляторів (СР) з урахуванням їх пріоритету (блок 4). У блоці 5 аналізується, на якому етапі перебуває процес управління електричним споживанням і, якщо це останній крок, то управління ведеться за методом ідеальної норми (блок 6).

На першому кроці управління перевіряється необхідність відключення споживачів-регуляторів в залежності від очікуваного перевищення. Нехай в точці 1 (див рис.1) на підставі прогнозованої величини електроспоживання на кінець контрольованого інтервалу T очікується перевищення заданої величини рівної

$$W_3^T = P_3^T \cdot T \quad (3)$$

на величину

$$\Delta W_\tau^T = \hat{W}_\tau^T - W_3^T, \quad (4)$$

де \hat{W}_τ^T – прогнозне значення електроспоживання на кінець інтервалу T .

Визначається величина запасу електроенергії з урахуванням знаку $(\pm \Delta W_{zan}^\tau)$ для випадку, якщо в точці 1 провести відключення всіх працюючих СР.

$$(\pm \Delta W_{zan}^\tau) = \tau \Delta t \sum_{p=1}^n P_p x_p - \Delta W_\tau^T, \quad (5)$$

де τ – кількість кроків управління, що залишилися;

P_p – потужність p -го СР;

x_p – індикатор стану p -го ПР.

$$x_p = \begin{cases} 0 & \text{– якщо споживач не працює,} \\ 1 & \text{– якщо споживач працює.} \end{cases}$$

Якщо $\pm \Delta W_{zan}^\tau < 0$, то виробляється сигнал на відключення всіх СР.

Якщо $\pm \Delta W_{zan}^\tau \geq 0$, то визначається запас енергії для випадку, якщо відключення СР на величину ΔW_τ^T провести в наступній точці управління

$$\pm \Delta W_{zan}^{\tau-1} = (\tau - 1) \Delta t \sum_{p=1}^n P_p x_p - \Delta \hat{W}_\tau^T. \quad (6)$$

Таким чином, перевіряється можливість перенесення управляючої дії на СР в наступну точку управління і, якщо $\pm \Delta W_{zan}^{\tau-1} \geq 0$, то здійснювати управління в точці 1 недоцільно. Якщо

ж $\pm \Delta W_{zan}^{\tau-1} < 0$, тобто запас є, але на величину меншу, ніж $\Delta t \sum_{p=1}^n P_p x_p$, то в цьому випадку

необхідно відключити таку частину СР, яка компенсувала б $\Delta W_{zan}^{\tau-1}$. Для цього знайдемо неузгодженість між

$\Delta W_{zan}^{\tau-1}$ і електроспоживання за час Δt першого за пріоритетом працюючого споживача

$$\Delta W_p^{\Delta t} = \Delta W_{zan}^{\tau-1} - P_1 \cdot \Delta t. \quad (7)$$

Якщо $\Delta W_p^{\Delta t} \leq 0$, то для компенсації достатньо відключити один СР, в іншому випадку $(\Delta W_p^{\Delta t} > 0)$ перевіряється умова

$$\Delta W_p^{\Delta t} = \Delta W_{zan}^{\tau-1} - (P_1 + P_2) \cdot \Delta t \quad (8)$$

і в загальному вигляді

$$\Delta W_p^{\Delta t} = \Delta W_{zan}^{\tau-1} - \Delta t \sum_{p=1}^n P_p. \quad (9)$$

На наступних кроках управління проводиться корекція управляючого впливу і можливі чотири варіанти поведінки управляючої системи в залежності від очікуваного перевищення заявленої потужності (або ліміту потужності) P_3^T і результатів рішення алгоритму на першому кроці управління.

Варіант 1. Початковою умовою рішення алгоритму управління на по-наступних кроках є факт вироблення керуючого впливу на попередньому кроці управління (в іншому випадку працює алгоритм першого кроку управління).

Нехай очікується перевищення W_3^T на величину ΔW_{zan}^T . Перевіряється умова (6) і, якщо $\Delta W_{zan}^{\tau-1} \leq 0$, то виробляється сигнал на відключення всіх інших ПР (і видачу аварійного сигналу).

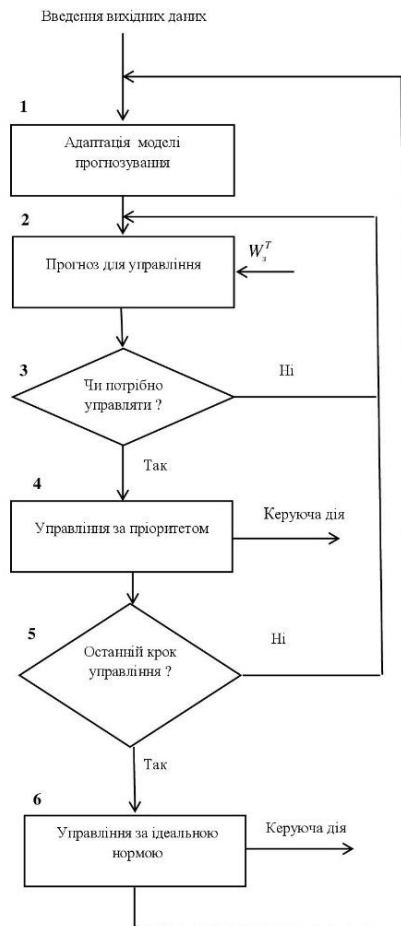


Рисунок 5. Алгоритм управління електроспоживанням за комбінованим методом

Варіант 2. Нехай очікується перевищення W_3^T на величину $\Delta W_{\tau-1}^T$, але $\Delta W_{зан}^{\tau-1} > 0$, тоді знаходимо співвідношення

$$K = \frac{\Delta W_{\tau-1}^T}{\Delta W_{\tau}^T} \quad (10)$$

і якщо для другого кроку управління $K \leq (\tau-1)/\tau$, для третього $K \leq (\tau-1)/(\tau-1)$ і для n -го $K \leq [\tau-(n-1)]/[\tau-(n-2)]$, тобто очікуване перевищення зменшилася пропорційно відношенню порядкового номера поточного кроку управління до попереднього, це означає, що керуючий вплив вибраний на попередньому кроці достатній для підтримки в нормі реального процесу електроспоживання. В цьому випадку додаткове відключення навантаження не проводиться.

Варіант 3. Умови аналогічні умовам варіанту 2, але $K > [\tau-(n-1)]/[\tau-(n-2)]$.

У цьому випадку необхідно провести додаткове відключення навантаження. Величина додаткового навантаження, що відключається $W_{дон}^{\Delta t}$, визначається з умови

$$\frac{\Delta W_{\tau-1}^T - W_{дон}^{\Delta t}}{\Delta W_{\tau}^T} \leq C; \quad C = \frac{\tau-(n-1)}{\tau-(n-2)}, \quad (11)$$

звідки

$$W_{дон}^{\Delta t} = \Delta W_{\tau-1}^T - C \Delta W_{\tau}^T. \quad (12)$$

Вибір додаткових відключаємих СР здійснюється відповідно до (9), вважаючи, що $\Delta W_{зан}^{\tau-1} = W_{дон}^{\Delta t}$ і, з огляду на відключених СР.

Варіант 4. На підставі прогнозу перевищення заданої величини не очікується, тобто $\Delta W_{\tau-1}^T \leq 0$. У цьому випадку проводиться відновлення навантаження в порядку зворотному відключення. Величина дозволеного до відновлення навантаження дорівнює

$$W_b^{\Delta t} = \Delta W_{\tau-1}^T. \quad (13)$$

На останньому кроці управління, якщо не очікується перевищення заданої величини, залишається в силі вплив, вироблений на попередньому кроці.

Якщо очікується перевищення на величину ΔW_{T-n}^T , то управління ведеться за методом ідеальної норми. Причому останній крок управління ділиться на m рівних часових відрізків. В кінці кожного відрізка перевіряється відповідність реального електроспоживання W_t з нормою на даний момент W_n і в разі перевищення норми проводиться відключення навантаження до кінця контролююмого інтервалу T на величину

$$W_{відкл} = W_t - W_n, \quad (14)$$

незалежно від поведінки процесу електроспоживання на наступних контролююмих відрізках.

По закінченню інтервалу T проводиться відновлення всієї відключеного навантаження.

Таким чином, в даному методі з'єднанні переваги управління по прогнозу (керуючий вплив обґрунтовується) і методу управління по ідеальній нормі (на останньому кроці управління, що дозволяє оптимально використовувати ліміт потужності, що залишився, і не перевищити заданої величини) з апіорно обґрунтованим порядком споживачів-регуляторів.

Висновок. Застосування різних методів управління електроспоживання диктується в основному ступенем напруженості технологічного процесу з погляду виконання виробничих завдань при введенні обмежень потужності. За основні критерії визначення межі застосовності методів управління електроспоживання використовуються економічна доцільність і технологічна допустимість. Запропонований комбінований метод управління представляє собою синтез двох відомих - методів - управління по ідеальній нормі та управління за прогнозною величиною електроспоживання і поєднує переваги обох методів - керуючий вплив обґрунтований (управління по прогнозу) при оптимально обґрунтованому використанню ліміту потужності (управління на останньому кроці по ідеальній нормі).

Список використаної літератури

1. Чокін Ш.Ч., Лойтер Э.Э. Управление нагрузкой электроэнергосистем. - Алма-Ата, Наука, 1985. - 288 с.
2. Скляр В.Ф., Праховник А.В., Экель П.Я. О многокритериальном управлении электропотреблением // Электронное моделирование. - 1987, т. 9, № 5. - С. 61 - 65.
3. Праховник А.В., Калинин В.П., Экель П.Я. К управлению электропотреблением в условиях дефицита энергоресурсов // Изв. ВУЗов СССР. Энергетика. - 1986. - № 10. С.11 - 15.
4. В. Тубинис. Управление электропотреблением. Зарубежные технические средства [Электронный ресурс]. - 2007. - Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru>
5. Застосування методу ідеальної норми для диспетчерського регулювання максимуму навантаження / Калінчик В.П., Несен Л.І., Суменко К.Ю.; НТУУ „КПІ” Н.-д. ін-т автоматики та енергетики „Енергія”. - Київ, 2013. - 9 с.: іл. - Бібліогр.: 5 назв. - Укр. - Деп. в ДНТБ України 18.04.13, № 10 - Ук 2013.
6. В.П.Калінчик, Л.І.Несен, О.В.Витвицький. Огляд і аналіз методів управління електроспоживанням/ Збірник наукових праць. Матеріали XXXVII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції „Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії” - Переяслав-Хмельницький. - 2017.- С.160-163.
7. Праховник А.В. Методы и средства управления электропотреблением. - Киев: Общество “Знание”, 1981. - 25 с.
8. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением. // Изв. вузов. Энергетика, - 1984, - № 12, - С. 3 - 10.
9. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий.- М.: Недра, - 1985,- 231с.
10. В.П.Калінчик. Методологія оперативного управління споживанням електричної енергії/ Енергетика: економіка, технології, екологія - 2013. - № 1. - С. 47 - 51

V.P. Kalinchyk, Ph.D., ORCID 0000 - 0003- 4028- 0185

V.A. Pobigaylo, Ph.D., ORCID 0000 - 0003- 2673 - 7329

O.V.Meita, Ph.D., ORCID 0000-0002-4132-5202

V.V. Kalinchyk, Ph.D., ORCID 0000 - 0003- 3931- 646X

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

V.G. Skosyrev, Ph.D., ORCID 0000 - 0002- 4758- 802X

State Higher Education Institution «Pryazovskyi State Technical University»

COMBINED METHOD OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION MANAGEMENT OF PRODUCTION FACILITIES

The article investigates the methods of power consumption control. It is shown that the power shortage during peak hours makes it difficult to maintain a balance between generation and consumption capacity, which

leads to the need to introduce restrictions on the electrical load of industrial consumers and the development of methods and tools to control power consumption. The need to manage energy consumption is due to a number of reasons, including: 1) the significant difference between peak load and night failure in power systems; 2) insufficient regulatory capacity of thermal power plants and nuclear power plants to cover the variable part of load schedules; 3) unfavorable tendency to reduce the share of shunting capacity in power systems caused by the consolidation of power units; 4) significant capital and energy costs associated with the construction and operation of peak units; 5) technical feasibility and economic feasibility of artificial alignment of load schedules. It is shown that the following methods of power consumption control are currently known: instantaneous rate; at the ideal norm; management on the forecast value; control with the use of average power on a moving time interval (moving window method) and combined methods that use different combinations, as well as the distribution of control influence between consumers - regulators (resource allocation method). It is better to consider such a control method that provides for a larger number of managed consumers random time distribution of possible short-term emissions, their minimum absolute value, as well as more complete use by the consumer of the declared capacity or allocated power and energy limits. According to these criteria, the listed management methods are compared. Moreover, the method of instantaneous rate is implemented in control or automatic control using a signal proportional to the average power for 1, 2 or 3 minutes, the method of the ideal norm involves measuring the average power of the consumer for short periods of time (up to three minutes) and comparing this value with the declared (or limit) power, control with prediction is that the control signal is formed as the difference between the amount of possible power and predicted at the end of the control cycle. To increase the efficiency of power consumption management, a combined control method is proposed, which is a synthesis of two known methods - control at the ideal norm and control over the predicted value of power consumption, which combines the advantages of both methods. The condition of management is maintenance of such mode of power consumption at which the set capacity is not exceeded and its set value is used as much as possible. Fulfillment of this condition is provided by working off of the restrictions set to each step of management. Due to the fact that different control steps have different control reactions to the real process, appropriate control methods are used for different steps. In the first steps, when there is enough time to adopt the optimal control effect and it can be adjusted, the control is based on the forecast value of electricity consumption, in the last steps, which have special responsibility for the control process; control is carried out by the ideal norm. Thus, this method combines the advantages of forecast management (control effect is justified) and the method of management at the ideal norm (in the last step of management, which allows optimal use of the remaining power limit and not exceed the specified value) with a priori justified order of consumers-regulators.

Key words: electric energy consumption, management, instantaneous rate, ideal norm, forecast, combined method.

References

1. S. Chokin, E. Loiter. Power system load management. - Almaty, Nauka, 1985. - 288 p.
2. V. Skliarov, A. Prakhovnik, P. Ekel. Multicriteria load management in power systems // Elektronnoe modelirovanie. - 1987, т. 9, № 5. - p. 61 - 65.
3. A. Prakhovnik, V. Kalinchyk, P. Ekel. To manage electricity consumption in conditions of energy shortage // Izv. VUZof SSSR. Energetika. - 1986. - № 10. p.11 - 15.
4. V. Tubinis. Power consumption management. Foreign technical means 2007. – <http://www.news.elteh.ru>
5. Application of the ideal norm method for control of maximum load control / V. Kalinchyk, L. Nesen, K. Sumenko; NTUU „KPI” NDI „Energia”. – Kyiv, 2013. – 9 p.: il. – Biblio.: 5 names. – Ukr. – Dep. v DNTB Ukrainy 18.04.13, № 10 – Uk 2013.
6. V. Kalinchyk, L. Nesen, O. Vytvytskyi. Review and analysis of power consumption management methods / Collection of scientific works. Proceedings of the XXXVII International Scientific and Practical Internet Conference „Problemy ta perspektyvy rozvytku nauky na pochatku tretoho tysiacholittia u krainah Evropy ta Azii” – Pereiaslav. – 2017.- p.160-163.
7. A. Prakhovnik. Methods and means of power management. - Kyiv: Obshestvo “Znanie”, 1981. - 25 p.
8. A. Prakhovnik. Automation of power consumption management. // Izv. vuzov. Energetika, - 1984, - № 12, - p. 3 - 10.
9. A. Prakhovnik, V. Rozen, V. Dehtiarov. Energy saving modes of power supply of mining enterprises.- M.: Nedra, - 1985,- 231p.
10. V. Kalinchyk. Methodology of operative management of electric energy consumption / Enerhetika: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia – 2013. - № 1. – p. 47 – 51.

Надійшла 19.10.2021

Received 19.10.2021