

## КОНТРОЛЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Енергозбереження та енергоефективність є основними положеннями державної політики, що визначають пріоритетні напрямки розвитку паливно-енергетичного комплексу України. Питання енергозбереження, ефективного використання енергетичних ресурсів прямо пов'язані з енергетичною безпекою України і конкурентоспроможністю вітчизняної економіки [1, 2].

Найбільш значними споживачами енергетичних ресурсів в Україні є промислові підприємства. Постійне підвищення цін на енергоресурси змушує промислові підприємства здійснювати відповідні кроки для зниження енергоспоживання (енергетична безпека підприємства). Зниження енергоспоживання, при незмінному об'ємі випуску продукції, можливе лише за умов підвищення ефективності використання енергоресурсів.

Впровадження на промислових підприємствах політики енергозбереження і ефективного використання енергетичних ресурсів значною мірою залежить від оснащення їх сучасними засобами контролю процесів енергоспоживання та управління цими процесами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах ринкової економіки промислові підприємства більше уваги почали приділяти питанням контролю споживання енергетичних

ресурсів. На багатьох промислових підприємствах впроваджуються автоматизовані системи контролю та обліку енергетичних ресурсів (АСКОЕ), побудовані з застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та обчислювальної техніки [3-5].

Більшість підприємств обмежуються комерційними АСКОЕ, що дозволяють лише проводити взаєморозрахунки з енергопостачальними організаціями. Деякі підприємства, зазвичай - значні споживачі, прагнуть отримати більш вичерпну інформацію стосовно споживання енергоресурсів і тому впроваджують АСКОЕ технічного обліку. Точки обліку цих АСКОЕ встановлюються таким чином, щоб контролювати споживання енергетичних ресурсів технологічними складовими промислового підприємства [3, 4].

Але АСКОЕ надає інформацію лише про фактичне споживання енергетичних ресурсів на промисловому підприємстві і тому дозволяє лише приблизно судити про ефективність їх використання. Так, за вимірюваннями АСКОЕ, можна лише встановити факти надмірного використання електричної енергії на деяких ділянках технологічного циклу, але іноді важко з'ясувати причини цих витрат.

В [6] вперше розглянуті питання контролю ефективності використання електричної енергії шляхом застосування АСКОЕ та технологічних датчиків, що відображують стан технологічних об'єктів. Але на цей час вказані питання не набули належного розвитку.

**Постановка завдання.** Для забезпечення ефективного контролю за споживанням енергетичних ресурсів необхідно здійснювати спостереження у відповідності до поточного стану технологічного процесу (ТП) – основного споживача енергії на промисловому підприємстві. На цей час на промислових підприємствах такий контроль практично не здійснюється.

**Вирішення поставленого завдання.** На багатьох промислових підприємствах існують і успішно функціонують автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП). Такі системи зазвичай повністю контролюють ТП і потребують лише мінімального втручання оперативного персоналу. Поточний стан ТП визначається за допомогою технологічних датчиків (ТД), що встановлюються в усіх важливих ланках ТП.

Відповідність значення спожитої енергії поточному стану ТП може бути встановлена за допомогою математичної моделі (ММ) ТП. Така ММ повинна містити в собі інформацію щодо потреби ТП в енергії протягом усього технологічного циклу.

Таким чином, до складу системи контролю ефективності використання енергетичних ресурсів на промисловому підприємстві повинні входити АСКОЕ, система ТД АСУТП, а також математична модель, що відображає властивості енергоспоживання ТП.

Узагальнена структурна схема системи контролю наведена на рис. 1. Для спрощення припустимо, що на підприємстві виконується один ТП. Система здійснює порівняння значення енергії, що необхідно для переведення ТП у поточний стан  $\overline{W}_D$  із значенням фактично спожитої енергії, визначеним за допомогою АСКОЕ  $\overline{W}$ .

Збираючи інформацію з лічильників енергії, АСКОЕ контролює поточне споживання енергії. При цьому вона формує вектор спожитої енергії

$$\overline{W} = (W_1, W_2, \dots, W_N), \quad (1)$$

де  $W_i$  - спожита енергія, що фіксується в точці обліку  $i \in [1, N]$  і відповідає споживанню  $i$ -тої технологічної ланки ТП;

$N$  - загальна кількість точок обліку ТП (технологічних ланок ТП).

Таким чином, АСКОЕ визначає значення кількості енергії, яка фактично спожита кожною технологічною ланкою ТП з початку технологічного циклу на поточний час.

За допомогою ТД, що входять до складу АСУТП, визначається поточний стан ТП. Інформаційно-вимірювальна система, що входить до складу АСУТП, формує вектор поточних показань ТД

$$\overline{D} = (D_1, D_2, \dots, D_N), \quad (2)$$

де  $D_i$  - поточні показання  $i$ -го технологічного датчика,  $i \in [1, N]$ ;

$N$  - загальна кількість ТД, що використовується.

Математична модель (ММ) відображає систему енергоспоживання ТП. За допомогою ММ визначається кількість енергії, що необхідна для переведення ТП у поточний стан -  $\overline{W}_D$ .



Рис. 1. Узагальнена структурна схема системи контролю ефективності використання енергетичних ресурсів на промисловому підприємстві

Зовнішні фактори (умови навколишнього середовища, якість сировини і т.п.) можуть суттєво вплинути на значення спожитої енергії, що визначається за допомогою ММ. ММ повинна мати засоби для врахування впливу зовнішніх факторів.

Різниця

$$\overline{\Delta W} = \overline{W} - \overline{W}_D \quad (3)$$

визначає поточні втрати енергії.

Складові  $\overline{\Delta W}$  перевіряються. Якщо які-небудь складові перевищують допустимі значення то система привертає увагу оператора та пропонує корективи до плану управління енергоспоживанням. Після закінчення технологічного циклу формується звіт про використання енергетичних ресурсів.

Для того, щоб різниця (3) мала зміст, компоненти векторів  $\overline{W}$  та  $\overline{W}_D$  повинні відповідати один одному. Для цього необхідно узгодити точки обліку енергії з технологічними складовими ТП.

Важливим елементом структури (рис. 1) є математична модель технологічного процесу. Розглянемо принципові питання побудови ММ.

Основними споживачами енергії на промисловому підприємстві є ТП.

Складовими будь-яких ТП є фізичні та хімічні процеси. Усі фізичні та хімічні процеси в природі відбуваються з споживанням енергії. При реалізації процес послідовно переходить з одного стану в інший. Причому, для будь-якого ТП при незмінних зовнішніх умовах справедливі наступні положення:

- кількість енергії, спожитої ТП за інтервал часу технологічного циклу  $W_q$ , є величиною сталою (будемо вважати, що ТП вже оптимізований по кількості споживаної енергії);
- кількість енергії, що необхідна для переведення ТП з одного стану в інший, повинна бути постійною для будь-якої реалізації ТП.

Таким чином, при незмінних зовнішніх умовах, спожита ТП енергія повинна повністю визначати його поточний стан. Тому, при розгляді системи енергоспоживання ТП, можна абстрагуватись від специфіки реалізації ТП і вважати, що спожита енергія відображається в зміні поточного стану процесу. Ці положення є ключовими при побудові ММ [7].

Кількість енергії, що необхідна для переведення ТП у поточний стан -  $\overline{W}_D$ , може бути визначена за допомогою ММ в два етапи:

- перший етап - визначення поточного фазового стану ТП у відповідності до сигналів ТД;
- другий етап - визначення кількості спожитої енергії відповідно до поточного фазового стану ТП.

Розглянемо кожен з цих двох етапів окремо.

Кожен стан процесу зазвичай характеризується багатьма параметрами (температура, тиск і т.д.). Деякі з цих параметрів вимірюються за допомогою ТД, що входять до складу АСУТП як засоби контролю режимів реалізації ТП. За показаннями цих приладів здійснюється управління режимами реалізації ТП.

З іншого боку будь-який реальний ТП у кожний момент часу може бути охарактеризований однією величиною - його поточним фазовим станом  $\varphi$ , що певним чином відбиває процес просування ТП у виконанні поставленого завдання і відповідає рівню його завершеності. Узагалі поточний фазовий стан ТП є інтегральною величиною і відповідає різним поточним показникам реалізації ТП, наприклад:

- собівартості напівфабрикату;
- порівняльної трудомісткості виконаних робіт;
- початку і закінченню основних технологічних операцій;
- етапам ТП, на яких відбуваються найважливіші фізичні і хімічні явища, що призводять до утворення кінцевого продукту.

Пошук способу формування величини  $\varphi$  складає сутність задачі формалізації фазового стану ТП [7].

У процесі реалізації ТП його фазовий стан послідовно змінюється у часі

$$\varphi = \varphi(t). \quad (4)$$

При цьому  $\varphi(t)$  повинна вважатися неубутною функцією.

Більшість реальних ТП виконуються з періодичністю, що відповідає технологічному циклу, протягом якого вони проходять всі свої фазові стани від  $\varphi_0$  – відповідає початку циклу і початку вирішення задачі до  $\varphi_N$  – відповідає кінцю циклу і закінченню вирішення задачі. Для спрощення формалізації задачі може бути прийнято  $\varphi_0 = 0$ ,  $\varphi_N = 100\%$ .

Дослідження різних типів ТП, проведені з позицій системного аналізу, показали, що в більшості випадків вони є складними системами і тому для більш повної оцінки їх структурних можливостей необхідно застосовувати метод декомпозиції. У результаті декомпозиції досліджуваній ТП представляється системою взаємозалежних елементарних технологічних процесів (ЕТП). У рамках всієї системи кожний ЕТП розглядається як підсистема, що має певну автономію, яка зумовлена наявністю в кожного ЕТП окремого технологічного завдання, що відповідає його ролі і призначенню в складі ТП. Кожний ЕТП також є споживачем енергії і повинен мати свої окремі засоби контролю енергоспоживання і засоби контролю фазового стану.

Фазовий стан складного ТП характеризується сукупністю фазових станів ЕТП і може бути представлений у векторному вигляді:

$$\bar{\Phi} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N), \quad (5)$$

де  $\varphi_i$  - фазовий стан  $i$ -го ЕТП;

$N$  - загальна кількість ЕТП.

У даному випадку кожен ЕТП розглядається як простий ТП, що характеризується фазовим станом та зазвичай має свій набір технологічних датчиків  $\{D_i\}_M$ , де  $M$  - кількість технологічних датчиків ЕТП.

Питання формалізації фазового стану ТП більш детально розглянуті в [7,8].

Визначення поточного фазового стану ТП по показам ТД здійснюється за допомогою співвідношення  $\bar{\Phi}(\bar{D})$ , що будується на етапі параметризації ММ для опорного режиму реалізації ТП.

Опорним режимом обирається такий режим реалізації ТП, що відповідає наступним вимогам:

- режими роботи енергетичного та технологічного обладнання повинні бути максимально близькими до номінальних;
- значення зовнішніх факторів, що впливають на ТП, повинні бути близькими до їх типових значень (нормальні умови реалізації ТП);

При побудові  $\bar{\Phi}(\bar{D})$  для опорного режиму реалізації ТП здійснюється моніторинг сигналів технологічних датчиків усіх ЕТП. Водночас, у відповідності до способу формалізації фазового стану, розраховуються поточні значення фазових станів ЕТП. Для кожного ЕТП будується співвідношення  $\varphi(\bar{D}_i)$ . Співвідношення  $\bar{\Phi}(\bar{D})$  будується шляхом формування вектора з його компонентів (5).

Отримана залежність  $\bar{\Phi}(\bar{D})$  дозволяє протягом усього технологічного циклу ідентифікувати поточний фазовий стан ТП за сигналами ТД.

Розглянемо питання визначення кількості спожитої ТП енергії відповідно до поточного фазового стану ТП.

Енергетичні потреби ТП забезпечуються енергією, споживаною ним протягом технологічного циклу з різною інтенсивністю процесу споживання. Система енергоспоживання кожного ТП, або кожного ЕТП (у випадку складного ТП) може бути охарактеризована таким основним

параметром, як функція щільності розподілу споживаної енергії у просторі фазових станів процесу

-  $G(\varphi) = \frac{dW}{d\varphi}$  [7]. Функція  $G(\varphi)$  характеризує енергосміність фазових переходів ТП.

Функція  $G(\varphi)$  будується для опорного режиму реалізації ТП на етапі параметризації ММ. Вигляд залежності  $G(\varphi)$  залежить насамперед від інтенсивності споживання, а також від обраного способу формалізації фазового стану процесу. Вплив зовнішніх факторів на споживання ТП враховується шляхом корегування  $G(\varphi)$  за допомогою функцій впливу, що встановлюються для кожного вагомого фактора окремо, при системному аналізі системи енергоспоживання ТП [8].

Маючи  $G(\varphi)$ , кількість енергії, що спожита ТП (ЕТП) з початку технологічного циклу, може бути визначена наступним чином:

$$W_{\varphi} = \int_0^{\varphi} G(\varphi^*) d\varphi^*, \quad (6)$$

де  $\varphi$  - поточний фазовий стан ТП (ЕТП);

$\varphi^*$  - змінна інтегрування.

Для складного ТП вектор спожитої енергії формується з величин спожитої енергії кожного ЕТП

$$\overline{W}_D = \overline{W}_{\varphi} = (W_{\varphi 1}, W_{\varphi 2}, \dots, W_{\varphi N}), \quad (7)$$

де  $W_{\varphi i}$  - енергія, спожита  $i$ -тим ЕТП з початку технологічного циклу.

Таким чином, ММ відображає відповідність спожитої енергії поточному стану ТП.

В [8] питання побудови ММ ТП, що використовується в системі контролю ефективності використання енергії, розглянуті більш детально.

### Висновки

Перехід енергетики України на ринкову основу та постійне підвищення цін на енергоносії змушують промислові підприємства здійснювати контроль ефективності використання енергетичних ресурсів. Такий контроль повинен бути направлений у першу чергу на технологічний процес – основного споживача енергії на промисловому підприємстві.

Ефективний контроль використання енергетичних ресурсів на промисловому підприємстві можливо забезпечити шляхом спостереження за споживанням енергетичних ресурсів відповідно до зміння поточного стану технологічного процесу. Така задача може бути вирішена за допомогою інтегрованої системи, утвореної шляхом поєднання функцій автоматизованої системи контролю та обліку енергії з функціями автоматизованої системи управління технологічним процесом.

Ключовим елементом структури системи контролю ефективності використання енергетичних ресурсів є математична модель технологічного процесу промислового підприємства. Математична модель повинна містити у собі інформацію стосовно інтенсивності споживання енергетичних ресурсів, а також засоби для врахування впливу зовнішніх факторів на споживання технологічного процесу.

### Література

1. Праховник А.В., Іншеков Є.М. Ефективне енерговикористання в Україні: основні проблеми та шляхи їх вирішення// Управління енерговикористанням: Збірник доповідей/ За загальною редакцією Праховника А.В. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 19-34.
2. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України/ Відпов. ред. Шидловський А.К.-Київ: УЕЗ, 1998. – 506с.
3. Концепция построения автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии в условиях энергорынка. Утверждена совместным указом Минтопэнерго, НКРЭ, Госкомэнергозбереження, Госстандарта, Госстроя, Госпромполитики № 32/28/28/276/75/54, от 17 апреля 2000г. Информационный бюллетень НКРЭ.- 2002.- №11.- С. 230-261.
4. Праховник А.В., Калиничик В.П., Прокопец Н.В. Автоматизированные системы контроля и учета энергии и управление электропотреблением промышленных предприятий/ Вестник

- Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», серия «Электротехника, электроника и электропривод».- 2003.- Выпуск 10, том 1.- С. 18-23.
5. Праховник А.В., Калінчик В.П., Разумовський О.В., Гудименко С.В., Дегтярьов О.В. Автоматизація комерційного та технічного обліку й контролю енергоспоживання// Управління енерговикористанням: Збірник доповідей/ За загальною редакцією Праховника А.В. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 443-451.
  6. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением. - К.: Вища школа, 1986, 72 с.
  7. Розен В.П., Прокопец М.В. Використання внутрішніх резервів технологічних процесів при управлінні режимами електроспоживання промислових підприємств// Автоматизація виробничих процесів. Всеукраїнський науково-технічний журнал.-2006.- №1.- С. 26-30.
  8. Прокопец Н.В. Синтез математической модели технологического процесса для системы управления электропотреблением промышленного предприятия// Нац. техн. ун-т Украины «Киев. политехн. ин-т» - Киев, 2006. – 37с.- Деп. в ГНТБ Украины 27.03.06, №23 – Ук2006.
- 
-