

Методологічні основи управління споживанням електричної енергії промисловими підприємствами

С.М. Балюта, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

В.Д. Йовбак, кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

Л.О. Копилова, аспірант кафедри електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

Є.О. Корольов, аспірант кафедри електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

В статті представлені методологічні основи управління режимами електроспоживання промислових підприємств. Показано, що основними факторами, які впливають на управління електроспоживанням є тарифи на електричну енергію, режими роботи електропримачів, якість електричної енергії. Показано, що ефективними методами управління електроспоживанням є використання споживачів-регуляторів електричної енергії, методів нормування витрат електричної енергії на виробництво продукції, а також оптимізації режимів систем електроспоживання. Для ефективного управління електроспоживанням доцільно застосовувати інтелектуальні методи короткострокового прогнозування режимів електроспоживання, а оперативне управління електроспоживанням і режимами електричних мереж промислових підприємств може бути виконано в режимі реального часу. В статті представлені основні положення побудови автоматизованих систем управління використанням електричної енергії і комплексів технічних засобів контролю енергоспоживання.

Ключові слова: електроспоживання, управління, споживачі-регулятори, оптимізація, облік, контроль.

В статье представлены методологические основы управления режимами электропотребления промышленных предприятий. Показано, что основными факторами, которые влияют на управление электропотреблением есть тарифы на электрическую энергию, режимы работы электропримачів, качество электрической энергии. Эффективными методами управления электропотреблением является использование потребителей-регуляторов электрической энергии, методов нормирования расходов электрической энергии на производство продукции, а также оптимизации режимов систем электроснабжения. Показано, что для эффективного управления электропотреблением целесообразно применять интеллектуальные методы краткосрочного прогнозирования режимов электропотребления, а оперативное управление электропотреблением и режимами электрических сетей промышленных предприятий может быть выполнено в режиме реального времени. В статье представлены основные положения построения автоматизированных систем управления использованием электрической энергии и комплексов технических средств контроля энергопотребления.

Ключевые слова: электропотребление, управления, потребители-регуляторы, оптимизация, учет, контроль.

The article presents the methodological framework for the management of the power consumption of industrial enterprises. It is shown that the main factors that affect the management of energy consumption tariffs for electric energy, modes of operation elektroprenos, the quality of electrical energy. It is shown that effective management of energy consumption is the use of consumers-regulators of electrical energy, methods of rationing expenditure of electrical energy production, as well as optimization of energy supply systems. It is shown that for effective management of electrophoregram it is advisable to apply intelligent methods of short-term forecasting of energy consumption and operational management of power consumption and electric networks of industrial enterprises can be performed in real-time. The article presents the main provisions of the building automated control systems utilization of electrical energy and technical devices power consumption.

Keywords: consumption, management, consumers, regulators, optimization, accounting, control.

Проблема управління використанням електричної енергії є актуальною для цукрової промисловості, оскільки дозволяє вирішити питання ефективного використання генеруючих потужностей, зменшення втрат електроенергії при її транспортуванні та зменшення енергоємності продукції, що випускається промисловими підприємствами. Реалізація методів управління використанням електричної енергії потребує значно менших коштів, ніж введення у дію нових енергоблоків і дозволить знизити сучасні потреби енергетики в генеруючих потужностях не менш як на 10-15 відсотків. Задача управління електроспоживанням на цукрових заводах ускладнюється сезонним характером виробництва та наявністю генеруючих потужностей активної енергії.

Постановка задач і дослідження. Завдання полягає у розробці методологічних основ управління електроспоживанням промислових підприємств та побудови автоматизованої системи управління електроспоживанням промислових підприємств.

Матеріали досліджень

Особливості управління електроспоживанням. Ефективне управління використанням електричної енергії обумовлюється комплексним вирішенням принципів питань: розробки і впровадження дієвої нормативно-правової бази управління використанням електричної енергії; розробки та запровадження прогресивної системи тарифів на електричну енергію, яка стимулювала б створення і використання у споживачів маневрового електричного навантаження (споживачів-регуляторів електричної енергії); створення моделей, методів та програмного забезпечення для управління режимами електричних мереж промислових підприємств, електричним навантаженням споживачів та їх електроспоживанням; створення та забезпечення постачальників і споживачів електроенергії сучасними автоматизованими системами і технічними засобами обліку та управління електроспоживанням; [1].

Методологія побудови систем управління електроспоживанням промислових підприємств

Система управління електроспоживанням промислових підприємств є найбільшою і безпосередньо пов'язаною з виробничим процесом, від якої значною мірою залежить ефективне функціонування підприємства в цілому. Тому цій системі при розробці АСУ енергетикою підприємств приділяється особлива увага. Метою цієї системи є ефективне (надійне і економічне) постачання промислових підприємств електроенергією. Виконання цієї мети досягається рішенням загальної задачі управління $\{П, \Phi\}$, де $П$ - опис об'єкту управління, а Φ - критерій управління їм [6].

Опис ОУ є формалізацією вимог виконання підприємством запланованих (договірних) об'ємів продукції.

Тобто:

$$П = \{\pi_i = f_i(\mathbf{X})\}, i = 1, N \quad (1)$$

де π_i - формальний опис i -тої вимоги. \mathbf{X} - простір параметрів і характеристик станів ОУ

Критерій управління при існуючих взаєминах з енергопостачальною організацією може бути прийнятий у вигляді:

$$\Phi = \lambda_w W + \lambda'_w \Delta W + \lambda_p P_s + \lambda'_p \Delta P_s + \lambda_Q Q + k_w \lambda_w W + Y_p(\Delta P, t_{\text{опр}}) + Y_{\text{ТО}}(y_m, 3) \rightarrow \min \quad (2)$$

де, λ_w і W - відповідно тариф на електроенергію і об'єм її споживання підприємством (включаючи втрати в електромережі); λ'_w та ΔW - відповідно тариф на електроенергію, спожиту понад договір, і її витрату; λ_p і P_s - відповідно тариф на договірну (заявлену, або новану) потужність, що бере участь в максимумі навантаження ЕЕС, і величина цієї потужності; λ'_p і ΔP_s - відповідно тариф на активну потужність, спожиту понад заявлену, і її величина; λ_w і Q - відповідно тариф на реактивну потужність в години максимуму навантаження ЕЕС і максиміска величина цієї потужності; $k_w = k_w$ [або $k_w = k_w''$] - коефіцієнт плати за спожиту [або генеровану] реактивну енергію понад значення, встановлених в договорі (затверджується органом по регулюванню тарифів); Y_p - витрати від підприємств по регулюванню активної потужності в години максимуму навантаження ЕЕС, яка є функцією глибини зниження і часу $t_{\text{опр}}$ обмеження навантаження; $Y_{\text{то}}$ - збиток від ненадійної роботи електроустаткування y_m і несвоєчасного виведення його в ремонт 3.

Вказані вище тарифи зазвичай диференційовані за часом доби, днями тижня, місяцями, сезонами і режимам електропостачання.

Застосування диференційованих тарифів стимулює споживача до зниження споживаної потужності в години максимальних навантажень ЕЕС і перенесенню електроспоживання в зону дії мінімальних ставок тарифу, що відповідають мінімуму її навантаження. Цим досягається бажане для ЕЕС вирівнювання графіку навантаження як протягом доби, так і по днях тижня. Тому диференційовані за часом тарифи вигідні і енергопостачальній організації, і споживачам електроенергії.

Представити опис $П$ і Φ аналітично на просторі параметрів і характеристик станів ОУ практично неможливо. Тому реалізується взаємозв'язана сукупність завдань управління (ЗУ).

Розкладання ЗУ електроспоживанням промислових підприємств на окремі ЗУ створює можливість розумного вибору і реалізації окремих комплексів завдань. При цьому кожен комплекс завдань функці-

онує відповідно до своїх локальних критеріїв ефективності, відбиваючи ту або іншу сторону процесу електроспоживання підприємства. Ці критерії узгоджуються з критерієм Φ , який в цьому випадку виступає як оціночний. В якості локальних критеріїв можуть виступати ті, що безпосередньо входять до критерію Φ , визначеного виразом (1).

Формування структури ухвалення рішень

Структура ухвалення рішень (СПР) по управлінню електроспоживанням промислових підприємств є представленням ЗУ у вигляді сукупності ЗУ Z , описаною орієнтованим графом G (рис.1), $Z = \{z_i\}, i = 1, I (I = 4)$ де - множина вершин (завдань управління) графа; $VI = ZxZ$ - множина дуг $(z_i, z_j), i \neq j$ графа, що відбивають зв'язаність ЗУ (причинно-наслідкові зв'язки між ЗУ); $z_i, \epsilon Z$ - завдання, реалізація яких потрібна для вирішення ЗУ z_i (таблиця 1).

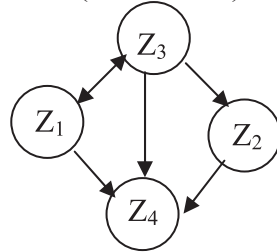


Рис. 1. Узагальнена структура прийняття рішень при управлінні електроспоживанням підприємств

Усі завдання управління є оптимізаційними, тобто при вирішенні будь-якого з них необхідно відповідно до критерію (2) отримати максимальну ефективність. Для вирішення конфліктів між ними вирішуються завдання координації, в яких використовуються різні способи формального вираження компромісу, а також інтуїція і досвід управлінського персоналу промислових підприємств.

Таблиця 1

Найменування задач	Зміст завдань
Z_1	Встановлення обмежень на параметри електроспоживання підприємств (величина заявляється потужності, ліміти на споживання електроенергії, мінімально та максимально допустимі значення реактивної потужності, допустимі відхилення напруги у вузлах електромережі), а також параметри технічного стану електрообладнання та якості продукції, що виготовляється на ньому
Z_2	Оптимізація балансів підприємств по активній і реактивній електроенергії; планування споживання електроенергії та активної потужності підприємствами та виробничими підрозділами
Z_3	Забезпечення надійного електропостачання підприємств: вибір топології електромережі; управління споживанням електроенергії, активної та реактивної потужності; моніторинг технічного стану на електроспоживному технологічному обладнанні
Z_4	Підвищення ефективності управління електроспоживанням підприємств шляхом морального та матеріального стимулювання персоналу служби головного енергетика

Найбільша ефективність при вирішенні конфліктів між ЗУ досягається у разі використання діалогових процедур, заснованих на інтерактивному спілкуванні енергодиспетчера з інформаційно-обчислювальним комплексом (ІОК) [8]. Такий підхід до вирішення конфліктів дозволяє енергодиспетчерові в діалозі з ІОК змінювати умови рішення ЗУ, здійснювати перегляд отриманої множини рішень і вибір одного з них.

Структура ухвалення рішень дозволяє розглядати ЗУ електроспоживанням по частинах, вирішуючи завдання помітно меншої складності. Оптимальність управління електроспоживанням підприємств в цілому при цьому досягається координацією і узгодженням результатів рішення цих завдань. Підхід до синтезу структури системи автоматизованого управління процесом електроспоживання промислових підприємств.

Процес управління організаційно-технічними системами представляється у вигляді сукупності взаємопов'язаних відображень: де A - функціональні блоки системи управління; a_k - блок реалізації k -ї функції системи; f_k - функція відображення для a_k -го блоку; C і C_k - умови реалізації всіх функцій і k -ї функції системи відповідно; O і O_k - організаційно-технічні засоби реалізації всіх функцій і k -ї функції системи відповідно; I, I_k і I_{k+1} - інформаційні потоки системи, вхідні і вихідні потоки для k -го блоку.

При управлінні процесом електроспоживання промислових підприємств виконуються такі операції підготовки і обробки даних : реєстрація і перевірки на достовірність вимірювальної інформації; a_2 - вибір моделі і прогнозування добової витрати електроенергії підприємства і виробничих підрозділів; a_3 - нормування та планування електроспоживання підприємства і виробничих підрозділів на основі прогнозних значень, складання електричного балансу по підприємству; a_4 - порівняння фактичного і запланованого електроспоживання підприємства і виробничих підрозділів за черговий місяць,

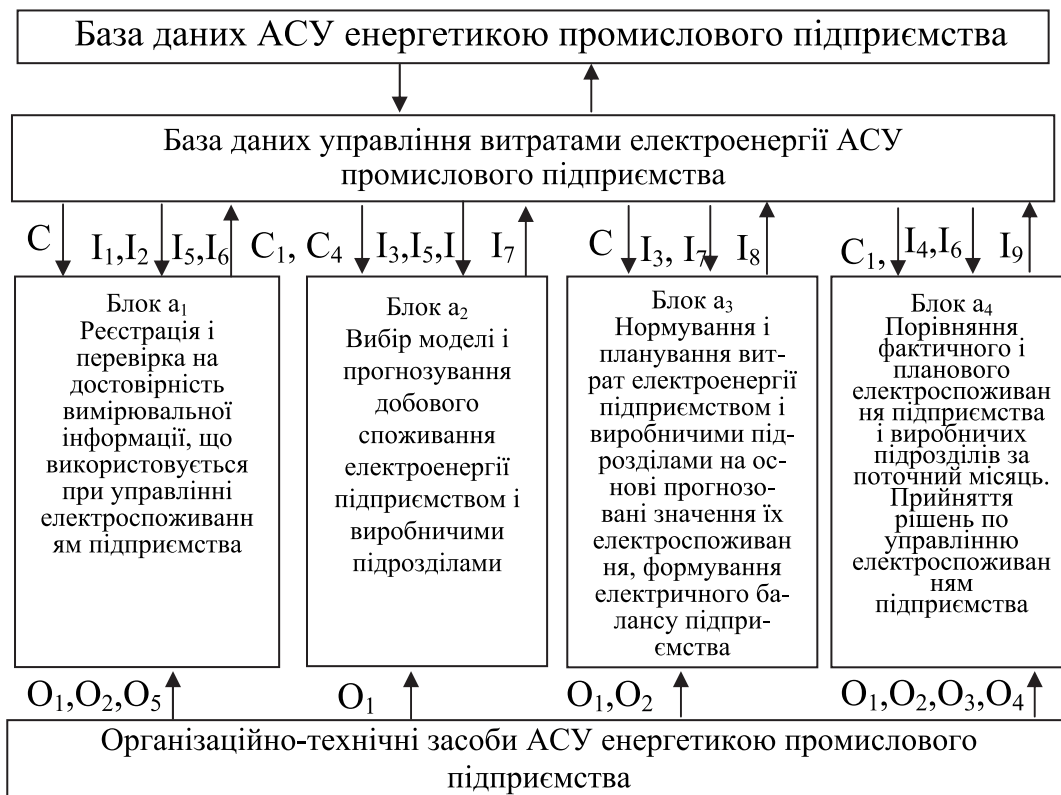


Рис. 2. Структура системи автоматизованого управління електроспоживанням промислового підприємства

прийняття рішень по управлінню електроспоживанням підприємства; $O_k = \{o_1, o_2, o_3, o_4, o_5\}$, де o_1 - інформаційно-обчислювальний комплекс (ІСК) служби головного енергетика; o_2 - енергодиспетчер; o_3 - енергобюро; o_4 - головний енергетик; o_5 - датчики та вимірювальні пристрої; $I_k = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9\}$, де I_1 - дані по середньодобовій температурі навколишнього середовища; I_2 - дані по електроспоживанню підприємства і виробничих підрозділів; I_3 - дані обсягів продукції, виробленої ними; I_4 - ліміт електроспоживання підприємства; I_5 - достовірна інформація при середньодобовій температурі навколишнього середовища; I_6 - достовірна інформація про електроспоживання підприємства і виробничих підрозділів; I_7 і I_8 - прогнозні і планові значення електроспоживання за ним; I_9 - прийняті рішення з управління електроспоживанням підприємства. З урахуванням введених позначень для відображення процесу управління електроспоживанням підприємств приймуть вигляд: для функціонального блоку a_1 $f_1(C_3, o_1, o_2, o_5) : (I_1, I_2) \rightarrow (I_5, I_6)$; - для функціонального блоку a_2 $f_2(C_1, C_4, o_1) : (I_3, I_5, I_6) \rightarrow I_7$; - для функціонального блоку a_3 $f_3(C_1, o_1, o_2) : (I_3, I_7) \rightarrow I_8$; - для функціонального блоку a_4 $f_4(C_1, C_2, o_1, o_2, o_3, o_4) : (I_4, I_6, I_8) \rightarrow I_9$. Взаємодія між функціональними блоками здійснюється через інформаційні потоки (рис. 2).

При побудові системи управління електроспоживанням доцільно використати метод розпізнавання станів СЕС, доповнюваний методами ідентифікації станів СЕС із застосуванням нейронечіткої мережі та оптимізації станів СЕС на основі генетичного алгоритму. Крім того ефективність системи управління можна підвищити використовуючи методику класифікації станів СЕС за допомогою субтрактивної і нечіткої кластеризації.

Планове управління електроспоживанням

Планування потужності споживача обумовлюється необхідністю визначити можливості регулювання навантаження в нормальному режимі з метою мінімізації витрат на електроспоживання (та тран-

Таблиця 2

Цільова функція	Обмеження цільової функції	Тип СР	Режим роботи
$W_H \rightarrow 0$	$\begin{cases} 3_d = 0, y = 0 \\ E = E_H, y = 0 \end{cases}$	CP_H^I CP_H^{II}	Нормальний
$W_H - W_{дон} \rightarrow 0$	$\begin{cases} 3_d = 0, y = 0 \\ E \geq E_H, y = 0 \end{cases}$	CP_H^{III} CP_H^{IV}	Нормальний
$y \rightarrow \min$	$W_H < W_{дон}, E > E_H$	CP_H^V	Вимушений

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

спортування електричної енергії і визначення споживачів-регуляторів (СРн) електричної енергії нормального режиму) та у вимушеному режимі, який реалізується при впровадженні обмежень з боку енергопостачальної організації (визначення споживачів-регуляторів (СРв) електричної енергії вимушеного режиму) [3].

Класифікація та визначення критеріїв формування СР електричної енергії наведено в [4]. Для переведення споживачів електричної енергії в режим споживачів-регуляторів здійснюється відповідно до формалізованих цільових функцій та обмежень, що відповідають їм, а також з урахуванням типу та режиму роботи СРі j (див. таблицю 2).

В цій таблиці: W_n – споживання електроенергії СР в пікові навантаження; $W_{\text{доп}}$ – допустиме споживання електроенергії СР в пікові навантаження; Z_d – додаткові затрати на створення позапікового режиму роботи СР; y – збиток підприємства від організації позапікового режиму роботи СР; E і E_n – розрахунковий і нормативний коефіцієнти ефективності.

Управління електроспоживанням підприємства через регулювання навантаження споживачів технологічного процесу (СР) шляхом переміщення даного процесу в зони мінімальних навантажень енергетичних систем запропонована в роботі [5].

Синтез системи управління електроспоживанням необхідно проводити з урахуванням забезпечення оптимізації режимів системи електроспоживання впливаючи на режими напруги і реактивної потужності в системі електропостачання (СЕ).

Оперативне управління навантаженням. Для управління електричним навантаженням в нормальному режимі доцільно використовувати евристичний метод, що об'єднує переваги методів управління за ідеальною нормою та управління з упередженням [4]. При формуванні сигналів і встановлення пріоритету управління використовуються логічні оцінки поточних та випереджувальних ситуацій, а також встановлення та перерозподіл черговості обмеження та поновлення споживачів за апріорно визначеним пріоритетом.

Управління навантаженням підприємств проводиться у режимі реального часу з розглядом дискретності ступенів електроспоживання із застосуванням елементів нечіткої логіки при різних формах оцінювання негативних наслідків. В умовах обмежень, що накладаються енергосистемою або зниження потужності (за рахунок переривання навантажень) відключення СРв повинно провадитись залежно від реального електроспоживання підприємства з урахуванням існуючих обмежень. Необхідно враховувати, що критерієм нормального функціонування підприємства є отримання передбаченого планом добового сукупного продукту, для реалізації плану необхідно інтенсифікувати роботу підприємства під час мінімуму навантаження енергосистемами. Управління в цьому випадку може проводитись з використанням теорії розподілу ресурсу (в цьому випадку енергетичного ресурсу споживачів - регуляторів) на кожному кроці управління [2, 3, 6].

Підхід до підвищення якості керування режимами електроспоживання промислових підприємств, в основу якого покладено інформаційно-логічна схема (ІЛС) управління, що дозволяє системно підійти до вирішення взаємопов'язаного комплексу завдань: регулювання активної та реактивної навантажень, мінімізації втрат і підтримання напруги в межах встановлених норм у вузлах електричної мережі підприємств.

Оптимізація режимів електроспоживання вимагає адаптивної процедури оперативного прогнозування активної і реактивної навантажень на основі фільтрів Брауна і штучних нейронних мереж (ШНМ), що забезпечують точність, необхідну для керування режимами електроспоживання промислових підприємств в умовах реалізації керуючих впливів. В основу побудови програмного забезпечення керування режимами електроспоживання підприємств необхідно покласти математичні моделі й алгоритми оперативного управління електроспоживанням, підтримання необхідних рівнів напруги і мінімізація втрат від перетоків реактивної потужності в електромережах підприємств,.

Таким чином, найбільш перспективним можна вважати комплексне вирішення проблеми управління електроспоживанням за допомогою взємозв'язаного управління СР, режимами напруги, генерації реактивної і активної потужності СЕ. Реалізація такого підходу і створення відповідної системи управління потребує вирішення ряду задач, окремі з яких носять концептуальний характер. Нижче обговорюються ці задачі і шляхи їх вирішення.

Оптимізація режимів електроспоживання потребує вирішення наступних задач.

Розрахунок оптимальних режимів СЕП необхідно проводити з використанням моделей джерел електроенергії та споживачів електричної енергії, які враховують як техніко-економічні та технологічні показники, так і режимні параметри. Наявність в СЕП промислового підприємства власних джерел активної та реактивної потужності обумовлює розробку алгоритму, що дозволяє отримати оптимальний розподіл активних і реактивних потужностей між агрегатами власних електростанцій за критеріями мінімуму витрат на вироблення електроенергії і мінімуму вартості втрат активної потужності, а також дозволяє визначити оптимальне значення потужності, споживаної підприємством з мереж енер-

госистеми. Оптимізацію режиму СЕП доцільно також проводити за величиною завантаження власних електростанцій по реактивній потужності і за положенням регулювальних відгалужень трансформаторів замкнених мереж.

Управління електроспоживанням та оптимізація режимів СЕП потребує визначення регулюючих ефектів групових навантажень, а також виявлення впливу статичних характеристик споживачів і конденсаторів на втрати потужності та напруги в пасивних елементах СЕП. Необхідно також визначити вплив ступеню компенсації реактивної потужності в цехових мережах і рівнів напруги у вузлах системи електропостачання на споживання потужності від джерела живлення. Зробити аналіз залежностей зазначених факторів від параметрів елементів електромереж та споживачів.

Перспективним є використання статистичних моделей і методів штучного інтелекту для прогнозування півгодинного (усередненого за 0,5 години) активного навантаження підприємств в умовах реалізації керуючих впливів з управління режимом електроспоживання, а також статистичних, евристичних і генетичних алгоритмів формування складу електроспоживаючого обладнання, що використовується для оперативного регулювання півгодинного активного навантаження підприємств. Доцільним є також проведення оптимізації споживання активної потужності від джерела живлення при взаємопов'язаному визначенні рівнів напруги в системах електропостачання промислових підприємств і потужності конденсаторів в цехових мережах.

Враховуючи нелінійну залежність активної та реактивної потужності від напруги для різних видів споживачів проведення оптимізаційних розрахунків необхідно проводити з використанням статичних характеристик навантаження центрів живлення.

Визначення статичних характеристик навантаження для центрів живлення (ЦЖ). Вирішення цієї задачі можливо двома шляхами:

- а) в результаті здійснення активних експериментів;
- б) на основі інтегрування статичних характеристик окремих електроприймачів (ЕП).

Орієнтація на другий шлях доцільна при обмеженому числі різнотипних ЕП, Проте в будь-якому випадку належить визначити статичні характеристики крупних СР, відключення або включення яких може помітно впливати на інтегральну статичну характеристику/

Оцінювання збитків від відключення навантаження СР і пониження напруги на шинах ЦЖ.

Цей етап є досить відповідальним і складним. З однієї сторони це пов'язано, з тим, що на їх основі визначається фактична ефективність обґрунтованість, об'єктивність оцінок отриманих, рішень. З іншої сторони, формування вказаних оцінок, зокрема, для СР надто важке, оскільки вони залежать від багатьох факторів.

В цьому питанні належить орієнтуватися на підходи, що пов'язані з можливістю широкого використання всіх допустимих джерел інформації (кількісні та якісні, прямі та непрямі оцінки), набір евристичних правил, широке використання досвіду, знань, інструкцій персоналу різних технічних служб промислових підприємств.

Задачу необхідно звести до математичного апарату який допускає оперування з формальними та неформальними процедурами, обробку різної по своїй природі інформації. Враховуючи сказане, зазначимо три підходи, які відбивають в значній мірі наведені міркування, як у відношенні формування оцінок по узагальненому показнику «збиток», так і по його окремих складових.

1. Формування детермінованих оцінок на основі використання енергетичних показників процедури.
2. Формування нечітких оцінок на основі використання поняття лінгвістичної змінної величини.
3. Формування оцінок збитків на основі використання елементу експертних систем і, зокрема, логічно-лінгвістичного підходу.

Моделі і методи оптимізації

Режим роботи системи електропостачання характеризується рядом параметрів, які у процесі управління режимом піддаються регулюванню. До їх числа відносяться активні і реактивні потужності генераторів електростанцій, навантаження цехів, струми і перетоки потужності по елементах електричної мережі, напруги в її вузлах. При аналізі режимів електричної мережі в кожен момент часу будемо вважати заданими активні і реактивні навантаження, технічні дані обладнання станцій, підстанцій та мережі, які утворюють вектор вихідної інформації. Змінні параметри режиму поділяються на незалежні і залежні. Незалежні параметри визначають весь режим системи електропостачання і носять назву параметрів управління. Залежні параметри можна визначити тільки тоді, коли задані незалежні. Вибір параметрів управління багато в чому визначає методіку розрахунку і оптимізації режиму, оскільки при певному їх наборі можливе неоднозначне рішення. Витрати, не пов'язані з капіталовкладеннями, можна спрощено уявити у вигляді двох складових: постійної та змінної. Постійною складовою при оптимізації режимів можна знехтувати, оскільки вона мало залежить від режиму системи електропостачання і не піддається регулюванню. Ця складова включає такі компоненти, як заробітна плата екс-

платуаційного персоналу, витрати на утримання будівель і споруд, витрати на ремонт обладнання, витрати на утримання резерву в схемі електростанцій. Змінна складова характеризує витрати на виробництво і передачу електроенергії. В якості енергоносіїв виступають вторинні енергоресурси підприємства та енергоресурси, що придбані підприємством (природний газ, вугілля, мазут та ін). Крім вартості палива, до цієї складової витрат входять вартість електроенергії, купованої у енергосистеми, і вартість втрат в системі електропостачання. В умовах експлуатації при оперативному управлінні режимом системи електропостачання основним критерієм оптимальності є мінімум саме змінної складової, що враховує витрати на виробництво, перетворення і розподіл електроенергії. В математичній формі цей критерій може бути представлений у вигляді мінімізації функціоналу витрат:

$$I(t) = \int_0^T [\vec{Y}(t), \vec{X}(t), \vec{X}] dt \rightarrow \min \quad (3)$$

де \vec{X} - вектор незмінної вихідної інформації; $\vec{X}(t)$ - вектор вихідної інформації, що змінюється з плином часу; $\vec{Y}(t)$ - вектор параметрів управління. Якщо вважати схему електричної мережі незмінною, тоді до складу вектора \vec{X} необхідно включити дані обладнання мережі, що визначають параметри схеми заміщення; техніко-економічні характеристики джерел активної та реактивної потужності; напруги на межі розділу з енергосистемою. До вектору $\vec{X}(t)$ входять дані про електричні навантаження підприємства, які змінюються з плином часу у відповідності з ходом технологічного процесу. Вектор управління $\vec{Y}(t)$ повинен містити параметри оптимізації завантаження джерел активної та реактивної потужності, перетоки потужності у вузлах зв'язку з енергосистемою. Задачу оптимізації за миттєвим значенням замінимо оптимізацією параметрів управління на заданому інтервалі часу, що дорівнює інтервалу осереднення графіків електричних навантажень A_t . Тоді багатокритеріальний функціонал буде виглядати наступним чином:

$$I(t) = \sum_{i=1}^T g(\vec{Y}_t, \vec{X}_t, \vec{X}), \quad t = \overline{1, T} \quad (4)$$

Оскільки навантаження окремих вузлів системи електропостачання носять імовірнісний характер, тому вектор \vec{X} , є вектором випадкових величин. Щоб перейти до детермінованої постановки задачі, замінимо вектор \vec{X} , вектором математичних очікувань $M(\vec{X})$. Тепер вихідна задача зводиться до рішення n детермінованих задач мінімізації функціоналу витрат, де n - число інтервалів графіка навантаження. Для визначення оптимального завантаження турбогенераторів число інтервалів має бути по можливості меншим.

Основними параметрами, за допомогою яких оцінюється економічність роботи системи електропостачання, що містить власні електричні станції, слід вважати такі величини: 1) витрата умовного палива на вироблення одиниці електроенергії, відпущеної з шин електростанцій; 2) втрати електроенергії в електричній мережі.

Ці показники значною мірою залежать від розподілу навантаження між електростанціями системи електропостачання або між агрегатами електростанції. Завантажуючи найбільш економічні, але віддалені від центрів споживання електростанції, можна зменшити питому витрату умовного палива, але збільшити втрати електроенергії в мережі. Завдання підвищення економічності роботи системи електростанцій електропостачання полягає в забезпеченні мінімуму сумарної витрати умовного палива при заданій в кожен момент навантаження споживачів, а, отже, заданому корисному відпуску електричної енергії.

Тому очевидно, що найбільш економічний режим, що забезпечує мінімальну собівартість корисно відпущеної кіловат-години. В цілому економічність роботи системи електропостачання, що включає власні електростанції, в першу чергу визначається економічністю обладнання станцій і значно меншою мірою - втратами в мережах і витратою енергії на власні потреби. Оптимальний з точки зору мінімуму експлуатаційних витрат режим системи електропостачання також у першу чергу визначається розподілом активних потужностей між електростанціями та агрегатами всередині однієї електростанції. Завдання розрахунку оптимального режиму полягає в знаходженні оптимальних значення всіх параметрів, що характеризують його допустимість і економічність, зокрема, активних і реактивних потужностей, напруг, теплових навантажень агрегатів, складу працюючого устаткування і т. д. Іншими словами, необхідна комплексна оптимізація режиму по всім перемінним. Разом з тим, спроба вирішити цю задачу одночасно шляхом застосування єдиного алгоритму призводить до великих труднощів, пов'язаних з великою розмірністю задачі і необхідним для її рішення об'ємом вихідної інформації. Як оптимізаційну функцію витрат будемо розглядати вартість використаного палива або витрата пари на вироблення електроенергії. Якщо промислове підприємство має в своєму складі декілька електростанцій, що відрізняються за економічними показниками, тоді оптимізацію необхідно вести за вартістю годинної витрати свіжої пари. Економічним критерієм оптимальності є мінімум витрат на паливо,

оплату електроенергії з системи, генерацію реактивної потужності, втрати активної та реактивної потужності в електричних мережах. При виявленні порівняльної ефективності використання власної і покупної електроенергії необхідно вирішити задачу оптимального розподілу активної потужності між генераторами при різних значеннях вхідної активної потужності на межі розділу з енергосистемою. Обмеження за вхідної активної потужності визначаються балансом потужності навантаження, електростанцій і зв'язку з енергосистемою. Верхнє обмеження відповідає роботі агрегатів електростанцій з мінімально можливою навантаженням. Нижнє обмеження відповідає повністю навантаженим агрегатам. З розгляду слід виключити видачу активної потужності в мережі енергосистеми як свідомо неекономічний режим. У детермінованій постановці задачу оптимізації можна сформулювати наступним чином: знайти мінімум функціоналу

$$\min \sum_{i=1}^n 3(P_i, Q_i, K_i) \tag{5}$$

при

$$\begin{cases} P_{1\min} \leq P_1 \leq P_{1\max} \\ Q_{1\min} \leq Q_1 \leq Q_{1\max} \\ K_{1\min} \leq K_1 \leq K_{1\max} \\ (\sum P_1 - \sum p_i) = P_{bx} \\ (\sum Q_1 - \sum q_i) = Q_{bx} \\ P_{bx\min} \leq P_{bx} \leq P_{bx\max} \\ Q_{bx\min} \leq Q_{bx} \leq Q_{bx\max} \end{cases} \tag{6}$$

де P_j, Q_i - активна і реактивна потужність генеруючих джерел, K_i - коефіцієнти трансформації силових трансформаторів, $P_{bx} \gg Q_{bx}$ - вхідні активні і реактивні потужності зв'язку з енергосистемою, P_b, Q_b - активна і реактивна потужність навантаження. Перераховані обмеження часто називають вузловими, оскільки вони відносяться до параметрів вузлів схеми електропостачання. Поряд з ними в деяких випадках необхідно враховувати лінійні обмеження на струми і потоки потужності ліній електропередачі або трансформаторів з умов нагрівання:

$$\begin{cases} U_{i,\min} \leq U_i \leq U_{i,\max} \\ I_{i,\min} \leq I_i \leq I_{i,\max} \\ S_{i,\min} \leq S_i \leq S_{i,\max} \end{cases} \tag{7}$$

Для усунення неспівмірності розмірів витрат доцільно зробити декомпозицію змістовної постановки на три завдання, що виконуються послідовно $(\sum 3(P_i), \sum 3(Q_i), \sum 3(K_i))$ з подальшою до оптимізацією комплексного вирішення.

Враховуючи різноманітний характер витратних характеристик генераторів, бажано застосовувати алгоритм, що дозволяє використовувати функції витрат будь-якого виду, які можуть мати нелінійності, розриви, точки перегину і інші властивості, а також можуть бути задані табличними числовими значеннями. У цьому випадку знаходження оптимального виду функції витрат може бути здійснено методом повного перебору, що для двох джерел не представляє складності з часу рішення задачі. В задачі потрібно відшукати умовний мінімум функціоналу витрат, додатковою умовою виступає величина активної потужності, прийнятої з енергосистеми, і фактична потужність електростанцій підприємства. Обмеження, представлені нерівностями, відображають технічні межі генерації турбогенераторів. Більшість конденсаційних турбогенераторів можуть працювати на холостому ходу, тому максимальна потужність зазвичай приймається рівною номінальній. Збільшення максимальної потужності є можливим лише за рахунок відключення регенеративних відборів. Мінімальні і максимальні потужності турбін з регульованими відборами пара істотно залежать від відборів, причому вони однозначно визначаються обмеженнями, накладеними на режим окремих відсіків. Більшість вітчизняних турбін з регульованими відборами допускають підвищення потужності до 15% понад номінальну [6]. Однак робота з підвищеною потужністю вимагає зниження реактивної потужності генератора. Граничні навантаження турбін залежать також від параметрів свіжої пари, тисків у камерах відборів, температури охолоджувальної води та ін. Допустимі межі зміни реактивної потужності генеруючих джерел будь-якого вигляду є функціональними, тобто залежать від режиму. Для синхронного генератора $Q_{i,\max}$ є функцією двох незалежних параметрів: активної потужності P_j і напруги U_j і при постійній напрузі має вигляд, представлений на рис 3.1,а. Залежність $Q_{j,\max}$ від активної потужності і напруги зазвичай представля-

ється графічно ([7]) у формі сімейства кривих (рис. 3.1,6). Для розрахунків зазвичай вона апроксимується поліномами.

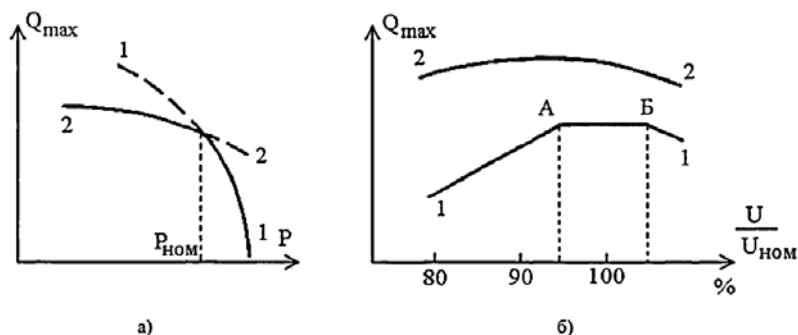


Рис. 3. Наявна реактивна потужність генератора
 А) – при номінальній напрузі; 1- по статору, 2 – по ротору;
 Б) – при постійній активній потужності: 1- ; 2- $P = P_{ном}$; 2- $P < P_{ном}$;
 А і Б – точки перелому характеристики

Вирішення задачі досягається на основі відповідних алгоритмів мінімізації, приведених в [5].

Технічні засоби обліку, контролю та управління електроспоживанням.

Розроблено принципи побудови, структурні та функціональні схеми побудови технічних засобів на базі мікропроцесорних засобів обчислювальної техніки. Здійснено їх класифікацію за функціональними та топологічними особливостями систем енергопостачання промислових підприємств, що полягає в оцінці потужності підприємств, потенційних можливостей споживачів-регуляторів для участі їх в управлінні навантаженням, структурі систем електропостачання (розгалужені, прості) [2,3].

Розроблено концепцію, принципи побудови систем централізованого управління електроспоживанням та сформульована двоетапна оптимізація управління режимами електроспоживання: на рівні енергетичної системи здійснюється оптимізація розподілу потужності та визначення завдань (уставок) для промислових підприємств на підставі певної системи критеріїв, на рівні споживачів енергії здійснюється оптимізація під час вибору CP_n і CP_v у реальному часі.

Висновки

1. Представлення основні заходи необхідні у напрямку управління енерговикористанням, що дозволять підвищити ефективність використання електричної енергії.
2. Для ефективного управління використанням електричної енергії необхідно запровадження прогресивної системи тарифів на електричну енергію, впровадження дієвої нормативно-правової бази управління використанням електричної енергії, створення моделей, методів, програмного та інформаційного забезпечення управління електричним навантаженням споживачів, їх електроспоживанням та режимами систем електропостачання з метою їх оптимізації; розробка автоматизованої системи управління електроспоживанням та оптимізації режимів систем електропостачання промислових підприємств і створення сучасних технічних засобів обліку та управління електроспоживанням.

Список використаних джерел

1. Праховник А.В. Методы и средства управления электропотреблением / А.В. Праховник - Брошюра общ-ва «Знание» УССР, - К. - 1981, - 25 с.
2. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением/ А.В. Праховник– Вища школа, Киев,-1986,- 76 с.
3. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий/ Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. - М., - Недра, - 1985, - 232 с.
4. Черемісін М.М. Автоматизация обліку та управління електроспоживання/ М.М. Черемісін – Харків. – Факт – 2005. - 320 с
5. Резчиков А.Ф. Управление электропотреблением промышленных предприятий./ А.Ф. Резчиков, В.А. Иващенко – Саратов : Издательский Центр «Наука», 2008. 183 с.
6. Бененсон Е.И. Теплофикационные паровые турбины/ Е.И.Бененсон, Л.С. Иоффе - М. : Энергоатомиздат, 1986. - 272 с.
7. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях/ Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч - М. : Энергоиздат, 1981. - 216 с.
8. Иващенко В.А. Автоматизированное управление электропотреблением промышленных предприятий: концепция и основные задачи/ В.А. Иващенко, А.Ф. Резчиков // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2006. №3. С. 52-56