

АНАЛІЗ ВЕКТОРІВ ОПТИМІЗАЦІЇ СУБ'ОБ'ЄКТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ КОМПРЕСОРНОЮ СТАНЦІЄЮ З МІНІМАЛЬНИМИ ВИТРАТАМИ

Вступ. Проблема ефективного використання всіх видів енергоресурсів в останні роки постала перед економікою України як найбільш важлива і гостра при розробленні планів розвитку держави на найближчі роки. За даними Міжнародного енергетичного агентства (Key World Energy Statistics, IEA, 2006) [1] питомі витрати енергетичних ресурсів на одиницю валового внутрішнього продукту в нашій країні перевищують у 2,6 рази такі показники в розвинутих країнах світу. Це не дає змоги в повній мірі використати багатий природний й промисловий потенціал України для щільної конкуренції на світових ринках і значного покращення внутрішнього соціального клімату.

Гірничо-металургійний комплекс (ГМК) завжди був одним із основних споживачів усіх видів енергоносіїв: газу, електроенергії, вугілля і нафти. Вражаючі темпи розвитку металургійних виробництв Китаю та Індії в останні роки змушують вже сьогодні значно зменшити собівартість продукції ГМК для підвищення конкурентноспроможності металу українського виробництва на ринках світу.

Постановка завдань для дослідження. На виробництво металопродукції в Україні витрачається більш, ніж 50% електроенергії, котра споживається промисловістю в цілому [2]. При такому положенні лише використання новітніх технологій із запровадженням автоматичних систем управління (АСУ) як ділянками, так і всім виробництвом в цілому дозволить економити значний відсоток електрики [3]. При цьому економія саме на перших (нижніх) рівнях автоматизації найбільш ефективна через можливість безпосередньо впливати на виробничий процес і наявність первинних даних про нього.

На різних ділянках виробництва в ГМК потрібна енергія стислого повітря. За різними даними рівень споживання електроенергії компресорними станціями (КС) коливається від 3 [4] до 10 [5] відсотків від загального виробництва в країні. Такий стан справ вимагає більш детального аналізу режимів роботи компресорів і особливо їх груп, коли потужність одного агрегата досягає 10 мегават, а кількість – 10 штук (такі КС використовуються на кислородних виробництвах меткомбінатів та на шахтах), з метою виявлення резервів щодо зменшення як рівня споживання електроенергії, так і втрат. Основним завданням, котре стоїть перед АСУ КС, є постійне забезпечення якості і кількості виробленого стислого повітря. З іншого боку, потрібно

максимально ефективно управляти електричною частиною, котра складається з синхронного двигуна (СД) із збуджувачем. Впровадження регульованого електропривода з вказаною потужністю має великий проміжок часу на окупність, що в умовах приватної власності не прийнятно. Тому завдання управління зводиться до підтримання вказаних технологічних параметрів із максимально ефективним регулюванням збудження СД.

Матеріали досліджень. Структурна схема пневмопостачання КС в загальному вигляді зображена на рис. 1: 1 – споживачі, 2 – органи регулювання, 3 – вузли трубопроводів, 4 –

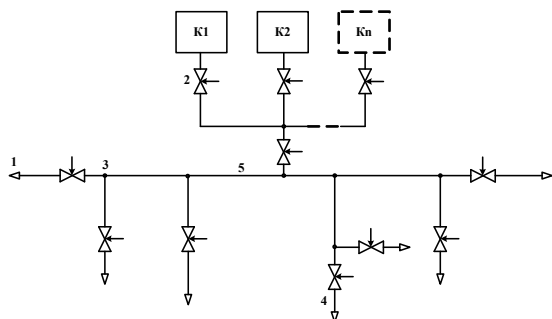


Рис. 1. Структурна схема пневмопостачання КС

дільничні магістралі, 5 – головна магістраль. Основним завданням при роботі КС є доставка споживачам потрібної кількості стислого повітря [6]

$$F_{\text{ен}} = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^n f_{ij}, \quad (1)$$

де $F_{\text{ен}}$ – продуктивність КС, f_{ij} – витрата стислого повітря i -м споживачем на j -й ділянці, n – кількість споживачів на ділянці, s – кількість ділянок.

Це повітря надходить в магістральний трубопровід під тиском $p_{\text{ен}} = f(F_{\text{ен}})$, і при урахуванні втрат Δp_j тиск на j -й ділянці визначається за виразом

$$p_j = p_{\text{ен}} - \Delta p_j. \quad (2)$$

Він залежить як від параметрів роботи компресора (щільність повітря на всмоктуванні, положення направляючого апарату, відкриття заслінок в атмосферу), так і від параметрів магістралі і споживачів (їх кількість, потрібна кількість повітря і ін.). Саме від підтримання на заданому рівні тиску повітря, котре підводиться до споживача, залежить ефективність його роботи.

В ГМК основні процеси мають циклічний характер, мережа розподілена, і характер змін потрібної продуктивності КС носить випадковий характер. Тому при визначенні характеру загальної продуктивності групи компресорів користуються реальними добовими графіками споживання стислого повітря (рис. 2). Їх вивчення дає змогу визначити абсолютний час мінімуму і максимуму, а також співвідношення між ними, що дасть змогу прогнозувати можливі коливання споживання в часі і за рівнем.

Для забезпечення роботи пневмопостачання в оптимальному режимі потрібно створення системи АСУ, котра б з урахуванням потреб споживачів регулювала продуктивність (тиск) стислого повітря на виході з раціональним завантаженням кожного компресора. Існує декілька способів досягнення такої мети. Перший: послідовне регулювання положення заслінок [7] – обрано головний компресор, з якого починається регулювання. Одночасна зміна положення двох чи більше компресорів заборонена. На думку авторів способу, така послідовність значно підвищує стійкість системи. Другий: всі компресори працюють на повну потужність,

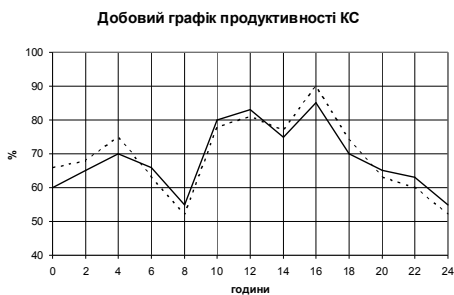


Рис. 2. Графік залежності продуктивності КС від години доби і в різні пори року

окрім одного, за допомогою регулятора тиску котрого й досягають потрібних значень [8]. При неможливості далі знижувати продуктивність цього компресора його вимикають. Третій: для не дуже потужних КС регулювання здійснює шляхом ввімкнення/вимкнення компресорів [9], при цьому діють уставки реле часу на можливість повернення тиску до потрібного діапазону (десятки секунд).

Основним показником при роботі СД є його стійкість. При експлуатації можливі будь-які режими роботи системи збудження, причому і в зоні, котра близька до нестійкої роботи. Це може призвести до зупинки компресора через вихід СД із синхронного режиму. Таке стає можливим через недостатню обізнаність обслуговуючого персоналу про можливий мінімум струму збудження СД. При побудові

АСУ КС потрібно автоматично контролювати межу зменшення збудження СД.

Визначення кута навантаження СД δ можливо при наявності даних про рівень напруги статорних ланцюгів (U), рівень споживаної активної потужності (P), коефіцієнт потужності ($\cos\phi$) і параметри машини (x_d) [10]:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{P}{\sqrt{3}U \left(\frac{U}{x_d} \pm \frac{P}{\sqrt{3}U} \sin\phi \right)} \quad (3)$$

Для нормального режиму роботи СД потрібно, щоб кут навантаження не перевищував критичного значення (для двигунів СДС3-4500-1500 це 73° , для СТД-4000 СТД-12000 – 87°).

До потужних СД завжди відносилися, як до можливого джерела реактивної потужності [11]. Його здатність плавно збільшувати рівень згенерованої реактивної потужності на статорних затискачах в залежності від значення струму збудження дає можливість досить точно компенсувати потрібне індуктивне навантаження в даному вузлі мережі.

При використанні СД як компенсатора реактивної потужності дуже гостро постає питання генерування в мережу енергопостачальної організації. Згідно з [12] платня за це втричі більша, ніж за споживання. Одночасно плата за спожиту реактивну потужність зростає на величину надбавки за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації згідно з формулою

$$\Pi_2 = \Pi_1 \cdot \tilde{N}_{\text{ааф}} \cdot (\hat{E}_\delta - 1), \quad (4)$$

де Π_1 – сумарна основна платня, $C_{\text{оаз}}=1$, K_ϕ – коефіцієнт, наведений в [12]. Залежність K_ϕ від $\operatorname{tg}\phi$ має вигляд, наведений на рис. 3. Аналіз цієї кривої дає змогу зробити висновок про нелінійне зростання плати при збільшенні індуктивного характеру навантаження енергоспоживача. Тому робота вузла мережі з індуктивним і ємкісним навантаженнями на різних шинах повинна корегуватися згідно з положенням про заборону генерування реактивної потужності в мережу енергопостачальної організації і з її мінімальним споживанням.

Робота системи автоматичного регулювання збудження (АРЗ) синхронного електропривода може відбуватися з різними критеріями оптимальності. В [13] запропоновано змінювати струм збудження таким чином, щоб отримати максимамльний к.к.д. двигуна за рахунок мінімізації втрат енергії в міді і сталі статора і обмотці ротора.

В [14] наведено критерій мінімуму втрат в синхронному електроприводі й в мережі з урахуванням сплати за споживану електроенергію за зоновим тарифом. Втрати визначаються за формулою:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_{1i}}{Q_{ii} \hat{i}_i} Q_i + \frac{D_{2i}}{Q_{ii}^2 \hat{i}_i} Q_i^2 \right) + \frac{R_\epsilon \cdot 10^3}{U^2} \left(Q_i - \sum_{i=1}^N Q_i \right), \quad (5)$$

де D_{1i}, D_{2i} – коефіцієнти питомих втрат активної потужності в СД, $Q_i, Q_{i\hat{i}}$ – поточне і номінальне значення реактивної потужності, R_ξ – опір лінії, Q_i – сумарна реактивна потужність споживачів у вузлі навантаження, U – напруга в лінії, N – число двигунів у вузлі навантаження.

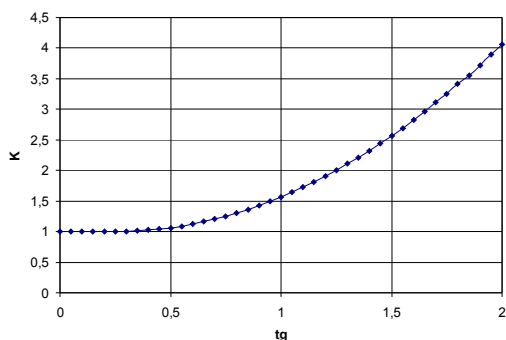


Рис. 3. Крива залежності коефіцієнта збільшення платні за спожиту реактивну енергію від характеру навантаження

потужності має значний термін окупності, що не влаштовує власника підприємства. Тому основними напрямками енергозбереження групи компресорів є використання АСУ, котра повинна знизити енерговитрати при одночасному покращенні кількісних і якісних показників кінцевого продукту за рахунок наступних факторів: щільного дотримання потрібної продуктивності КС за вимогами споживачів; використання тільки стійкого режиму роботи синхронного електропривода для зменшення аварійних зупинок компресорів від виходу з синхронізму; підтримання збудження на такому рівні, при якому витрати електроенергії будуть мінімальними або з потрібною напругою на шинах живлячої мережі (останній фактор вибирається за місцевими умовами).

Література

1. Концепція державної програми із забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів на період 2010-2015 роки (проект) // Энергосбережение. – 2007. – №3 (90). – С. 2-6.
2. Мазур В., Голубченко А. Морфология и генезис горно-металлургического комплекса Украины // Зеркало недели. – 24 марта 2007. – №11. – С. 10.
3. Автоматизация основных металлургических процессов / Ю.В. Липухин, Ю.И. Булатов, Г. Бок, М. Кнорр. – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.
4. Электрические машины: Асинхронные машины: Учеб. для электромех. спец. вузов. / Радин В.И., Брускин Д.Э., Зохорович А.Е. / Под ред. И.П. Копылова. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
5. Евко Л.С. Оценка совершенства конструкции компрессора // Промышленная энергетика. – 1980. – № 8. – С. 32-34.
6. Мелькумов Л.Г., Найман А.Е., Травкин Е.К. Автоматизация пневматического хозяйства шахт и рудников. – М.: Недра, 1977. – 271 с.
7. Старосельский Н.В., Рутштейн А.Л., Ратнер Ф.А., Гордон И.З. Автоматическое регулирование давления в нагнетательном коллекторе турбокомпрессорной станции // Промышленная энергетика. – 1971. – №11. – С. 26-30.
8. Назаренко У.П. Экономия электроэнергии в компрессорных установках. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 75 с.
9. Петросов И.М. Из опыта автоматического регулирования давления сжатого воздуха // Промышленная энергетика. – 1960. – №1. – С. 32-33.
10. Матеенко Ю.П., Слизский Э.П., Бруев И.В. Определение зоны устойчивой работы синхронных двигателей газоперекачивающих компрессорных станций при регулировании тока возбуждения // Промышленная энергетика. – 1990. – №4. – С. 26-27.
11. Литвак Л.В. Вопросы повышения cosφ промышленных предприятий. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 105 с.
12. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією і споживачами. К.: 2002. – 18 с.
13. Орел О.А. Оптимизация режимов работы синхронного двигателя по критерию минимума электромагнитных потерь // Электричество. – 1988. – №3. – С. 75-76.
14. Вершинин П.П., Бугаенко А.В., Цыганок А.Г. Повышение эффективности использования синхронных двигателей для компенсации реактивных нагрузок // Промышленная энергетика. – 1989. – №8. – С. 44-46.
15. Леоненко С.С., Дмитриев Е.А. Регулятор коэффициента мощности для синхронных двигателей компрессоров // Промышленная энергетика. – 1991. – №11. – С. 50-51.
16. Бесараб О.М, Біляев В.Л. Керування збудженням синхронних двигунів з метою зниження плати за перетоки реактивної потужності та сплати за них // Энергосбережение. – 2006. – №3 (78). – С. 29-30.

Принцип регулятора по рівності $\cos\phi=1$ СД компресорів наведено в [15]. Запропоновано аналоговий регулятор на операційних підсилювачах, котрий оброблює сигнали з трансформатора струму і напруги й формує керуючий вплив на збуджувач.

Підтриманню $\cos\phi=1$ у вузлі навантаження присвячено роботу [16]. Запропоновано пристрій мікроконтролерного управління на базі ПЛК Місго від Modicon, котрий оброблює інформацію від групи синхронних електроприводів нафтоперекачувальної станції і розподіляє збудження СД з урахуванням поставленого завдання.

Висновки. Використання регульованого електропривода компресорів великої