

УДК: 621.3.078.4: 621.512

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТА РОЗПОДІЛУ СТИСЛОГО ПОВІТРЯ****О. В. Бобров, С. І. Випанасенко**Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»
просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна. E-mail: alekseybob@ua.fm

Визначено причини низької енергетичної ефективності електромеханічної системи виробництва й розподілу стислого повітря. Розглянуто режими роботи окремих елементів системи, їх взаємозв'язок і взаємовплив. Проведено аналіз втрат енергії в елементах електромеханічної системи з метою вдосконалення способу управління електроприводом компресора шляхом уведення нових технічних рішень. Установлено аналітичні залежності, що пов'язують рівні втрат енергії в окремих ланках системи з параметрами режиму при двопозиційному регулюванні продуктивності компресора. Розроблено математичну модель для розрахунку коефіцієнта корисної дії електромеханічної системи, сформульовано та вирішено задачу оптимізації параметрів режиму при двопозиційному управлінні електроприводом компресора. Запропонована модель відрізняється від існуючих можливістю врахування режиму роботи всіх елементів електромеханічної системи для визначення її енергетичного показника – коефіцієнта корисної дії. Викладено результати параметричної оптимізації режиму роботи електромеханічної системи виробництва та розподілу стислого повітря. Запропоновано спосіб управління асинхронним електроприводом поршневого повітря, що реалізує оптимальне значення параметрів режиму.

Ключові слова: електропривод, регулювання, компресор, електромеханічна система.**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
СЖАТОГО ВОЗДУХА****А. В. Бобров, С. И. Выпанасенко**Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина. E-mail: alekseybob@ua.fm

Определены причины низкой энергетической эффективности электромеханической системы производства и распределения сжатого воздуха. Рассмотрены режимы работы отдельных элементов системы, их взаимосвязь и взаимовлияние. Проведен анализ потерь энергии в элементах электромеханической системы с целью усовершенствования способа управления электроприводом компрессора путем введения новых технических решений. Установлены аналитические зависимости, которые связывают уровни потерь энергии в отдельных звеньях системы с параметрами режима при двухпозиционном регулировании производительности компрессора. Разработана математическая модель для расчета коэффициента полезного действия электромеханической системы, сформулирована и решена задача оптимизации параметров режима при двухпозиционном управлении электроприводом компрессора. Предложенная модель отличается от существующих возможностью учета режима работы всех элементов электромеханической системы для определения ее энергетического показателя – коэффициента полезного действия. Изложены результаты параметрической оптимизации режима работы электромеханической системы производства и распределения сжатого воздуха. Предложен способ управления асинхронным электроприводом поршневого воздуха, что реализует оптимальное значение параметров режима.

Ключевые слова: электропривод, регулирование, компрессор, электромеханическая система.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Забезпечення споживачів стислим повітрям належить до енергоємних процесів. Коефіцієнт корисної дії (ККД) компресорних установок систем розподілу стислого повітря залишається достатньо низьким, що визначає високу вартість виробництва стислого повітря.

Особливе місце займають системи забезпечення стислим повітрям, побудовані на базі компресорних установок поршневого типу. Це, як правило, широко поширені системи невеликої продуктивності, що містять одну компресорну установку й мало розгалужену розподільну мережу. Регулювання

продуктивності компресора здійснюється шляхом управління його електроприводом. Ці установки, як і інші аналогічного призначення, також мають низьку енергоефективність, обумовлену істотними втратами енергії. Виникає необхідність зниження рівня втрат з урахуванням усіх стадій процесу. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що рішення, направлені на підвищення енергетичної ефективності процесу виробництва стислого повітря, стосуються, в основному, окремих ланок цієї системи (компресорної установки, системи розподілу стислого повітря). Ці результати не були уза-

гальнені й не розглядалися з погляду енергоефективності процесу в цілому. Дослідження системи виробництва стислого повітря, що складається із взаємозв'язаних елементів, режими роботи яких є взаємообумовленими (живляча мережа, компресор, пневмомережа), дозволяє підійти до аналізу електромеханічних процесів, які протікають системно, й запропонувати технічне рішення з управління електроприводом компресора, яке забезпечує підвищення енергоефективності процесу в цілому.

Метою даного дослідження є підвищення енергетичної ефективності електромеханічної системи виробництва й розподілу стислого повітря шляхом застосування нового способу управління електроприводом компресорної установки.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Розглянуто особливості режимів роботи окремих ланок електромеханічної системи. Проаналізовано способи регулювання параметрів режиму комплексу виробництва стислого повітря, а також втрати енергії в його елементах [1, 2].

Висока енергоємність процесу перетворення електричної енергії в енергію стислого повітря зумовлена низкою важливих факторів. Рівень втрат енергії в елементах системи перш за все зумовлений особливостями їх конструктивного виконання, а також режимами їх роботи. Слід зазначити, що конструктивні рішення існуючих компресорних установок, систем розподілу стислого повітря не забезпечують високих значень ККД системи й потребують удосконалення. Поряд із такими рішеннями слід удосконалювати існуючі режими роботи компресорних установок. Виходячи з того, що ці установки мають електричний привод, існує необхідність розробки способів управління електродвигунами з метою покращення енергоефективності процесів, які протікають у цих установках.

Наукові роботи, що стосуються визначення рівня втрат енергії в окремих ланках системи, проводились видатними вченими. Аналізуючи роботи, приходимо до висновку, що вони у своїй більшості стосуються визначення втрат енергії, пов'язаних зі зміною механічних параметрів. Режими роботи електричного привода або не аналізуються, або цей аналіз здійснюється у спрощеному вигляді з введенням низки суттєвих припущень. Інша особливість відомих у цій області робіт полягає в тому, що визначення енергоефективних режимів здійснюється без урахування режимних зв'язків окремих ланок достатньо складної системи (електричної мережі живлення, компресора, системи розподілу стислого повітря), тому оптимальні режими роботи, визначені для окремих ланок, не можуть уважатися оптимальними для системи в цілому. Існує необхідність оптимізації режимів роботи цієї системи з метою забезпечення максимальної енер-

гоефективності. Виходячи з того, що енергетична ефективність процесу значною мірою залежить від способу регулювання продуктивності компресора, розглянуті найбільш поширені (розповсюджені) способи регулювання, пов'язані із застосуванням як механічних пристроїв, так і різноманітних способів управління електроприводом. Розкриті переваги та недоліки цих способів.

У роботі розглядаються системи виробництва стислого повітря, побудовані на основі повітряних компресорів поршневого типу. Ці компресори широко використовуються в промисловості та сільському господарстві завдяки своїй здатності вирішувати значне коло існуючих завдань, простоті конструкції та високій надійності. Як правило, для них застосовують двопозиційне регулювання продуктивності компресора, що передбачає періодичне увімкнення електродвигуна компресора з метою підвищення тиску в ресивері. У процесі споживання стислого повітря тиск змінюється в межах між максимальним P_{max} та мінімальним P_{min} значеннями. Прийнятні межі тиску P_{min} та P_{max} визначаються, виходячи з технічних характеристик споживачів стислого повітря. Зрозуміло, що такий спосіб регулювання продуктивності компресора зумовлений необхідністю забезпечення експлуатаційних характеристик споживачів і не спрямований на підвищення енергоефективності процесу. Автори бачать можливість для вдосконалення такого способу управління електроприводом компресора шляхом уведення нових технічних рішень, спрямованих на зменшення втрат енергії [1, 2].

Виконано аналіз втрат енергії в елементах електромеханічної системи з метою:

- визначення переліку параметрів режиму, що мають істотний вплив на ККД системи в цілому;
- встановлення аналітичних залежностей, що зв'язують рівні втрат енергії в окремих ланках системи з визначеними параметрами режиму;
- кількісної оцінки втрат в окремих ланках системи, яка дозволить визначити найбільш енергоємні складові загальних втрат енергії.

Аналіз свідчить про те, що основними параметрами, які суттєво впливають на рівні втрат енергії у всіх ланках системи, є значення тиску в ресивері компресора P_2 та рівень споживання стислого повітря пневмоприймачами Q . Значення Q залежить від рівня навантаження пневмомережі й тому може розглядатися як параметр, що не підлягає регулюванню. Рівень P_2 може бути змінним у процесі управління електроприводом компресора й тому може вважатися регульованим параметром [3–6].

Установлено аналітичні залежності, що зв'язують рівні втрат енергії в окремих ланках системи з параметрами режиму при двопозиційному регулюванні продуктивності компресора. При ви-

- значенні залежностей уведені наступні допущення:
- напруга живлення асинхронного двигуна незмінна ($U = \text{const}$);
 - ККД асинхронного приводу компресорів у процесі роботи залишається практично незмінним;
 - вплив температур усмоктування повітря на споживану потужність вважається неістотним;
 - розрахунок параметрів режиму проводиться при температурі 20 °C ($T_1 = 20 \text{ °C}$).
- Визначено наступні складові втрат:
- втрати активної енергії в електричній мережі:

$$\Delta \mathcal{E}_{e.m.} = t_1 \sum_{i=0}^m 3r_0 l \times \left[\frac{2 \left(\frac{n}{n-1} \right) P_1 Q_{komp} \left(\left(\frac{P_{2^{i+1}}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{mex} \eta_{pol} \eta_{dv}}}{\sqrt{3} U \cos \phi} \right]^2, \quad (1)$$

де r_0 – питомий опір провідника Ом/км; l – довжина лінії, км; t_1 – тривалість накачування стислого повітря, год; P_1 – атмосферний тиск, Па; Q_{komp} – об'ємна продуктивність за умов усмоктування, м³/с; n – показник політропи для поршневих компресорів; η_{dv} – ККД двигуна; η_{pol} – індикаторний ККД полі-тропного процесу стиснення; η_{mex} – механічний ККД, що враховує втрати тертя кривошипно-шатунного механізму й поршня компресора; U – напруга мережі живлення; P_2 – тиск у пневмережі, Па; m – кількість ітерацій при збільшенні тиску;

- втрати енергії в асинхронному двигуні й компресорній установці:

$$\Delta \mathcal{E}_{a.d.k.} = t_1 \sum_{i=0}^m 2 \left(\frac{n}{n-1} \right) P_1 Q_{komp} \left(\left(\frac{P_{2^{i+1}}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right) \times \frac{1}{\eta_{mex} \eta_{pol} \eta_{dv}} - t_1 \sum_{i=0}^m P_{2^{i+1}} \left(B_0 + B_1 e^{\frac{-P_{2^{i+1}}}{B_2}} \right) \quad (2)$$

де B_0, B_1, B_2 – розрахункові коефіцієнти продуктивності компресора;

- втрати енергії в системі трубопроводів стислого повітря (за час накачування стислого повітря):

$$\Delta \mathcal{E}_{TN} = t_1 \sum_{i=0}^m P_{2^{i+1}} \left(C_0 + C_1 e^{\frac{-P_{2^{i+1}}}{C_2}} \right), \quad (3)$$

де C_0, C_1, C_2 – розрахункові коефіцієнти втрат стислого повітря в пневмережі;

- втрати енергії в системі трубопроводів стислого повітря (за час спуску стислого повітря):

$$\Delta \mathcal{E}_{TS} = t_2 \sum_{i=m}^k P_{2^{i+1}} \left(C_0 + C_1 e^{\frac{-P_{2^{i+1}}}{C_2}} \right), \quad (4)$$

де t_2 – тривалість спуску стислого повітря, год; k – загальна кількість ітерацій.

Проаналізуємо рівні втрат енергії в елементах системи (рис. 1).

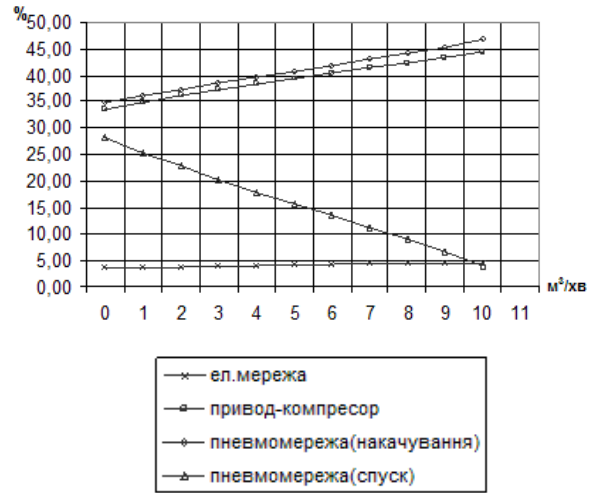


Рисунок 1 – Графік залежності відносних втрат енергії в елементах електромеханічної системи від рівню споживання стислого повітря Q

Аналіз рівня втрат енергії в елементах системи свідчить, що в умовах експлуатації електромеханічної системи з короткою електричною мережею найбільші значення втрат спостерігаються в пневмережі відносно загальних втрат у системі, %. Дещо менші втрати є в системі «привод-компресор», і незначні втрати існують в електричній мережі.

У процесі зміни рівня споживання стислого повітря Q існує можливість зміни верхньої межі тиску P_{max} у ресивері компресора в кожному циклі двопозиційного управління з метою зниження рівня втрат енергії в системі [7–9]. Для визначення оптимального рівня P_{max} сформовано та вирішено задачу параметричної оптимізації.

Розроблено математичну модель для розрахунку ККД електромеханічної системи, сформульовано та вирішено задачу оптимізації параметрів режиму при двопозиційному управлінні електроприводом компресора:

$$\eta = \frac{t_1 \sum_{i=0}^m 2 \left(\frac{n}{n-1}\right)^{P_{i,comp}} \left(\frac{P_{2,i}}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \frac{1}{\eta_{max} \eta_{pox} \eta_{dv}} - t_1 \sum_{i=0}^m 2 \left(\frac{n}{n-1}\right)^{P_{i,comp}} \left(\frac{P_{2,i}}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \frac{1}{\eta_{max} \eta_{pox} \eta_{dv}} - \sum_{i=0}^m P_{2,i} \left(B_0 + B_1 e^{-\frac{P_{2,i}}{B_2}} \right) - t_1 \sum_{i=0}^m P_{2,i} \left(C_0 + C_1 e^{-\frac{P_{2,i}}{C_2}} \right) - t_2 \sum_{i=m}^k P_{2,i} \left(C_0 + C_1 e^{-\frac{P_{2,i}}{C_2}} \right)}{t_1 \sum_{i=0}^m 2 \left(\frac{n}{n-1}\right)^{P_{i,comp}} \left(\frac{P_{2,i}}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \frac{1}{\eta_{max} \eta_{pox} \eta_{dv}} + t_1 \sum_{i=0}^m 3r_i \left(\frac{2 \left(\frac{n}{n-1}\right)^{P_{i,comp}} \left(\frac{P_{2,i}}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \frac{1}{\eta_{max} \eta_{pox} \eta_{dv}}}{\sqrt{3U \cos \phi}} \right)^2 + \frac{1}{t_{pusk}} 3r_i \int_0^{t_{max}} I_n^2(t) dt} \quad (5)$$

Для визначення оптимального значення верхньої межі тиску $P_{max\ opt}$ сформульована [2] й вирішена задача параметричної оптимізації. У роботі створено математичну модель, яка пов'язує значення ККД (η) електромеханічної системи з регульованим параметром P_{max} та рівнем споживання стислого повітря Q , що підлягає зміні в процесі експлуатації системи. Залежність η (P_{max} , Q) наведена нижче.

Максимальне значення тиску в ресивері:

$$P_{max} = P_{min} + \sum_{i=0}^m \Delta P_{2i}, \quad (6)$$

де ΔP_{2i} – приріст тиску в ресивері на i -ому кроці ітераційного процесу, Па.

$$m = \frac{t_1}{\Delta t}; \quad k = \frac{t_1 + t_2}{\Delta t}; \quad T_c = t_1 + t_2, \quad (7)$$

де Δt – крок ітерації, год; T_c – тривалість циклу управління, год.

$$Q = \frac{V}{RT} \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P_{2i}}{\Delta t}, \quad (8)$$

де T – температура повітря, К; R – газова постійна для повітря, Дж/(кг·К); ρ – густина повітря за нормальних умов, кг/м³; V – об'єм пневмоприймачів у мережі, м³.

Запропонована модель відрізняється від існуючих можливістю врахування режиму роботи всіх ланок електромеханічної системи для визначення її енергетичного показника – ККД. Визначено залежність зміни ККД електромеханічної системи від рівня тиску в пневматичній системі $P_{max\ opt}$ в інтервалі його зміни від P_{min} до $P_{max\ dop}$ при різних значеннях рівня споживання стислого повітря Q (від 1–11 м³/хв.) (рис. 2) [2, 10].

Рис. 2 показує, що при значеннях верхньої межі тиску $P_{max\ opt}$, близьких до P_{min} , ККД електромеханічної системи низький через вплив втрат енергії при пуску $\Delta \mathcal{E}_{pusk}$ (P_2). Надалі, із зростанням значення $P_{max\ opt}$ ККД збільшується; це пов'язано із зменшенням втрат енергії в пневматичній мережі $\Delta \mathcal{E}_{m.c.}$ (P_2) у режимі зменшення тиску P_2 . Так продовжується до того часу, поки ККД не досягне максимуму свого значення. Потім ККД знижується

внаслідок збільшення втрат енергії в пневматичній мережі в режимі накачування стислого повітря $\Delta \mathcal{E}_{m.n.}$ (P_2) і в таких елементах, як «привод-компресор».

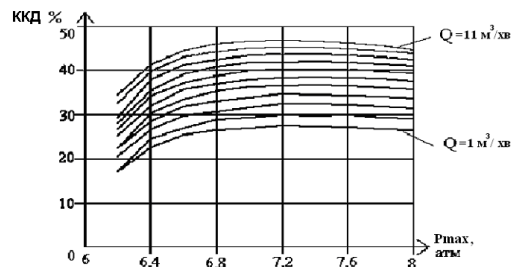


Рисунок 2 – Залежність ККД електромеханічної системи від рівня тиску в пневматичній системі за різної витрати стислого повітря

З побудованої залежності η (P_{max} , Q) видно, що вона має екстремум, а це є передумовою для управління електроприводом компресора, яке забезпечить максимальне значення ККД у кожному циклі двопозиційного управління шляхом регулювання значення верхньої межі тиску $P_{max\ opt}$.

Обґрунтовано критерій оптимізації. Запропоновано як цільову функцію використати аналітичну залежність ККД системи виробництва стислого повітря від верхньої межі тиску в ресивері (P_{max}) у кожному циклі двопозиційного управління приводом компресора. Необхідно забезпечити максимальне значення ККД:

$$\eta(P_{max}) \rightarrow \max. \quad (9)$$

Оптимізаційна задача вирішується за наявності обмежень. Обмеженнями є граничні межі тиску в ресивері:

$$P_{min} < P_{max\ opt} \leq P_{max\ dop}. \quad (10)$$

Обмежена кількість пусків приводного асинхронного двигуна в годину:

$$M \leq M_{dop}. \quad (11)$$

Пошук екстремуму цільової функції при вирішенні задачі оптимізації здійснюється методом сканування. Отримано оптимальні значення максимального верхнього рівня тиску в пневмомережі,

що відповідає максимуму цільової функції (ККД) системи за різними фіксованими витратами стислого повітря пневмоприймачами й урахуванням встановлених обмежень [2].

Нижче наведено залежності оптимальних значень тиску $P_{max\ opt}$ від витрат повітря Q ; значень ККД, що відповідають $P_{max\ opt}$ (рис. 3, 4).

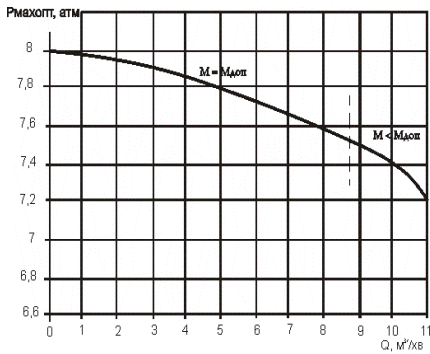


Рисунок 3 – Залежність оптимального верхнього рівня тиску $P_{max\ opt}$ від витрат стислого повітря

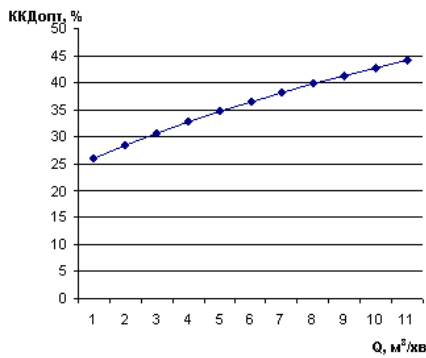


Рисунок 4 – Залежність ККД системи від витрат стислого повітря Q при оптимальних значеннях $P_{max\ opt}$

Залежність, зображена на рис. 4, показує, що при значеннях тиску $P_{max\ opt}$ зі збільшенням витрат стислого повітря Q ККД системи збільшується. Проте із залежності на рис. 3 видно, що обмеження за кількістю пусків асинхронного приводу повітряного поршневого компресора є активним при витратах стислого повітря від 0 до 9 м³/хв, унаслідок чого можна зробити висновок про те, що ефективність системи управління досягається при великих витратах стислого повітря Q .

Розрахунок значень ККД при оптимальних параметрах режиму свідчить про те, що зростання витрат стислого повітря супроводжується підвищенням ККД системи.

Рішення оптимізаційної задачі дозволяє розробити ефективний спосіб управління електроприводом компресора [2].

Запропоновано новий спосіб двопозиційного

управління електроприводом компресора.

Суть запропонованого способу управління полягає в тому, що в кожному циклі двопозиційного управління компресором визначають рівень витрат стислого повітря Q і залежно від його значення встановлюють оптимальне значення верхньої межі тиску в ресивері ($P_{max\ opt}$), яке забезпечує максимальний рівень ККД (η). Таким чином, відмінність запропонованого способу управління від відомого полягає в тому, що в запропонованому способі значення тиску P_{max} для кожного циклу регулювання продуктивності компресора не є постійним, а змінюється, забезпечуючи максимальне значення ККД. На рис. 5 наведено залежності тиску в ресивері P_2 від часу при різних значеннях витрат повітря Q .

Видно, що зміна значень P_{max} (P_{max1} , P_{max2}) при зміні витрат повітря Q (Q_1 , Q_2) призводить до зміни тривалості циклу управління приводом T_c (T_{c1} , T_{c2}), тому в деяких режимах роботи обмеження на кількість пусків при рішенні оптимізаційної задачі стає активним. Такі режими визначено, наприклад, на рис. 5.

Задача оптимізації параметрів режиму вирішувалась для систем різної продуктивності. При цьому, незважаючи на відмінність кількісних характеристик, характер отриманих залежностей залишався незмінним, що підтверджувало доцільність застосування розробленого способу.

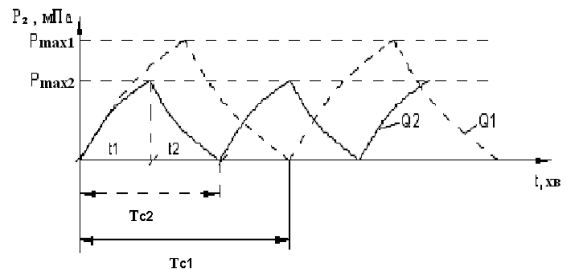


Рисунок 5 – Залежність тривалості циклу від максимального рівня тиску й витрати стислого повітря, споживаного пневмоприймачами

Доведено, що за відсутності обмеження на кількість пусків за годину (його збільшенні до 30–40) асинхронного двигуна компресора економія споживаної електричної енергії досягається й при малих витратах стислого повітря, споживаного пневмо-приймачами. У разі суттєвого обмеження кількості пусків (що встановлюється паспортними даними двигуна) економія електроенергії може бути досягнута лише при значних обсягах витрат стислого повітря Q .

Моделювання параметрів режиму роботи електромеханічної системи для різних варіантів управління продуктивністю компресора: споживання енергії електромеханічною системою протягом однієї години за класичним двопозиційним методом

управління; шляхом двопозиційного методу управління з оптимальним верхнім рівнем тиску; застосуванням двопозиційного методу управління з оптимальним верхнім рівнем тиску й встановленими обмеженнями – довело, що запропонований варіант регулювання з «плаваючим» верхнім рівнем тиску забезпечує скорочення рівня витрат електричної енергії. У зіставленні з класичним двопозиційним регулюванням досягається економія до 1–13 %.

Розроблено алгоритм управління електроприводом компресорної установки та схемну реалізацію запропонованого способу.

Особливості запропонованого алгоритму управління наступні:

- забезпечує визначення витрат стислого повітря приймачами, виходячи із швидкості зміни тиску в пневмережі;

- здійснює прогнозування тривалості циклу управління T_c і, відповідно, значення верхнього рівня тиску P_{max} , виходячи з обмеження кількості пусків електродвигуна за годину;

- забезпечує визначення втрат енергії в елементах електротехнічного комплексу й відповідного значення ККД комплексу за цикл при заданому рівні тиску P_{max} ;

- виконує вибір максимального значення ККД (η_{opt}) і відповідного йому значення максимального тиску $P_{max\ opt}$.

Проведено експериментальну перевірку отриманих на моделі значень параметрів режиму системи. Порівняння експериментально отриманих значень із теоретичними (результатами моделювання) показало, що похибка розрахунку не перевищує 0,1–3 %. Цим підтверджується адекватність розробленої математичної моделі поставленої задачі моделювання.

Експериментальні дослідження підтвердили, що для запропонованої електромеханічної системи при малих значеннях витрат стислого повітря економія електричної енергії практично відсутня, а при великих складає до 13 %.

Аналіз існуючих апаратних способів реалізації управління повітряними поршневими компресорними установками показав, що для розробленого способу управління доцільно застосувати систему, побудовану на базі промислового програмованого контролера. Останній забезпечує не тільки постійний контроль необхідних параметрів, зокрема рівня тиску, але й має інші вагомні переваги порівняно з релейними системами.

Упровадження розробленого способу управління поршневими компресорними установками дозволить економити електроенергію при невеликих витратах стислого повітря (1–8 м³/хв) у середньому від 3 до 25 тис. грн./рік, а при значних (9–11 м³/хв) – від 40 до 85 тис. грн./рік.

ВИСНОВКИ. Дослідження дозволили вирішити наукову задачу, яка полягає в обґрунтуванні оптимального режиму роботи електромеханічної системи виробництва й розподілу стислого повітря та умов його реалізації шляхом управління електроприводом компресора. Сформульовано й вирішено задачу параметричної оптимізації режиму роботи електромеханічного комплексу. Як цільову функцію запропоновано використовувати значення ККД електромеханічного комплексу, яке розраховується в кожному циклі двопозиційного управління електроприводом компресора. Накладено обмеження на допустиму кількість включень електродвигуна за певний період часу й на значення тиску повітря в пневмосистемі. Сутність її вирішення полягає у використанні можливостей управління електроприводом компресора з метою підвищення енергетичної ефективності систем перетворення й розподілу стислого повітря.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров // Технічна електродинаміка. – 2004. – № 3. – С. 70–71.
2. Бобров А.В. Управление электроприводом компрессорной установки на основе определения КПД электротехнического комплекса / Междунар. молодёжная науч.-техн. конф. "Энергосистема и активные адаптивные электрические сети: проектирование, эксплуатация, образование". – Самара, 2011. – С. 423.
3. Автоматизация воздушных поршневых компрессорных установок / Г.Р. Грейнер, В.П. Ильяшенко, Н.Н. Первушин, В.А. Чумаевский. – Л.: Судпрогиз, 1963. – 147 с.
4. Крючков А.Д. Автоматизация поршневых компрессоров. Основы проектирования и расчёт. – Л.: Машиностроение, 1971. – 232 с.
5. Крючков А.Д. Автоматизация поршневых компрессоров. Основы проектирования и расчёт. – Л.: Машиностроение, 1971. – 232 с.
6. Карабин И. Сжатый воздух. – М.: Машиностроение, 1964. – 342 с.
7. Назаренко У.П. Экономия электроэнергии при производстве и использовании сжатого воздуха. – М.: Энергия, 1976. – 103 с.
8. Рыбин А.И., Закиров Д.Г. Экономия электроэнергии при эксплуатации воздушных компрессорных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 71 с.
9. Гарбуз Д.Л. Рудничные пневматические установки. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 359 с.
10. Шехтер Ю.Л., Директор Л.Б., Пругер В.И. Упрощенная методика определения фактических характеристик поршневых компрессоров и пневмосети на предприятиях // Промышленная энергетика. – 2003. – № 8. – С. 18–19.

RESULTS OF OPERATION MODE ELECTROMECHANICAL ENERGY EFFICIENCY OF PRODUCTION AND DISTRIBUTION OF COMPRESSED AIR

A. Bobrov, S. Vypanasenko

State Higher Educational Institution "National Mining University"

prosp. K. Marksa, 19, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine. E-mail: E-mail: alekseybob@ua.fm

Identified reasons for the low energy efficiency of the electromechanical system of production and distribution of compressed air. Considered modes of the system components and their mutual relationship. The analysis of energy losses in the electromechanical system elements to improve the electric compressor control method by introducing new technical solutions. Applied Analytical dependences that bind levels of energy losses in the individual parts of the system with the parameters mode OFF control of the compressor. A mathematical model for calculating the efficiency of the electromechanical system is formulated and solved the problem of optimizing the parameters of the regime at the drive -off control of the compressor. The proposed model differs from the existing possibility of accounting operation of all elements of the electromechanical system to determine its power indicator - efficiency. The results of parametric optimization mode electromechanical system of production and distribution of compressed air. A method of controlling asynchronous electric reciprocating air that implements the optimal value of the parameters of the regime.

Key words: the electric drive, regulation, the compressor, electromechanical system.

REFERENCES

1. Bobrov, A.V. (2004), "Improving the energy efficiency of reciprocating compressors", *Technika elektrodinamika*, Vol. 3, pp. 70–71. (in Russian)
2. Bobrov, A.V. (2011), "Management of the electric compressor unit on the basis of determining the efficiency of electrical complex", *Mezhdunar. molodyozhnaya nauch.-tekhn. konf.*, Samara. (in Russian)
3. Greyner, G.R., Ilyashenko, V.P. and Chumaevsky, V.A. (1963), *Avtomatizatsiya vozdukhnykh porshnevnykh kompressorov [Automation air reciprocating compressor units]*, Sudprogiz, Leningrad. (in Russian)
4. Kryuchkov, A.D. (1971), *Avtomatizatsiya porshnevnykh kompressorov. Osnovy proektirovaniya i raschet*, [Automation of reciprocating compressors. Basis of design and calculation], Mashinostroenie, Leningrad. (in Russian)
5. Kryuchkov, A.D. (1971), *Avtomatizatsiya porshnevnykh kompressorov. Osnovy proektirovaniya i raschet* [Automation of reciprocating compressors. Basis of design and calculation], Mashinostroenie, Leningrad. (in Russian)
6. Carabin, A.I. (1964), *Szhatyy vozdukh* [Compressed air], Mashinostroenie, Moscow. (in Russian)
7. Nazarenko, U.P. (1976), *Ekonomiya elektroenergiyi pri proizvodstve i ispolzovanii szhatogo vozdukh* [Saving energy in the production and use of compressed air], Energiya, Moscow. (in Russian)
8. Rybin, A.I. and Zakirov, D.G. (1988), *Ekonomiya elektroenergiyi pri ekspluatatsiyi vozdukhnykh kompressorov ustanovok*, [Saving energy in the production and use of compressed air], Energoatomizdat, Moscow. (in Russian)
9. Garbuz, D.L. (1961), *Rudnichnye pnevmaticheskie ustanovki*, [Miner pneumatic systems], Gosgortechizdat, Moscow. (in Russian)
10. Shechter, Y.L., Direktor, L.B. and Pruger, V.I. (2003) "A simplified method for determination of the actual characteristics of piston compressors and air networks in enterprises", *Promyshlennaya energetika*, no. 8, pp. 18–19. (in Russian)

Стаття надійшла 24.04.2014.