

**С.И. Выпанасенко, д-р техн. наук,**

**А.В. Бобров**

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

## ОБОСНОВАНИЕ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОВЫШЕНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

В поршневых компрессорах широко распространена двухпозиционная система регулирования производительности, которая применяется в случаях, если нет технологической необходимости поддерживать постоянный уровень давления в пневмосистеме и нет резких изменений расхода сжатого воздуха. Ее достоинства – относятся простота реализации и надежность. Принцип работы двухпозиционной системы регулирования основан на том, что задаются предварительно установленные границы давлений. При достижении верхнего уровня давления компрессор отключается, а нижнего – включается (рис.1.).

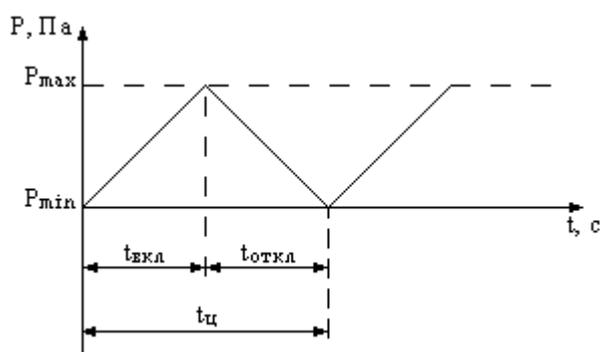


Рис.1. Принцип работы двухпозиционного управления

При этом в системе регулирования с помощью установленного датчика измеряют один параметр – давление в воздухосборнике  $P$ . Нормальная работа потребителей сжатого воздуха обеспечивается благодаря поддержанию давления  $P$  в пневмосистеме в заданном интервале, т.е. от  $P_{\min}$  до  $P_{\max}$ .

Главный недостаток этой системы отсутствие учета факторов, влияющих на энергоэффективность комплекса “электрическая сеть – компрессор – пневмосеть” в целом. Она абсолютно не учитывает такие важные параметры, как потери мощности в электросети, компрессоре, пневмосети. Следовательно, необходимо выяснить, какие параметры нужно измерять, чтобы определить уровни этих потерь, тем самым обеспечивая работу комплекса в режиме их минимизации при нормальной работе потребителей сжатого воздуха.

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, необходимо рассмотреть потери мощности:

- в электрической сети:

$$\Delta N_1 = 3I^2 r_0 l ,$$

где  $I$  – фазный ток в линии, А;  $r_0$  – активное удельное сопротивление линии, Ом/км;  $l$  – длина линии, км;

- в асинхронном двигателе и компрессорной установке:

$$\Delta N_2 = N - P_2 V,$$

где  $N$  – активная мощность, потребляемая асинхронным двигателем, кВт;

$P_2$  – давление сжатого воздуха в ресивере, Па;

$V$  – расход сжатого воздуха, на выходе ресивера, м<sup>3</sup>/с;

- в системе трубопроводов сжатого воздуха

$$\Delta N_3 = P_2 V x,$$

где  $x$  – коэффициент, который определяется при проведении испытаний герметичности, % [1]. Из вышесказанного следует, чтобы система управления могла учитывать потери во всех звеньях цепи “электрическая сеть – компрессор – пневмосеть”, необходимо установить:

- амперметр, А;
- расходомер сжатого воздуха, м<sup>3</sup>/с;
- датчик давления в ресивере.

По сравнению с двухпозиционной системой управления добавляется два устройства – амперметр и расходомер сжатого воздуха, т.е. значительно повышается стоимость системы управления, сложность монтажа, снижается ее надежность. Рассмотрим возможность уменьшения количества датчиков контролируемых параметров при сохранении возможностей системы управления отслеживать потери в различных элементах и, следовательно, работать в энергоэффективных режимах.

Потери в электрической сети можно связать с потреблением активной мощности асинхронным приводом поршневого компрессора с учетом ее зависимости от уровня давления в пневмосистеме, приняв некоторые допущения:

- напряжение питания асинхронного двигателя неизменно ( $U = \text{const}$ );
  - исходя из анализа рабочей характеристики  $\eta = f(N/N_{\text{ном}})$  асинхронных двигателей значение КПД при коэффициенте загрузки, большем 0,3–0,4, остается практически неизменным и равным  $\eta_{\text{ном}}$  [1], т.к., коэффициент загрузки асинхронных приводов поршневых компрессоров изменяется от 0,6 до 0,9 при их работе на промежутке от 0,6 до 0,8 МПа;
  - влияние температуры всасываемого воздуха на потребляемую мощность не учитываем. Расчет должен проводиться по параметрам при  $T_1 = 20$  °С, а поскольку снижение температуры всасываемого воздуха с постоянным давлением уменьшает количество водяных паров, содержащихся в нем, что приводит к повышению его производительности [2].

Поскольку  $\cos\varphi$  зависит от коэффициента загрузки асинхронного двигателя и при этом изменяется в течение срока эксплуатации или в результате ремонта, то необходимо определить зависимость  $\cos\varphi = f(P_2)$  в ходе испытаний, при работе компрессора на сеть, от минимального до максимального рабочих уровней давлений.

Тогда для поршневого компрессора с двумя ступенями сжатия:

$$N = 2 \frac{n}{n-1} P_1 V_1 \frac{(\varepsilon^{\frac{n-1}{2n}} - 1)}{\eta_{\text{мех}} \eta_{\text{пол}} \eta_{\text{дв}}},$$

где  $P_1$  – атмосферное давление, Па;  $V_1$  – объемная производительность по условиям всасывания, м<sup>3</sup>/с;  $n$  – показатель политропы, для поршневых компрессоров,  $n = 1,2 - 1,35$  [3];  $\eta_{\text{дв}}$  – КПД двигателя;  $\eta_{\text{пол}}$  – индикаторный КПД относительно политропного процесса сжатия, равный  $0,8 - 0,9$  [4];  $\eta_{\text{мех}}$  – механический КПД, учитывающий потери трения кривошипно-шатунного механизма и поршня компрессора,  $\eta_{\text{мех}} = 0,85 - 0,95$  [3];  $\varepsilon = \frac{P_2}{P_1}$ ,  $P_2$  – давление в пневмосистеме,

Па.

Тогда, зная зависимость  $\cos\varphi = f(P_2)$  и мощность, потребляемую из сети для данного давления, можно определить ток, потребляемый электроприводом из сети:

$$I = \frac{N}{\sqrt{3} U_n \cos\varphi},$$

а затем и потери в компрессоре  $\Delta N_1$ .

Для определения фактических характеристик компрессоров и пневмосети необходимы испытания, которые проводят в нерабочее время, при отключенных потребителях сжатого воздуха. При установлении зависимости подачи компрессора от давления выполняется следующий объем работ:

- закрываются все задвижки за ресиверами;
- запускается один компрессор и после его выхода на рабочий режим открывается задвижка на нагнетании, включается секундомер;
- фиксируется изменение давления в ресивере с определенным шагом по секундомеру, до максимального давления.

Для измерения утечек из пневмосети:

- накачивается сжатый воздух в пневмосеть до максимального значения (при необходимости включаются несколько компрессоров);
- отключаются компрессоры с одновременным включением секундомера, затем определяется темп изменения падения давления в ресивере.

Выражение для расчета объемного расхода, м<sup>3</sup>/мин, при нормальных условиях имеет вид:

$$V_{\text{расч}} = \frac{(Q_{\text{рес}} + Q_{\text{труб}})}{RT} \frac{1}{\rho} \frac{dP}{d\tau},$$

где  $P$ ,  $Q$ ,  $T$  – соответственно давление, Па, объем, м<sup>3</sup>, температура, К, газа;  $R=287$  Дж/(кг·К) – газовая постоянная для воздуха;  $\rho=1,29$  кг/м<sup>3</sup> – плотность

воздуха при нормальных условиях;  $Q_{рес}$  и  $Q_{труб}$  – объемы ресивера и подводящих трубопроводов сети.

По опытным данным из последнего выражения получим зависимости подачи компрессора, м<sup>3</sup>/мин, от давления, Па, и утечки воздуха, м<sup>3</sup>/мин, от давления в пневмосети, Па [5]. Зная величину давления в каждый момент времени, можно найти объемную производительность компрессора, а, рассчитав мощность, потребляемую асинхронным электроприводом, – потери мощности в компрессоре.

В пневмосистеме потери мощности можно определить, контролируя только один параметр – давление, зная зависимость утечек воздуха от давления в пневмосистеме:

$$\Delta N_3 = P_2 V_2,$$

где  $V_2$  - утечки воздуха, м<sup>3</sup>/мин;  $\Delta N_3$  – потери мощности в пневмосети, кВт.

Из изложенного выше следует, что необходимо отслеживать значения одного параметра – давления, т.к. зная его можно рассчитать потери мощности во всех элементах системы – электрическая сеть – компрессор – пневмосеть. Значит построение энергоэффективной двухпозиционной системы управления поршневыми компрессорными установками с асинхронным приводом возможно при установке одного датчика давления в воздухохранильнике. Это в свою очередь открывает возможность для модернизации уже существующих систем, которые находятся в эксплуатации, путем замены управляющих элементов компрессора на программируемый логический контроллер с энергоэффективным алгоритмом управления.

### Список литературы

1. Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления: Сборник инструкций/ Под общ. ред. В.В.Дегтярева.- М.:Недра,1983.- 223 с.
2. Назаренко У.П. Экономия электроэнергии при производстве и использовании сжатого воздуха.– М.:Энергия,1976.- 103 с.
3. Карабин А.И. Сжатый воздух.– М.:Машиностроение,1964.- 342 с.
4. Гарбуз Д.Л. Рудничные пневматические установки. – М.:Госгортехиздат,1961.- 359 с.
5. 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.