

**С.И. Выпанасенко, д-р техн. наук, В.В. Кириченко, канд. техн. наук,  
А.В. Бобров**

*(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВЕРХНЕГО УРОВНЯ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ДВУХПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ КОЛИЧЕСТВА ПУСКОВ И УЧЕТЕ ПУСКОВЫХ ПОТЕРЬ**

Система двухпозиционного регулирования давления довольно широко применяется в поршневых компрессорных установках. Благодаря поддержанию в системе давления  $P$  в заданном интервале ( $P_{\min} - P_{\max}$ ), обеспечивается нормальная работа потребителей сжатого воздуха.

Ранее в работе [1] для повышения энергоэффективности системы было предложено выполнить “плавающим” верхний уровень давления. При этом рассматривался электротехнический комплекс электрическая сеть – компрессор – пневмосеть, а также был введен критерий экономичности для системы управления – КПД.

$$\eta = \frac{N - \Delta N_2 - \Delta N_3}{N + \Delta N_1},$$

где  $N$  – потребление активной мощности асинхронным приводом поршневого компрессора, кВт;

$\Delta N_2$  – потери мощности в АД и компрессорной установке, кВт;

$\Delta N_3$  – потери мощности в системе трубопроводов сжатого воздуха, кВт;

$\Delta N_1$  – потери активной мощности в электрической сети, кВт;

Предполагалось, что оптимальный верхний уровень давления в пневмосистеме соответствует максимуму КПД и зависит от расхода сжатого воздуха.

Для построения алгоритма работы системы двухпозиционного управления с “плавающим” верхним уровнем давления необходимо рассмотреть вопрос учета потерь при пуске компрессора и ограничения количества пусков приводного двигателя. Учет пусковых потерь производится с целью уточнения КПД комплекса, а значит и верхнего уровня давления. Необходимо учесть ограничение количества пусков, которое вводится для создания режима работы привода согласно его паспортным данным, а также для прогнозирования минимального времени цикла накачки – спуска.

Итак, перейдем к вопросу об ограничении количества пусков приводного двигателя поршневой компрессорной установки. Привод компрессора – асинхронный двигатель, который имеет ограничение количества пусков в час по условию нагрева. Исходя из этого в общем случае возможны режимы работы комплекса электрическая сеть – привод – компрессор – пневмосеть, при

которых число пусков привода компрессора превысит допустимые, т. е. определив КПД системы и найдя соответствующее ему оптимальное давление, возникает вопрос о том, что если при снижении уровня давления количество пусков в час возрастает, то необходимо установить ограничение в системе управления.

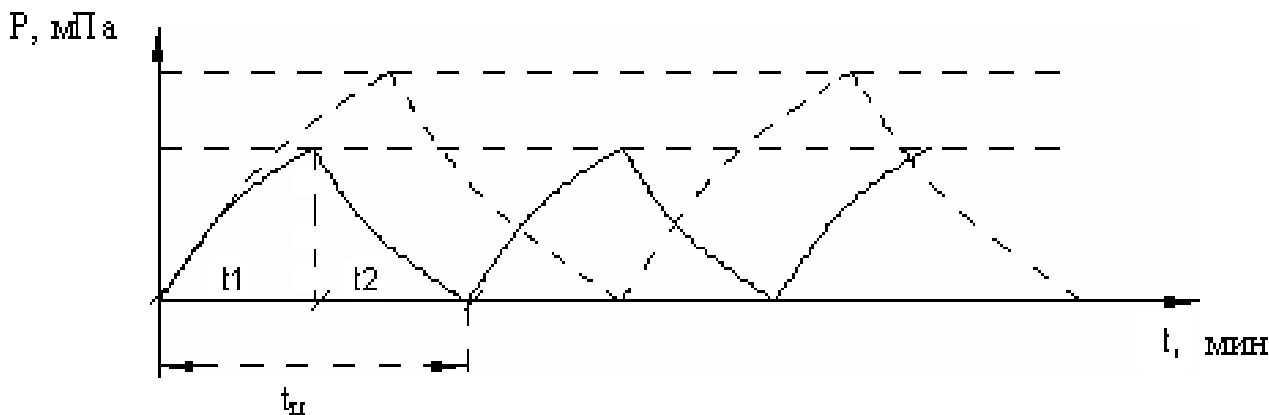


Рис. 1. Зависимость продолжительности времени цикла от максимального уровня давления

Решить данную задачу можно с помощью прогнозирования времени работы компрессора. Зная производительность компрессорной установки и рассчитав расход сжатого воздуха, а также оптимальное давление, определим время повышения и снижения давления, т.е. продолжительность цикла:

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2,$$

где:

$$t_1 = \sum \frac{V_c \Delta P}{(B_1 + B_2 e^{-P/B_3}) P_k - (Q_n + A_1 + A_2 e^{-P/A_3}) P_n} - \text{время накачки, мин;}$$

$$t_2 = \sum \frac{V_c \Delta P}{(Q_n + A_1 + A_2 e^{-P/A_3}) P_n} - \text{время снижения давления, мин;}$$

$V_c$  – объем воздухопроводной сети, м<sup>3</sup>;

$B_1 + B_2 e^{-P/B_3}$  – объем сжатого воздуха, поступающего в сеть, м<sup>3</sup>/мин;

$P_k$  – давление воздуха, поступающего в сеть, Па;

$Q_n$  – расход воздуха у потребителей, м<sup>3</sup>/мин;

$A_1 + A_2 e^{-P/A_3}$  – потери сжатого воздуха в пневмосети, м<sup>3</sup>/мин;

$P_n$  – давление воздуха у воздухоприемников, Па;

$\Delta P = P_{\text{max}} - P_{\text{mix}}$ ;

$P_{\text{max}}$  – максимальный уровень давления, Па;

$P_{\text{mix}}$  – минимальный уровень давления, Па.

Далее, исходя из количества пусков в час, регламентируемых паспортными данными асинхронного двигателя, можно найти минимальное

время цикла работы компрессорной установки  $T_{\text{цмин}} = \frac{60}{M}$  мин,  $M$  – количество пусков в час.

При правильном расчете производительности компрессора и его выборе, даже при максимальном расходе сжатого воздуха, количество пусков в час остается в пределах, нормированных производителем. Определив время цикла, исходя из расхода сжатого воздуха, рассчитывается предположительное количество пусков в час. Если предположительное количество пусков больше регламентируемого, то необходимо вносить корректировку. Поскольку следующие параметры: расход сжатого воздуха, объем ресивера и пневмосети, производительность поршневой компрессорной установки являются не регулируемые, то регулировать время цикла работы компрессора мы можем с помощью изменения максимального давления, т.е. повышение максимального уровня давления позволяет увеличить время цикла. Однако в этом случае вся система будет работать с неоптимальным КПД из-за перерасхода электрической энергии при выработке сжатого воздуха и увеличении потерь в пневмосети. Улучшение энергетических показателей возможно при учете времени каждого прошедшего цикла и отслеживании расхода сжатого воздуха. Если время цикла превышает расчетное значение, в связи с уменьшением расхода сжатого воздуха, то появляется возможность снизить максимальный уровень давления в пневмосети и соответственно уменьшить время последующих циклов, а значит приблизиться к оптимальным энергетическим показателям – максимуму КПД.

Итак, с одной стороны, в систему управления вводится ограничение по количеству пусков привода в час, а с другой, при малых потерях в электрической и пневматической сетях, необходимо учитывать пусковые потери. Так как пуск приводного двигателя осуществляется в тяжелых условиях – при нагрузке, т.е. при больших пусковых потерях возникает вопрос о том, что целесообразнее, уменьшать количество пусков – повышать давление или наоборот. Для решения этой задачи необходимо уточнить КПД всей системы с учетом пусковых потерь.

Пусковые потери определяются как

$$\Delta N_{\text{пуск}} = \Delta N_{\text{пуск с}} + \Delta N_{\text{пуск АД}},$$

где  $\Delta N_{\text{пуск с}}$  – потери мощности при пуске в электрической сети, кВт;

$\Delta N_{\text{пуск АД}}$  – потери мощности при пуске в АД, кВт.

Для определения пусковых потерь в асинхронном двигателе согласно работе [2], с точки зрения производства сжатого воздуха, среднюю мощность, потребляемую электродвигателем в течение пускового режима, можно оценить так:

$$\Delta N_{\text{пуск АД}} = K_N N_{\text{ном}},$$

где  $K_N$  – коэффициент кратности пусковой мощности, который приблизительно равен половине коэффициента кратности пускового тока;

$N_{\text{ном}}$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

Тогда потери активной мощности в электрической сети

$$\Delta N_{\text{пуск.л}} = 3r_0 l_0 \int_{t_1}^{t_2} I_{\text{п}}^2(t) dt;$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление, Ом/км;

$l_0$  – длина линии, км;

$I_{\text{п}}(t)$  – зависимость пускового тока двигателя от времени.

Исходя из методики определения пускового тока асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [3], можно получить зависимость  $I_{\text{п}}(t)$  от скольжения  $S$ . Определив время пускового режима, опытным путем, легко перейти к зависимости  $I_{\text{п}}(t)$ .

Поскольку параметры двигателей, которые находились длительное время в эксплуатации, отличаются от паспортных, то необходимо опытным путем уточнить характеристику  $I_{\text{п}}(t)$  и определить активную энергию  $A_{\text{п}}$ , потребляемую асинхронным двигателем при пуске.

С учетом сказанного

$$\Delta N_{\text{пуск АД}} = \frac{A_{\text{п}}}{t_{\text{п}}},$$

где  $A_{\text{п}}$  – активная энергия, потребляемая асинхронным двигателем при пуске, кВтч;

$t_{\text{п}}$  – время пускового режима, ч.

Введя поправочный коэффициент  $k_{\text{пi}}$  для зависимости  $I_{\text{п}}(t)$  или используя интерполяционные методы, можно учесть отклонение параметров привода от номинальных:

$$\Delta N_{\text{пуск.л}} = 3r_0 l_0 k_{\text{пi}} \int_{t_1}^{t_2} I_{\text{п}}^2(t) dt,$$

Таким образом, установив потери при пуске и приведя их ко времени цикла, можно сравнивать данные потери с общими потерями за цикл и соответственно определять оптимальный, с точки зрения потерь мощности, уровень давления в системе.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод о том, что для создания режима работы привода, согласно его паспортным данным и уточнения оптимального уровня давления необходимо производить с учетом пусковых потерь в приводе компрессора и электрической сети и ограничении количества

пусков. Формула для расчета уточненного КПД системы с учетом пусковых потерь имеет вид:

$$\eta = \frac{N - \Delta N_2 - \Delta N_3}{N + \Delta N_1 + \Delta N_{\text{пуск}}}.$$

#### **Список литературы**

1. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров // Техническая электродинамика. – 2004. – № 3. – С.18-19.
2. Крючков А.Д. Автоматизация поршневых компрессоров. Основы проектирования и расчёт. – Л.: Машиностроение, 1971. – 232 с.
3. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360с.