

УДК: 621.3.078.4: 621.512

Бобров А.В.*

НАГРУЗКА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕТИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА УРОВНИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОРШНЕВОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ

Определены потери мощности в элементах электротехнического комплекса поршневой компрессорной установки

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

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

Для обоснования энергетического показателя электротехнического комплекса необходимо четко знать зависимости между различными элементами и всего комплекса в целом, с измеряемыми параметрами. Это позволит определить наиболее весомые, с точки зрения потерь мощности, элементы электротехнического комплекса, а также взаимосвязи между ними, так как, потери мощности в различных элементах электротехнического комплекса отличаются друг от друга своими весовыми значениями.

Для этого установим зависимости между измеряемыми параметрами и потерей мощности в различных элементах электротехнического комплекса с учетом существующих связей между ними. Эти зависимости позволят исследовать реальную картину изменения потерь мощности в элементах электротехнического комплекса, при различных режимах работы технологического оборудования.

Уточним, почему именно от нагрузки в пневмосети нужно находить зависимости уровней потерь мощности в элементах электротехнического комплекса. Под нагрузкой пневмосети (Вт) понимается произведение расхода сжатого воздуха, потребляемого приемниками (m^3/c), на давление в ней (Па).

$$N_{нагр} = Q_{потр} \cdot P_2, \quad (1)$$

где $Q_{потр}$ - расход сжатого воздуха, потребляемого различными пневмоприемниками, m^3/c , P_2 - давление в пневмосистеме, Па. Как указано в [1], эти зависимости можно получить, зная значение одного параметра – давления в пневмосистеме и отслеживая скорость его изменения. Следует отметить, что такие зависимости будут лишены наглядности, с точки зрения режима работы электротехнического комплекса. Ведь, важно не только найти уровни потерь мощности в элементах электротехнического комплекса, но и рассмотреть взаимосвязи между ними и режимами его работы. Это даст возможность рассмотреть в динамике изменения уровни потерь мощности в элементах электротехнического комплекса и их взаимосвязи при различных режимах его работы. Так как режимы работы электротехнического комплекса определяются режимами работы потребителей сжатого воздуха, то, найдя такие зависимости, получим наиболее полную картину процессов, формирующих энергетический показатель КПД.

Исходя из ранее рассмотренных положений в работах [1, 2], можно записать потери мощности в звеньях от давления в пневмосистеме:

- потери активной мощности в электрической сети:

* Национальный горный университет, ассистент

$$\Delta N_1 = 3 \cdot I^2 \cdot r_0 \cdot l, \quad (2)$$

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

Для поршневого компрессора с двумя ступенями сжатия получим:

$$N = 2 \cdot \frac{n}{n-1} \cdot P_1 \cdot Q_1 \cdot \frac{\left(\varepsilon^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right)}{\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{пол}} \cdot \eta_{\text{ов}}}, \quad (3)$$

где P_1 – атмосферное давление, Па; Q_1 – объемная производительность по условиям всасывания, м³/с; n – показатель политропы, для поршневых компрессоров, $n = 1,2 - 1,35$ [3]; $\eta_{\text{ов}}$ – 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]; $\varepsilon = P_2 / P_1$, P_2 – давление в пневмосистеме, Па.

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

$$I = \frac{N}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}. \quad (4)$$

Соответственно, по значению тока и воспользовавшись выражением (2), можно рассчитать потери мощности в электрической сети ΔN_1 . Таким образом, получена прямая зависимость потерь мощности в электрической сети от уровня давления в пневмосистеме.

Потери в асинхронном двигателе и компрессорной установке можно выразить как

$$\Delta N_2 = N - P_2 \cdot Q_{\text{ном}}, \quad (5)$$

где N – активная мощность, потребляемая асинхронным двигателем, кВт; P_2 – давление сжатого воздуха в ресивере, Па; $Q_{\text{ном}}$ – объемная производительность сжатого воздуха на выходе компрессора, м³/с

Потери в системе трубопроводов сжатого воздуха:

$$\Delta N_3 = P_2 \cdot \frac{(V_{\text{рес}} + V_{\text{труб}})}{RT} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dt}, \quad (6)$$

где T – температура газа, К; $R = 287$ Дж/(кг·К) – газовая постоянная для воздуха; $\rho = 1,29$ кг/м³ – плотность воздуха при нормальных условиях; $V_{\text{рес}}$ – объем ресивера, м³; $V_{\text{труб}}$ – объем пневматической сети, м³.

Проанализировав приведенные выше зависимости (1)-(6), с помощью которых определяются потери мощности в элементах электротехнического комплекса, приходим к выводу о том, что непосредственной связи между этими потерями и нагрузкой пневматической сети не существует. Однако, при ближайшем рассмотрении оказывается, что опосредованная связь между ними все таки имеется, ведь значения потерь мощности в каждом элементе электротехнического комплекса, которые определяются по вышеуказанным зависимостям, определяются как мгновенные в конкретный момент времени по конкретным параметрам. Для того чтобы иметь возможность в дальнейшем оперировать значениями потерь, необходимо привести их к единому интервалу осреднения. Таким временным интервалом является время цикла $T_{\text{ц}}$ (ч) накачки – спуска уровня давления. Определение времени цикла, его прогнозирование рассмотрено в работах [5, 6].

Анализ зависимостей потерь мощности в элементах электротехнического комплекса показывает, что для решения поставленной задачи о влиянии нагрузки пневматической сети на уровни потерь мощности в различных элементах электротехнического комплекса, необходимо знать параметры его элементов, некоторые из которых определяются с помощью испытаний, например потери сжатого воздуха в пневмосистеме. Возникает проблема, которая заключается в следующем: возможно ли получить универсальные зависимости потерь мощности в элементах электротехнического комплекса от нагрузки пневмосети. Решение данной задачи заключается в получении относительных зависимостей для конкретных типов компрессоров, в данном

случае поршневого компрессора с асинхронным приводом, с увеличением нагрузки на изменение потерь в элементах электротехнического комплекса. Для нахождения относительных величин, по потерям мощности в элементах электротехнического комплекса, примем за максимальную мощность, потребляемую из электрической сети асинхронным приводом поршневого компрессора, а для нагрузки в пневмосети – максимальное давление в ней и максимальный расход сжатого воздуха, который равен производительности компрессорной установки при максимальном давлении.

Для построения графиков зависимостей возьмем следующие параметры электротехнического комплекса: $P_2 = 0,6 \dots 0,8$ МПа, $P_1 = 0,1$ МПа, $n = 1,24$, $Q_1 = 20 / 60$ м³/с, $\eta_{mex} = 0,85$, $\eta_{pol} = 0,88$, $\eta_z = 0,8$, $\cos \phi = 0,8$, $U = 0,38$ кВ, $r_0 = 0.00035$ Ом/м, $l = 40$ м, $P_k = 0,8$ МПа, $P_n = 0,6$ МПа, $V_{pec} = 4$ м³, $V_{труб} = 17$ м³. Здесь необходимо сделать замечание о том, что при изменении исходных данных параметров электротехнического комплекса могут изменяться и потери мощности в его элементах. Однако, характер полученных зависимостей и относительные весовые значения потерь мощности останутся неизменными. Это утверждение основано на пропорциональном увеличении мощности асинхронного привода поршневых компрессорных установок при увеличении их объемной производительности [3, 4]. Из представленных выше формул (1-6) путем несложных математических операций получим искомые зависимости (рис. 1-3):

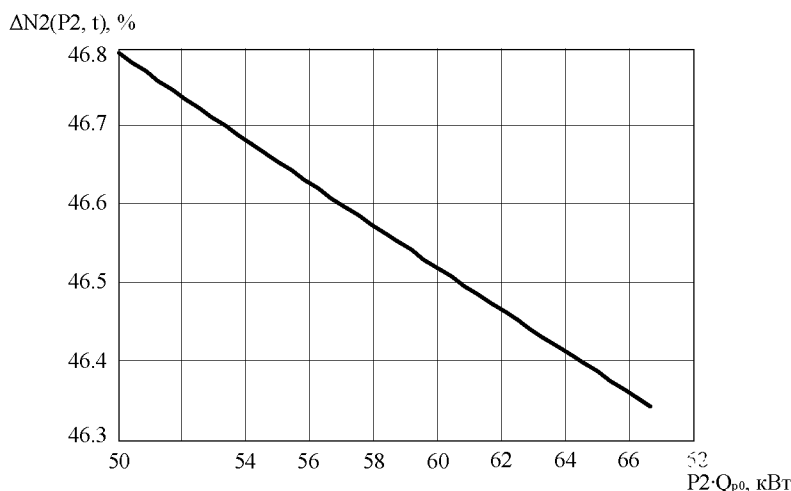


Рис. 1 – График зависимости между потерями мощности в системе «электропривод – компрессор» и нагрузкой пневмосистемы

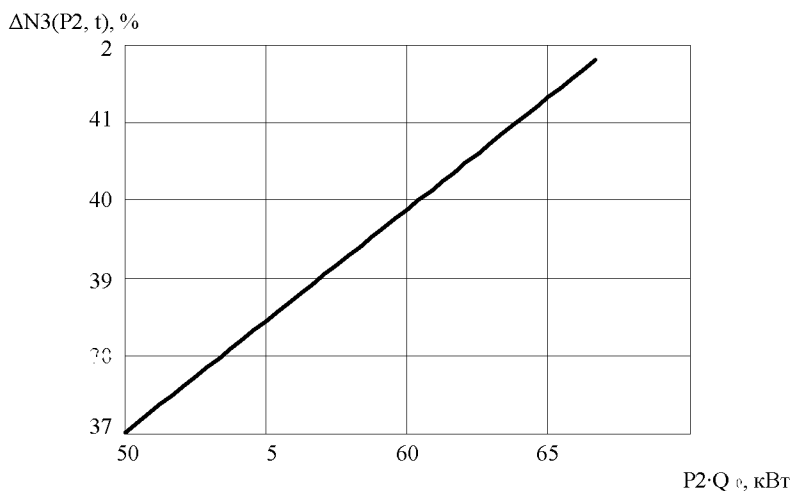


Рис. 2. –График зависимости между потерями мощности в пневмосистеме и ее нагрузкой

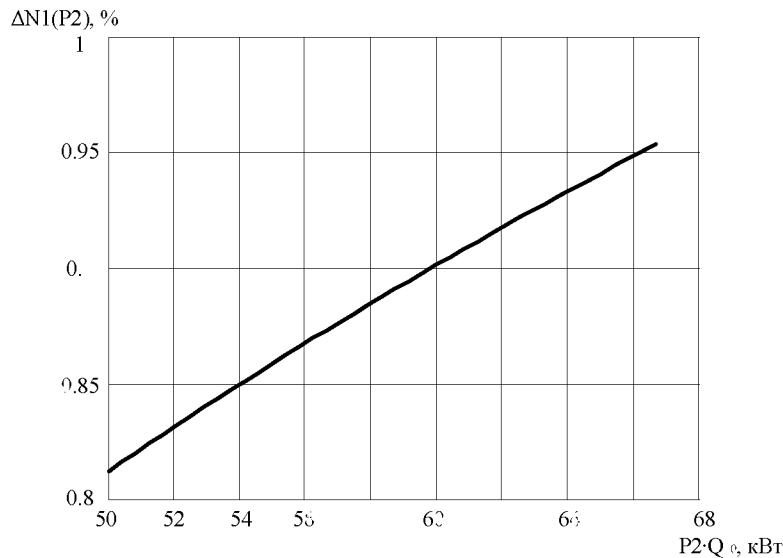


Рис. 3 – График зависимости между потерями мощности в электрической сети и нагрузкой пневмосистемы

Выводы

Значительные потери мощности имеют место в системе преобразования энергии и распределительной сети сжатого воздуха. Поэтому режимы работы этих элементов важны для повышения КПД электромеханической системы в целом.

Перечень ссылок

1. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров / А.В. Бобров // Технічна електродинаміка. – 2004. – №3. – С. 70-71.
2. Выпанасенко С.И. Обоснование контролируемых параметров при повышении энергоэффективности поршневых компрессоров / С.И. Выпанасенко, А.В. Бобров // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн.зб. – 2004. – Вип 72. – С. 95-99.
3. Карабин А.И. Сжатый воздух / А.И. Карабин. – М.: Машиностроение, 1964. – 342 с.
4. Гарбуз Д.Л. Рудничные пневматические установки / Д.Л. Гарбуз. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 359 с.
5. Выпанасенко С.И. Определение оптимального верхнего уровня давления в системе двухпозиционного управления поршневых компрессоров при ограничении количества пусков и учете пусковых потерь / С.И. Выпанасенко, В.В. Кириченко, А.В. Бобров // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн.зб. – 2005. – Вип. 74. – С. 71-75.
6. Бобров А.В. Определение максимального уровня давления энергоэффективной системы управления поршневых компрессорных установок при ограничении количества пусков / А.В. Бобров // Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації: Збірник матеріалів конференції. – 2007. – С. 171.

Рецензент: Ю.Т. Разумный,
д-р техн. наук, проф., НГУ

Статья поступила 15.03.2008