УДК 621.317

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРНОГО ХОЗЯЙСТВА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.В.УГОЛЬНИКОВ, Н.В.МАКАРОВ

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

На горных предприятиях в балансе потребления электрической энергии значительную часть занимает производство сжатого воздуха. Многие компрессорные станции предприятий оборудованы автоматизированными системами управления параметрами, позволяющими осуществлять надежную, бесперебойную и безопасную эксплуатацию компрессорного хозяйства. Но большинство систем автоматизации компрессорных станций не выполняют функцию контроля показателей энергоэффективности работы компрессорной станции.

В статье рассмотрен вопрос включения датчиков расхода сжатого воздуха (расходомеров) в автоматизированную систему управления компрессорной станцией, что позволяет контролировать производство сжатого воздуха и потребление электрической энергии на его выработку. Контроль и учет данных параметров дает возможность, с помощью микропроцессорной техники контролировать один из основных показателей энергоэффективности – удельный расход электроэнергии на производство одного кубического метра сжатого воздуха, определять, насколько эффективно работает компрессорная станция, и вовремя принимать соответствующие меры по уменьшению удельного расхода электроэнергии.

Использование дополнительных функций автоматизированных систем управления и контроля позволит разработать и применить энергосберегающие мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности предприятия, что приведет к снижению себестоимости готовой продукции и повышению ее конкурентоспособности.

Ключевые слова: автоматизированная система управления; энергоэффективность; показатели энергоэффективности; удельный расход электроэнергии; компрессорная станция; автоматизированная система контроля; микропроцессорный контроллер

Как цитировать эту статью: Угольников А.В. Применение систем автоматизации для контроля и учета показателей энергоэффективности эксплуатации компрессорного хозяйства горных предприятий / А.В.Угольников, Н.В.Макаров // Записки Горного института. 2019. Т. 236. С. 245-248. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.245

Введение. На многих промышленных предприятиях используются различные виды энергии для работы электрического, механического, теплового и вспомогательного оборудования. В промышленности широко применяется пневматическая энергия, или энергия сжатого воздуха.

Энергия сжатого воздуха является одним из основных видов энергии на горных предприятиях, так как при добыче и переработке горной массы используются бурильные, буросблочные, проходческие, добычные, погрузочные машины и механизмы. Энергия сжатого воздуха получила также широкое применение для вентиляции и водоотлива при откачке воды и пульпы [2-4, 6].

В то же время использование пневматической энергии имеет ряд серьезных недостатков. При производстве, распределении и потреблении пневматической энергии затрачивается большое количество электрической энергии.

Постановка проблемы. Пневматические установки, используемые в горной промышленности, являются наиболее энергоемким оборудованием. Высок их удельный вес в электропотреблении горнорудных предприятий с подземной добычей полезных ископаемых (рис.1). Так, например, в энергетическом балансе Североуральского бокситового рудника РУСАЛ (АО «СУБР») доля электропотребления на производство сжатого воздуха составляет 20-40 % от общего электропотребления предприятия.

Эффективность работы компрессорного агрегата и компрессорной станции в целом зависит от ряда внешних и внутренних факторов, которые необходимо контролировать в процессе работы всего компрессорного хозяйства предприятия.

Одним из важных показателей энергоэффективности компрессорного хозяйства предприятия является удельный расход электрической энергии на выработку одного кубического метра сжатого воздуха

$$W_{\text{уд}} = \frac{W_{\text{эл}}}{Q_{\text{к}}},$$

где $W_{\text{эл}}$ – потребление электрической энергии компрессорным агрегатом за 1 ч, кВт; $Q_{\text{к}}$ – количество выработанного сжатого воздуха за тот же интервал времени, м³.

1 2 3 4 5

Рис. 1. Расход электроэнергии на горном предприятии

1 – водоотлив; 2 – вспомогательное производство; 3 – бытовые нужды; 4 – вентиляция; 5 – компрессорное хозяйство

Норму расхода электрической энергии на один кубический метр сжатого воздуха можно вычислить по формуле

$$W_{уд}^H = \frac{L_{из}}{3600 \cdot 102 \eta_{из} \eta_d \eta_n},$$

где $L_{из}$ – изотермическая работа компрессорного агрегата; $\eta_{из}$ – изотермический КПД компрессорного агрегата; η_d – КПД электрического двигателя привода компрессорного агрегата; η_n – КПД передачи.

Изотермическую работу компрессорного агрегата можно рассчитать по формуле

$$L_{из} = 2,3 p_0 V_0 \lg \frac{p_2}{p_0},$$

где V_0 – начальный всасываемый объем воздуха, равный 1 м^3 ; p_2 – конечное давление сжатия, МПа; p_0 – давление всасывания, МПа.

Для определения эффективности работы компрессорной станции по удельному расходу электроэнергии необходимо знать норму потребления электрической энергии на выработку 1 м^3 сжатого воздуха и сравнить ее с фактическим удельным расходом компрессорного агрегата (см. таблицу).

Нормальные удельные расходы электроэнергии на выработку сжатого воздуха в поршневых компрессорах общего назначения, кВт·ч/м³

Компрессоры	Давление сжатого воздуха, МПа	
	0,6	0,7
Вертикальные, двухступенчатые производительностью до $20 \text{ м}^3/\text{мин}$	0,115	0,12
Горизонтальные, угловые производительностью до $100 \text{ м}^3/\text{мин}$	0,095	0,105

При обследовании компрессорных хозяйств горных предприятий Урала было выявлено, что большинство компрессорных агрегатов работают с повышенным удельным расходом электрической энергии, поэтому контроль удельного расхода электроэнергии является одной из главных задач при эффективной эксплуатации компрессорного хозяйства предприятия.

Как правило, на большинстве компрессорных станций предприятий ведется учет расхода электрической энергии, так как это технически просто и малозатратно. Большинство компрессорных станций оборудованы системами визуального или автоматизированного учета потребления электроэнергии (электрические счетчики). Вместе с тем очень малое количество компрессорных станций имеют технические средства учета выработки сжатого воздуха. Данные показатели оценивают укрупненно (по косвенным показателям) [1].

Многие компрессорные станции горных предприятий имеют автоматизированную систему управления компрессорными агрегатами. Как правило, данные системы предназначены для контроля и управления выработки сжатого воздуха. Контролируется давление сжатого воздуха в коллекторе пневматической сети, что позволяет управлять производительностью компрессорной станции. В данных системах автоматического управления не предусмотрен контроль и учет выработки сжатого воздуха, так как стоимость датчика расхода сжатого воздуха, его монтаж и эксплуатация высока.

Поэтому учет и контроль выработки сжатого воздуха является важной задачей для модернизации действующих и проектировании вновь вводимых компрессорных станций.

Методика решения поставленной задачи. Для учета расхода сжатого воздуха и возможности дальнейшей автоматизации компрессорных станций предлагается установить датчик расхода (расходомер) сжатого воздуха (рис.2), [1, 5, 7, 8].

Современные расходомеры сжатого воздуха могут быть использованы в составе автоматизированных систем управления, контроля и учета энергоресурсов с использованием частотно-импульсного и цифрового сигнала. Установка данного датчика позволяет контролировать в ре-

альном времени показатели расхода сжатого воздуха и управлять работой компрессорной станции [8-10].

Автоматизированные системы, используемые на компрессорных станциях горных предприятий, в основном предназначены для обеспечения бесперебойной работы пневматического хозяйства предприятия. Автоматизированные системы контролируют давление в пневматической сети и в зависимости от показаний датчиков давления регулируют производительность компрессорных агрегатов. При этом в автоматизированных системах возможен учет и контроль расхода сжатого воздуха, но, как правило, он не используется [11, 14].

При использовании автоматизированных систем управления компрессорным хозяйством предприятий основной элемент контроля выработки сжатого воздуха – датчик расхода, который связан с микропроцессорным пультом управления. Измерительная информация поступает на сервер автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчера [12]. При использовании специализированных программных продуктов данная информация может архивироваться и передаваться в службы энергетика предприятия. При этом диспетчер в режиме реального времени может контролировать не только работу компрессорной станции, но и показатели энергоэффективности.

Для автоматизации процесса управления компрессорными установками применяются специальные микропроцессорные контроллеры, имеющие программируемый алгоритм управления и позволяющие обеспечить полную автоматизацию работы компрессорной станции или группы компрессорных установок и добиться снижения энергопотребления [13].

При использовании автоматизированных систем управления компрессорными станциями возможны несколько решений. Рассмотрим контроллеры бельгийской фирмы METACENTRE, специально разработанные для управления компрессорными станциями (рис.3).

Контроллеры METACENTRE позволяют решить ряд функциональных задач:

- контролировать одновременно до 24 групп компрессорных установок;
- уменьшать среднее амплитудное колебание рабочего давления;
- использовать адаптивное регулирование (контролирует количество выключений и переход

компрессорных установок в холостой ход, рассчитывает оптимизацию и координирует работу);

– применять до шести различных конфигураций представленных параметров режимов работ;

– выполнять в условиях реального времени полное отключение компрессорного агрегата или снижение давления в обеденный или межсменный перерыв;

– осуществлять контроль давления в трех различных зонах пневматической сети;

– управлять дополнительным и вспомогательным оборудованием компрессорной станции;

– передавать информацию оператору, диспетчеру или на АРМы верхнего уровня.

Рис.2. Схема подключения датчика расхода сжатого воздуха к пневматической сети

Рис.3. Автоматизированная система управления компрессорной станцией на микропроцессорном контроллере фирмы METACENTRE

Апробация результатов работы. В ОАО «Артинский завод» (Свердловская область) была произведена модернизация действующей автоматизированной системы контроля и учета энерго-ресурсов с целью контроля и дальнейшего анализа удельного расхода электроэнергии на выработку 1 м³ сжатого воздуха. Для этого в существующую систему были введены датчики расхода сжатого воздуха (счетчики электрической энергии в системе уже использовались). Используя программу верхнего уровня диспетчера компрессорной станции и микропроцессорный контроллер фирмы METACENTRE, на который поступал сигнал с датчика расхода сжатого воздуха, мы установили контроль удельного расхода электроэнергии. В результате полученных данных было выявлено значительное превышение удельного расхода электроэнергии на выработку 1 м³ сжатого воздуха (0,17 кВт·ч/м³ при норме 0,115 кВт·ч/м³). На основе полученных данных были проанализированы причины ухудшения энергоэффективности работы компрессорной станции. Оперативно принятые решения по текущему ремонту и замене оборудования компрессорной станции позволили снизить удельный расход электроэнергии до оптимального значения.

Заключение. Автоматизированная система способна обеспечивать подачу потребителям необходимого количества сжатого воздуха при минимально возможных энергетических затратах, что позволяет экономить до 25 % электрической энергии по сравнению с традиционными каскадными системами управления компрессорными станциями.

Использование функций управления выработкой сжатого воздуха и контроля удельного расхода электрической энергии на выработку 1 м³ сжатого воздуха позволяет проводить анализ эффективности работы компрессорного агрегата и компрессорного хозяйства в целом.

Благодарность. Авторы признательны А.Л.Карякину, доктору технических наук, заведующему кафедрой; В.Н.Макарову, доктору технических наук, заведующему кафедрой ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», за оказанное содействие в проведении аналитических исследований; С.Г.Хронусову, генеральному директору ООО «Энергетическая многопрофильная производственно-инжиниринговая компания (Эмпико)», за практические исследования и внедрение материалов статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анхимюк В.Л. Теория автоматического управления / В.Л.Анхимюк, О.Ф.Олейко, Н.Н.Михеев. Минск: Дизайн ПРО, 2000. 351 с.
2. Миняев Ю.Н. Техническая реализация реинжиниринга рудничных компрессорных установок / Ю.Н.Миняев, А.В.Угольников, В.В.Молодцов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 2. С. 325-329.
3. Миняев Ю.Н. Энергоаудит. Модернизация компрессорно-воздушного хозяйства промышленных предприятий. Екатеринбург: НПО «Радикал», 2006. 154 с.
4. Миняев Ю.Н. Энергосбережение при производстве и распределении сжатого воздуха на промышленных предприятиях. Екатеринбург: Изд-во УГТГА, 2002. 131 с.
5. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. 504 с.
6. Хронусов Г.С. Формирование эффективных режимов электропотребления промышленных предприятий. Екатеринбург: Изд-во УГТГА, 1998. Ч. 1. 339 с.
7. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие / Под ред. Л.Д.Богуславского и В.И.Ливчака. М.: Стройиздат, 1990. 624 с.
8. Commissioning of Electromechanical Confession Models for High-Dynamic PMSM Drives / S.Bolognani, L.Peretti, M.Zigliotto, E.Bertotto // IEEE Trans. on Industrial Electron. 2010. Vol. 57. N 3. P. 986-993.
9. De Souza G. Real Time Optimization (RTO) with Model Predictive Control (MPC) / Glaucio De Souza, Darci Odloak, Antonio C.Zanin // Computer Aided Chemical Engineering. 2009. Vol. 27. P. 1365-1370.
10. Dougherty D. A practical multiple model adaptive strategy for single-loop MPC Original Research / Danielle Dougherty, Doug Cooper // Control Engineering Practice. 2003. Vol. 11. Iss. 2. P. 141-159.
11. Feuiillete D. Introduction du SPC (Statistical process control) sur le train a bandes de Sollac Florange / D.Feuiillete, J.P.Amet // Rev. Met. 1988. Vol. 85. № 4. P. 325-330.
12. Maciejowski J.M. Predictive control with constraints. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 2002. 290 p.
13. Muske K.R. Model predictive control with linear models / K.R.Muske, J.B.Rawlings // A.I.C.H.E. Journal. 1993. Vol. 39. N 2. P. 262-287.
14. Nonlinear predictive control. Theory and practice / B.Kouvaritakis, M.Cannon (Eds.). London: The IEE, 2001. P. 413-428.

Авторы: А.В.Угольников, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, ugolnikov@yandex.ru (Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия), Н.В.Макаров, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, gmf.gm@ursmu.ru (Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия).

Статья поступила в редакцию 08.06.2018.

Статья принята к публикации 24.06.2018.