

the speed of the engine 3 m/s and mass of structure $5 \cdot 10^4$ kg the difference of biases is equal to 1,3% that makes 9,35% of the maximum absolute value of the bias corresponding to a disk brake with a homogeneous disk.

References

1. Проців В.В. Формування динамічної моделі шахтного шарнірно-зчленованого локомотива, що рухається в режимі гальмування [Текст] / В.В. Проців // Наук. вісн. НГУ. – 2009. – № 4. – С. 76–83.
2. Таран І.А. Математическая модель движения рудничного локомотива в условиях торможения [Текст] / И.А. Таран // Вибрации в технике и технологиях. – 1999. – № 3 (12). – С. 47–49.
3. Дерюгин О.В. Динамическая модель шахтного локомотива с упруго-вязкими продольными связями в ходовой части [Текст] / О.В. Дерюгин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1998. – №3. – С. 92–93.
4. Сердюк А.А. Разработка математической модели торможения шахтного локомотива дисковым тормозом [Текст] / А.А. Сердюк, А.Г. Моця // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ: НГУ, 2002. – Вип. 69. – С. 127–132.
5. Моця А.Г. Выбор рациональных параметров дискового тормоза шахтного локомотива с многосекторным тормозным диском [Текст] / А.Г. Моця // Гірн. електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 71. – С. 75–82.
6. Проців В.В. Экспериментальное определение характеристик сцепления шахтного локомотива в режиме торможения [Текст] / В.В. Проців, А.Г. Моця // Геотехн. механіка: міжвід. зб. наук. праць. – 2002. – Вип. 40. – С. 231–236.
7. Моця А.Г. Интегрирование дифференциального уравнения теплопроводности для определения тепловой нагрузки дискового тормоза шахтного локомотива [Текст] / А.Г. Моця // Наук. вісн. НГУ. – 2012. – № 3. – С. 86–91.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Шкрабцем Ф.П.

УДК: 621.3.078.4: 621.512

А.В. Бобров, А.М. Романовский канд-ты техн. наук

(Украина, Днепр, колледж ракетно-космического машиностроения Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ – ПРИВОД – КОМПРЕССОР – ПНЕВМОСЕТЬ»

Анотація. В роботі проведено аналіз результатів моделювання математичної моделі, що дозволяє визначати оптимальний режим роботи системи виробництва і розподілу стислого повітря, що складається з наступних елементів "електрична мережа - привод - компресор - пневмосеть". Проведений аналіз показав, що запропонований варіант регулювання з «плаваючим» верхнім рівнем тиску забезпечує скорочення витрат електричної енергії, споживаної розглянутою електромеханічною системою. У зіставленні з класичним двопозиційним регулюванням, економія досягається в межах 1...13% в залежності від значень витрати стислого повітря, споживаного пневмоприймачами..

Ключові слова: електропривод, регулювання, компресор, електромеханічна система.

Аннотация. В работе проведен анализ результатов моделирования математической модели, позволяющей определять оптимальный режим работы системы производства и распределения сжатого воздуха, состоящей из следующих элементов "электрическая сеть – привод – компрессор – пневмосеть". Проведенный анализ показал, что предлагаемый вариант регулирования с «плавающим» верхним уровнем давления обеспечивает сокращение расхода электрической энергии, потребляемой рассматриваемой электромеханической системой. В сопоставлении с классическим двухпозиционным регулированием, экономия достигается в пределах 1...13% в зависимости от значений расхода сжатого воздуха, потребляемого пневмоприемниками.

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

Abstract. The paper analyzes the results of modeling a mathematical model that allows to determine the optimal mode of operation of the production and distribution of compressed air, consisting of the following elements "electrical network - drive - compressor - pneumatic network". The analysis showed that the proposed control option with a "floating" upper pressure level ensures a reduction in the consumption of electrical energy consumed by the electromechanical system under consideration. In comparison with the classical two-stage regulation, savings are achieved within 1...13%, depending on the values of the compressed air consumption consumed by the pneumatic receivers.

Keywords: electric drive, control, compressor, electromechanical system.

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

Повышения энергоэффективности системы “электрическая сеть – компрессор – пневмосеть” в целом можно достичь, выполнив “плавающим” верхний уровень давления. В работе [1] введен критерий экономичности для системы управления и определения значения верхнего уровня давления на одном цикле накачки спуска давления – КПД. Обоснование этого энергетического показателя базируется на выяснении зависимостей между различными показателями элементов всей системы, определении наиболее весомых, с точки зрения потерь энергии, элементов электромеханической системы, а также взаимосвязи между ними.

Для решения ранее [2] сформулированной задачи оптимизации разработана цифровая математическая модель. При создании модели были приняты допущения, описанные в [3], учитывающие цель моделирования – получение оптимального значения максимального верхнего уровня давления в пневмосистеме, соответствующего максимуму целевой функции (КПД) при различных фиксированных расходах сжатого воздуха пневмоприемниками. Полученные значения могут быть реализованы в системе регулирования производства сжатого воздуха с определенной точностью (до 10% от расчетных значений). Рассмотрим полученные результаты моделирования для электромеханических систем с классическим двухпозиционным управлением и двухпозиционным управлением с оптимальным верхним уровнем давления.

Постановка задачи. Ранее в [4] работе были определены оптимальные параметры модели электромеханической системы «электрическая сеть – привод – компрессор – пневмосеть». Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Зависимость потребления электроэнергии энергии электромеханической системой за один час, при различных методах управления.

Классическое двухпозиционное управление, кВт·ч	Двухпозиционное управление с оптимальным верхним уровнем, кВт·ч	Разница в процентах	Классическое двухпозиционное управление, кВт·ч	Двухпозиционное управление с оптимальным верхним уровнем и ограничениями по количеству пусков, кВт·ч	Разница в процентах
94,7	86,5	8,66%	94,7	94,7	0,00%
100,3	95,9	4,39%	100,3	100,3	0,00%
105	96,4	8,19%	105	104,2	0,76%
111,2	101,2	8,99%	111,2	109,8	1,26%
116,8	108,7	6,93%	116,8	113,5	2,83%
122,1	113,5	7,04%	122,1	117,5	3,77%
128,1	118,2	7,73%	128,1	121,5	5,15%
134,1	123,6	7,83%	134,1	125,5	6,41%
140,5	129,2	8,04%	140,5	129,2	8,04%
147,7	130,7	11,51%	147,7	132,8	10,09%
157	135,8	13,50%	157	135,8	13,50%

Проведем анализ полученных результатов с энергетической точки зрения.

Решение задачи. При сравнении значений количества электроэнергии, потребляемой электромеханической системой за один час, с классическим двухпозиционным управлением и двухпозиционным управлением с оптимальным верхним уровнем давления видно, что экономия электроэнергии составляет от 0,76% до 13,50% для различного расхода сжатого воздуха. Четко прослеживается тенденция: с увеличением потребления сжатого воздуха пневмоприемниками возрастает разница между этими двумя методами управления. Это объясняется тем, что интервал накачки при больших расходах сжатого воздуха гораздо (до 10 раз) больше периода снижения давления в пневмосистеме, а значит большая часть потерь энергии в электромеханической системе происходит именно на интервале накачки давления. Поэтому при использовании оптимального верхнего уровня давления существенно снижаются как продолжительность повышения давления в пневмосистеме, так и потери энергии в электромеханической системе, в целом.

При сравнении значений количества электроэнергии, потребленной при классическом двухпозиционном управлении и двухпозиционном с оптимальным верхним уровнем давления и ограничениями по количеству пусков видно, что при малых расходах сжатого воздуха в силу вступает ограничение, а при больших – увеличивается экономия электроэнергии. Объясняется это тем, что время цикла увеличения – снижения давления переменное. Чем выше расход сжатого воздуха, тем больше время цикла и меньше количество пусков приводного двигателя в час. Соответственно, справедливо и обратное утверждение. Следует отметить, что система управления электропотреблением при использовании оптимального верхнего уровня давления выходит за границы установленных ограничений (по количеству пусков). Она определяет такое значение верхнего предела давления, при котором наиболее полно используется допустимое количество пусков поршневой компрессорной установки в час.

В результате реализации разработанной математической модели получены оптимальные значения максимального верхнего уровня давления в пневмосистеме P_{maxopt} , соответствующего максимуму целевой функции (КПД), при различных фиксированных расходах сжатого воздуха пневмоприемниками $Q_{\text{потр}}$ в установленных ограничениях.

Для адекватной оценки полученных результатов моделирования необходимо произвести расчеты параметров электромеханической системы для различных типов воздушных поршневых компрессорных установок с асинхронным приводом с различной производительностью, рассчитанными на уровень давления в пневмосистеме до 8 атм.

Выводы. Предлагаемый вариант регулирования с «плавающим» верхним уровнем давления обеспечивает сокращение расхода электрической энергии, потребляемой рассматриваемой электромеханической системой. В сопоставлении с классическим двухпозиционным регулированием, экономия достигается в пределах 1...13 % в зависимости от значений расхода сжатого воздуха, потребляемого пневмоприемниками. Предложенный метод управления электропотреблением, заключающийся в непрерывном измерении расхода сжатого воздуха, потребляемого пневмоприемниками, на участке накачки давления в каждом цикле управления и установлении расчетного оптимального значения максимального уровня давления в пневмосистеме, соответствующего максимальному КПД комплекса, реализует оптимальные параметры режима работы электромеханической системы.

Перечень ссылок

1. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров. Технічна електродинаміка.-№3.-2004.-с.70-71.
2. Бобров О.В. Управление электроприводом компрессорной установки на основе определения КПД электротехнического комплекса / О.В. Бобров // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Наук.-виробн. журнал. –Кременчук: КНУ, 2011.-Вип. 4. (16). – С. 124.
3. Бобров А.В., Безкровный В.О. Допущения и ограничения в расчете КПД электромеханической системы «электрическая сеть – привод – компрессор – пневмосеть» / Бобров А.В., Безкровный В.О. // Молодь: наука та інновації 2016: 4-та Всеукраїнська науково-практична конференція. (6-7 грудня 2016 р., Дніпро): тез. Доп. / М-во освіти і науки України ; Нац. Гірн. Ун-т.; ПНЦ НАН України – Д., 2016. – С.11-8 – 11-10.
4. Бобров О.В. Результати досліджень енергоефективного режиму роботи електромеханічної системи виробництва та розподілу стислого повітря / О.В. Бобров, С.І. Випанасенко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2. (26). – С. 85 – 90.

Рекомендовано к печати: к-том техн. наук, доц. Цыленковым Д.В.

УДК 62-83

В.А. Волков, канд. техн. наук

(Украина, Днепр, Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет")

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОВЫМИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМИ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ТРАМВАЯ

Анотація. Розроблено та досліджено енергозберігаюче керування тяговими частотно-регульованими асинхронними двигунами трамвая, яке забезпечує мінімізацію загальних втрат енергії в цих двигунах при пуско-гальмівних режимах і найменше енергоспоживання трамвая в сталих режимах роботи. Отримано розрахункові аналітичні залежності для коефіцієнта корисної дії рушійного механі-