

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ШКОЛА – РЕГИОНАМ»**

---

28-29 апреля 2014 года

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

УДК 62-523

**РАЗРАБОТКА «ЗАДАНИЯ ЗАВОДУ-ИЗГОТОВИТЕЛЮ» НА ПРОИЗВОДСТВО  
НЕСТАНДАРТНОГО ЩИТА УПРАВЛЕНИЯ**

Садовский Е. П., Садовников М. Е.

Научный руководитель Садовников М. Е., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Целью данной работы является рассмотрение методики выполнения «задания заводу-изготовителю» на производство нестандартного щита управления насосами и вентиляторами котельной. В работе предложено спроектировать щит с использованием оболочки и комплектующих фирмы Rittal [2].

Первым этапом проектирования являлся выбор основной пускорегулирующей аппаратуры и её размещение с учетом конструктивных особенностей аппаратов, возможности обеспечения монтажа и удобства эксплуатации. На размещение аппаратов в шкафу так же повлиял допустимый минимальный радиус изгиба входящих и отходящих кабелей. Размещение электроаппаратов выполнено так, чтобы кабели в шкафу имели минимальное количество изгибов.

Для питания цепей управления в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007 «Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов» [1] принят разделительный трансформатор, для обеспечения напряжения питания цепей управления шкафа ~24 В, 50 Гц.

Второй этап проектирования заключался в определении габаритных размеров шкафа с учетом количества аппаратов их монтажных зон и количества выделяемого тепла при работе. Исполнение шкафа по степени защиты от внешних воздействий принимается в соответствии с требованиями ПУЭ, для пожароопасной зоны П-I, не ниже IP44. Поскольку в оболочке шкафа кроме контакторов будут размещены преобразователи частоты [4], выделяющие большое количество тепла, был произведен тепловой расчет необходимой величины охлаждающей поверхности шкафа [3]. В ходе выполнения теплового расчета было определено, что фактической площади охлаждающей поверхности выбранного шкафа недостаточно для нормального отведения тепла. В связи с этим для поддержания рабочей температуры появилась необходимость в принудительной вентиляции шкафа.

От правильного выбора шкафных вентиляторов зависит не только эффективность охлаждения внутренностей шкафа, но и уровень шума. Процесс выбора шкафного вентилятора заключался в расчете его требуемой производительности и его подбора из стандартного ряда вентиляторов. В качестве схемы движения воздуха в шкафу принята вентиляция с вытеснением. При такой схеме воздух подаётся в нижнюю рабочую зону, затем конвекционными потоками поднимается вверх, поглощая в себя избыток теплоты, и удаляется из верхней зоны через выходной фильтр. При выборе вентилятора и фильтра была учтена степень защиты шкафа от внешних воздействий.

На третьем этапе проектирования были размещены органы управления на дверях шкафа. При размещении органов управления учитывались следующие требования ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007:

Легкодоступность в процессе работы и при обслуживании;

Размещение органов управления таким образом, чтобы свести к минимуму возможность их повреждения при работе или обслуживании;

Размещение органов управления на высоте над уровнем рабочей площадки не менее 0,6 м;

Размещение органов управления не должно создавать опасных ситуаций для оператора во время управления.

Цвета толкателей кнопочных выключателей приняты в соответствии с требованиями НТД, для толкателей кнопок «Пуск» зеленый цвет, для толкателей «Стоп» черный. Световые индикаторы на двери шкафа служащие для предоставления информации о подтверждении команды, приняты голубого цвета.

Для аварийного прекращения работы электроприемников котельной на двери шкафа размещена кнопка «Аварийный останов». К данным устройствам применяются следующие требования со стороны ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007:

Устройства аварийной остановки должны быть легкодоступными;

Должны устанавливаться на каждом пульте управления и в других местах, откуда может инициироваться аварийная остановка.

В качестве устройства аварийной остановки принят кнопочный выключатель с толкателем в форме грибка красного цвета с фиксацией во включённом состоянии и возвратом поворотом, поверхность вокруг кнопки «Аварийной остановки» принята желтого цвета.

На последнем этапе работы была разработана таблица внутренних соединений шкафа, в которой отражены электрические соединения между техническими устройствами шкафа; выполнен чертеж общего вида шкафа, составлена спецификация шкафа.

Совокупность подготовленных документов позволяет выполнить по ним сборку шкафа сторонней организацией.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007. Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования: ввод в действие с 01.07.2007. – М.: Стандартинформ, 2008.
2. Технический каталог 2014/2015 Rittal - The System. Системы линейных шкафов TS.
3. Техническая коллекция Schneider Electric. Выбор устройств плавного пуска Altistart и преобразователей частоты Altivar. Выпуск № 26, июнь 2009.
4. Технический каталог Schneider Electric. Преобразователи частоты Altivar 61.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Осипов П. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Повышение производительности одноковшовых экскаваторов связано с контролем основных технологических показателей в процессе работы. Вычисление показателей работы в режиме реального времени обеспечивает обратную связь между машинистом и процессом экскавации. Для этого экскаватор оснащают информационной системой, одним из основных показателей в которой является масса горной породы в ковше. Измерение массы возможно средствами электропривода на основе косвенных методов измерения [1] и математического описания электромеханического комплекса экскаватора.

Современные карьерный экскаватор ЭКГ-18 машиностроительной корпорации «Уралмаш» оснащен информационной системой, в процессе создания которой возникла задача построения модели электромеханических комплексов.

**Постановка задачи.** Моделирование электромеханических комплексов карьерных экскаваторов производится с целью определения массы горной породы в ковше, пропорциональной усилию в подъемном канате. Усилие в подъемном канате вычисляется через электромагнитный момент электропривода механизма подъема ковша.

Электропривод механизма подъема ковша снабжен векторной системой управления, из которой поступают входные переменные для расчёта электромагнитного момента. Электромагнитный момент электродвигателей механизма подъема ковша необходимо вычислять в процессе операции поворота на разгрузку, когда частота вращения двигателя близка к нулю в режиме удержания ковша, и поворота в забой, когда двигатель работает на номинальной частоте вращения при опускании ковша. Выходные сигналы электропривода поступают с интервалом дискретизации по времени  $20 \cdot 10^{-3}$  с:  $i_{s\alpha}$ ,  $i_{s\beta}$  – проекция вектора тока статора на прямую ось  $\alpha$  и квадратурную ось  $\beta$ ;  $\omega_r$ ,  $\omega_s$  – угловая частота вращения ротора и поля статора.

**Математические модели электропривода переменного тока.** В целях повышения точности вычисления электромагнитного момента в динамических режимах работы электропривода математическое описание асинхронного двигателя выполняется в пространственных векторах в системе координат  $d-q$  и  $\alpha-\beta$ . Запишем матричные дифференциальные уравнения математической модели АДКР с учётом насыщения магнитопровода в системе координат  $\alpha-\beta$  [2] и условий постановки задачи:

$$\begin{aligned} 0 &= p \mathfrak{E}_r + (\omega_k - \omega) \mathbf{B} \mathfrak{E}_r + \mathbf{R}_r \mathbf{I}_r; \\ \mathfrak{E}_r &= \mathfrak{E}_m + \mathbf{L}_{r\sigma} \mathbf{I}_r; \\ \mathfrak{E}_m &= \mathbf{F}_m \mathbf{I}_m; \\ \mathbf{I}_m &= \mathbf{I}_s + \mathbf{I}_r; \\ m &= \mathbf{B} \mathfrak{E}_m \cdot \mathbf{I}_s. \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\mathbf{I}_r = [i_{r\alpha}, i_{r\beta}]^T$ ,  $\mathbf{I}_m = [i_{m\alpha}, i_{m\beta}]^T$  – векторы проекций пространственного вектора тока ротора

и тока намагничивания;  $\mathfrak{E}_r = [\mathfrak{E}_{r\alpha}, \mathfrak{E}_{r\beta}]^T$ ,  $\mathfrak{E}_m = [\mathfrak{E}_{m\alpha}, \mathfrak{E}_{m\beta}]^T$  – вектор проекций

пространственного вектора потокосцепления ротора и главного потокосцепления;  $\mathbf{R}_r = r_r \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{L}_{r\sigma} = L_{r\sigma} \mathbf{E}$  – диагональные матрицы сопротивления ротора, приведённого к статору, индуктивности рассеяния ротора;  $\mathbf{F}_m^{-1}$  – нелинейный оператор, связывающий вектор главного потокосцепления с вектором результирующих намагничивающих токов;  $m$ ,  $m_c$  – электромагнитный момент асинхронного двигателя и момент сопротивления;  $\omega$ ,  $\omega_k$  – угловая частота вращения ротора и системы координат в электрическом пространстве;  $\mathbf{B} = [0 \ -1; 1 \ 0]$  – матричный коэффициент.

Определим диагональную матрицу сопротивления ротора и индуктивности рассеяния ротора

$$\mathbf{R}_r = r_r \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = 0,00897 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{L}_{r\sigma} = l_{r\sigma} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = 0,203 \cdot 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Нелинейный оператор связи вектора главного потокосцепления с вектором результирующих намагничивающих токов рассчитывается в виде коэффициента для значений модуля вектора главного потокосцепления

$$\mathbf{F}_m^{-1} = 1/l_m. \quad (3)$$

Определим индуктивность взаимоиндукции по данным характеристики холостого хода

$$l_m = \frac{U_{x.x.}}{I_{x.x.} \cdot (2\pi f)} = \frac{640}{\sqrt{3} \cdot 158,33 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 57} = 6,516 \text{ мГн}. \quad (4)$$

Рассчитанное значение индуктивности взаимоиндукции при номинальном напряжении отличается от номинального значения индуктивности взаимоиндукции. Поэтому, рассчитанные значения индуктивности взаимоиндукции в других точках холостого хода будут корректироваться с учётом погрешности в точке холостого хода при номинальном напряжении.

Определим значения главного потокосцепления по данным характеристики холостого хода

$$\psi_m = \frac{3}{2} \sqrt{2} \cdot l_m \cdot I_{x.x.}. \quad (5)$$

Определим аналитический вид характеристики намагничивания ( $l_m$ )= $f(\psi_m)$  с помощью интерполяции полиномом 3-го порядка (рисунок 1)

$$l_m = -0,0004 \cdot \psi_m^3 + 0,0021 \cdot \psi_m^2 - 0,0033 \cdot \psi_m + 0,0081. \quad (6)$$

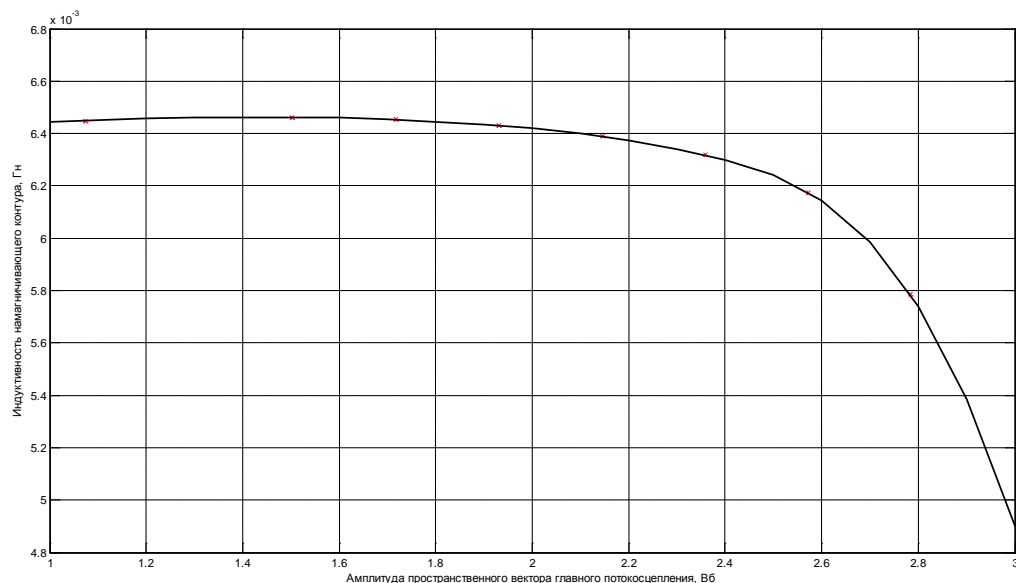


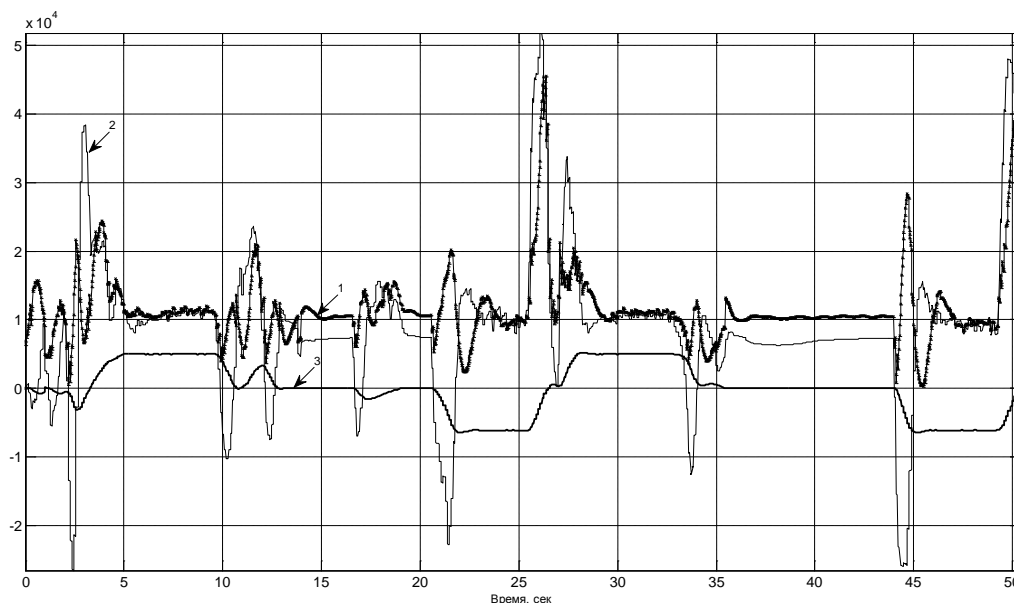
Рисунок 1 – Обратная кривая намагничивания двигателя АДРЭ-С 600-8 УХЛ2

При ориентации вращающейся системы координат  $\alpha$ - $\beta$  по вектору потокосцепления ротора математическое описание (1) может быть представлено в виде [3]:

$$\begin{aligned} p\psi_r &= \frac{1}{T_r} (L_m i_{s\alpha} + \psi_r); \\ m &= \frac{3}{2} p \Gamma k_r \psi_r i_{s\beta}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $T_r = L_r/R_r$  – электромагнитная постоянная времени ротора;  $k_r = L_m/L_r$  – коэффициент электромагнитной связи ротора;  $L_m$  – индуктивность намагничивающего контура;  $L_r$  – индуктивность ротора.

**Оценка погрешности математических моделей электропривода переменного тока.** Из графика механического момента (рисунок 2) следует, что среднее значение механического момента в процессе удержания ковша на нулевой частоте вращения отличаются от среднего значения механического момента при установившейся частоте вращения на 5 % для метода с произвольной ориентацией системы координат и 33 % для метода с ориентацией по вектору потокосцепления ротора.



1 – при произвольной ориентации системы координат  $\alpha\text{-}\beta$ , Нм; 2 – при ориентации системы координат  $\alpha\text{-}\beta$  по вектору потокосцепления ротора, Нм; 3 – угловая частота вращения ротора

Рисунок 2 – Механический момент электропривода механизма подъёма ковша

**Заключение.** Применение векторно-матричной математической модели с ориентацией по вектору потокосцепления ротора для вычисления электромагнитного момента характеризуется высокой погрешностью в зоне низких частот вращения ротора, которая составляет более 30 %. Метод вычисления электромагнитного момента с произвольной ориентацией вращающейся системы координат  $\alpha\text{-}\beta$  учитывает изменение скольжения в области низких частот и обладает погрешностью 5 % в зоне низких частот вращения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карякин А. Л. Метод измерения статического тока электропривода // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2002. № 2.
2. Поляков В. Н. Экстремальное управление электрическими двигателями / В. Н. Поляков, Р. Т. Шрейнер; под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р. Т. Шрейнера. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006.
3. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.
4. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000.

## УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ГОЛОВНОЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СТАНЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА

Симонов И. А., Карякин А. Л.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

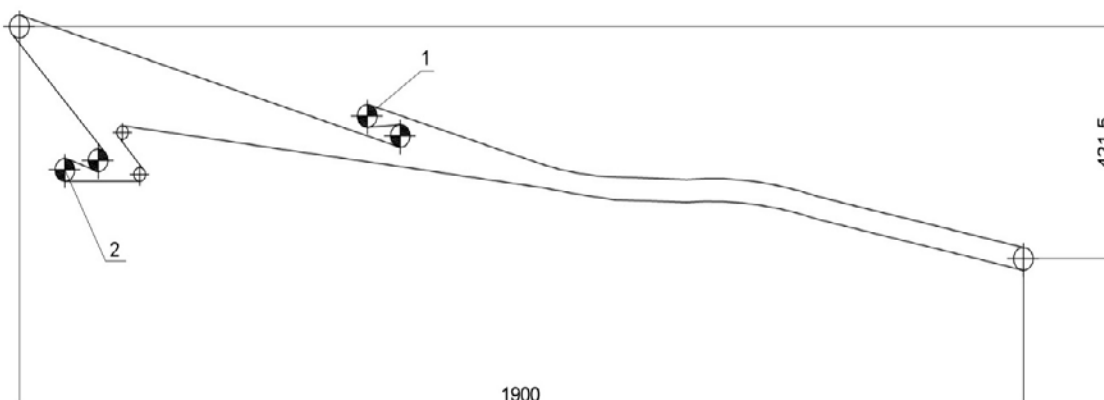
Развитие горнодобывающей промышленности влечёт за собой увеличение использования конвейерного транспорта и удлинение конвейеров до нескольких километров (магистральные конвейеры).

В процессе эксплуатации магистральных конвейеров возникают сложности.

Для длинных конвейеров применяют несколько приводных станции, находящихся на значительном расстоянии друг от друга. Одной из проблем в ходе эксплуатации, в рассматриваемых конвейерах, является управление электроприводами головной и промежуточной станции во время пуска.

Конвейер рассматривается как многомассовая механическая система с упругими связями [1-4].

К рассмотрению был принят существующий магистральный конвейер, со средним углом наклона  $12^\circ$ , резиновой лентой шириной 1200 мм, длиной 1900 м и двумя регулируемыми приводными станциями (номинальная мощность каждой 1400 кВт). На рисунке 1 приводится схема конвейера.



1 – головная станция; 2 – промежуточная станция

Рисунок 1 – Схема магистрального конвейера

Расчёт математической модели конвейера производился для загруженного конвейера. Для расчёта модели были взяты реальные данные конвейера.

В качестве целей исследования ставились задачи:

1. Минимизация разности загрузки приводных станций;
2. Сокращение напряжения в ленте конвейера.

Моделирование производилось в программе Matlab, пакет Simulink.

Исследования показали, что для решения выше поставленных задач, запуск приводных станций (головной и промежуточной) магистрального конвейера в загруженном состоянии необходимо производить в разные моменты времени.

Это связано с такими показателями как:

1. Скорость распространения динамической волны в ленте рассчитывается [5]:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}};$$

где  $E$  – модуль упругости ленты, Н/м;  $\rho$  – плотность ленты, кг/м<sup>3</sup>.

2. Загрузка конвейера.
3. Время выбора зазоров в редукторе двигателя.
4. Конструктивные особенности конвейера.

По результатам исследования был построен график зависимости времени задержки пуска промежуточной станции относительно головной от интенсивности разгона приводных станций (рисунок 2).

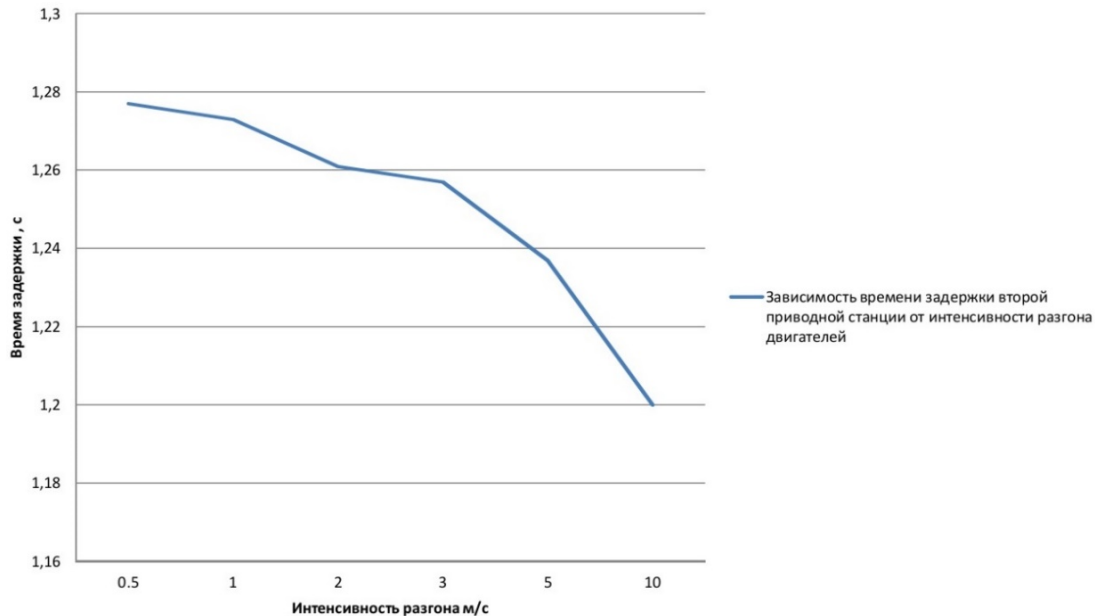


Рисунок 2 – График зависимости интенсивности разгона от времени задержки

Из выше представленного рисунка видно, что при увеличении скорости разгона необходимо уменьшать время задержки пуска одной станции относительно другой.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Ключев В. И. Теория электропривода: учеб. для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.
2. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями. – Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1979. 160 с.
3. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов: учебник для студентов высших учебных заведений. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. 304 с.
4. Лукас В. А. Теория автоматического управления: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. 416 с.
5. Запенин И. В., Бельфор В. Е., Селищев Ю. А. Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров. – М.: Недра, 1969.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

Зебзеева Ю. П.

Научный руководитель Матвеев В. В., канд. техн. наук  
ФГБОУ ВПО 2Уральский государственный университет<sup>2</sup>

Электротехнические комплексы и системы при хранении, транспортировании и эксплуатации подвергаются воздействиям *климатических факторов внешней среды* (далее КФВС). Этими факторами являются: температура, влажность воздуха, давление воздуха или газа (высота над уровнем моря), солнечное излучение, дождь, содержание в воздухе коррозионно-активных агентов и другие. С целью идентификации воздействий осуществлено климатическое районирование территории и определены критерии их разграничения. Типы климатов характеризуются значениями температуры, абсолютной, относительной влажности и их совокупностью<sup>1</sup> [1].

При естественно изменяющихся и неизменных воздействиях КФВС электротехнические комплексы и системы должны сохранять свои параметры в пределах значений, указываемых в технических заданиях, технических условиях и эксплуатационных документах, в виде сроков службы и сохраняемости. Такими являются нормальные, номинальные и эффективные параметры, каждое из которых имеют свои предельные и рабочие значения. Они служат основанием для применения соответствующих видов климатического исполнения.

*Номинальные значения* приводят в технических заданиях, стандартах или технических условиях. Они нормируют значения КФВС, в пределах которых обеспечивается нормальная эксплуатация конкретных видов изделий.

*Нормальные значения* характеризуют естественно изменяющиеся условия эксплуатации, хранения и транспортирования в пределах определенной климатической зоны с учетом места размещения изделия.

*Рабочие значения* указывают пределы значений естественно изменяющихся и неизменных КФВС, в которых обеспечивается сохранение требуемых номинальных параметров и сроков службы изделий.

*Предельные рабочие значения* указывают диапазон значений КФВС, при которых чрезвычайно редко и в течение длительного промежутка времени изделия могут оказаться и при этом сохранить работоспособность, способность к восстановлению номинальных параметров.

*Эффективные значения* являются условными постоянными. Их принимают при расчетах номинальных параметров изделий, влияющих на срок службы и сохраняемости. Эффективные значения факторов внешней среды (температура  $T_э$ , относительная влажность воздуха  $\eta$ , и концентрация агрессивных газообразных сред  $C_э$ ) применяют при определении параметров изделий, изменение которых вызываются сравнительно длительными процессами (старения, диффузии водяных паров, коррозии и других). Значения можно вычислить по формулам:

$$T_э = \frac{-B}{2,303 \cdot (\lg \sum_{K_n} e^{-B/T_n} - \lg K_n)},$$

---

<sup>1</sup> ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: Стандартинформ, 2010. 72 с.



$$\eta_{\text{э}} = 10^{\frac{1}{n} [\lg \sum_{K_{\text{э}}} \exp(-B/T_H) \cdot \eta_H^n + \frac{B}{T_{\text{э}}} - \lg K_H]} ,$$

$$C_{\text{э}} = 10^{\frac{1}{m} [\lg \sum_{K_H} e^{-B/T_H \cdot \eta_H^n \cdot C_H^m - n \cdot \lg \eta_{\text{э}} + \frac{B}{2,303 \cdot T_{\text{э}}} - \lg K_H]} } ,$$

где  $K_H$  – количество значений данного воздействующего фактора или сочетаний факторов при периодических наблюдениях;  $B, n, m$  – постоянные коэффициенты, зависящие от природы материала и условий применения, определяемые экспериментально для конкретного материала или изделия;  $T_H$  (К),  $\eta_H$  (%),  $C_H$  (г/м<sup>3</sup> или %) - значения, полученные при данном наблюдении в естественных условиях.

Срок службы и сохраняемости определяется:

$$L = A \cdot e^{\frac{B}{T}} \cdot \eta^{-n} \cdot C^{-m} ,$$

где  $T$  – температура, К;  $\eta$  – относительная влажность воздуха, %;  $C$  – концентрация агрессивной среды воздуха, г/м<sup>3</sup> или %.

Климатическое исполнение изготовитель описывает буквенно-цифровыми обозначениями (рисунок 1).



Рисунок 1 – Буквенно-цифровое обозначение изделия

Определение вида климатического исполнения осуществляется на основе классификации макроклиматических районов и климатов, а категории с учетом мест размещения.

При разработке и производстве электротехнических изделий изготовители должны определить области значений климатических факторов, в пределах которых допускается их применение.

При проектировании электротехнических комплексов, систем необходимо учитывать установленное изготовителем климатическое исполнение электротехнических компонентов, условия размещения и допустимые отклонения.

## ИМПУЛЬСНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДРОССЕЛЯ

Лобович К. В., Маругин А. П.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Источники вторичного электропитания, построенные по традиционной схеме (трансформатор, выпрямитель, сглаживающий фильтр и стабилизатор) просты в исполнении, имеют низкий уровень электромагнитного излучения. Однако они рассеивают значительную мощность, имеют большие массу и габариты.

Значительно больший КПД обеспечивают схемы, в которых регулирующим элементом является коммутатор (ключ), который с определенным периодом повторения  $T$  переключается из замкнутого состояния в разомкнутое и обратно. Отношение времени открытого (замкнутого) состояния ключа к периоду повторения может регулироваться. Меняя это отношение, мы можем в широких пределах регулировать среднее значение напряжения на нагрузке. Такой способ регулирования называют широтно-импульсным (широтно-импульсная модуляция - ШИМ). Последовательно с коммутатором включается фильтр нижних частот, сглаживающий пульсации выходного напряжения до допустимой величины. Такие схемы называют импульсными регуляторами. КПД импульсных источников может достигать 90 % и более.

**Преобразователь с понижением напряжения.** Схема регулятора, приведённая на рисунке 1, кроме ключа  $S$  и дросселя  $L$  содержит диод  $VD$  и конденсатор  $C$ . Когда ключ  $S$  замыкается, ток от источника течёт через дроссель  $L$  и нагрузку в течении времени  $t_u$ . Процесс открывания ключа повторяется с интервалом  $T_u$ .

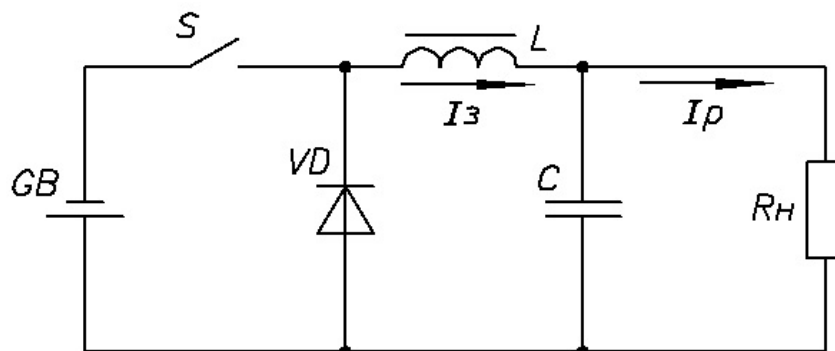


Рисунок 1 – Схема регулятора с понижением напряжения

ЭДС самоиндукции дросселя приложена обратно напряжению источника тока. В результате напряжение на нагрузке равно разности напряжения источника питания и ЭДС самоиндукции дросселя, ток через дроссель растёт, как и напряжение на конденсаторе  $C$  и нагрузке. При разомкнутом ключе  $S$  ток продолжает протекать через дроссель в том же направлении через диод  $VD$  и нагрузку, а также конденсатор  $C$ . ЭДС самоиндукции приложена к нагрузке  $R_n$  через диод  $VD$ , ток через дроссель постепенно уменьшается, как и напряжение на конденсаторе  $C$  и на нагрузке.

Изменяя ширину импульса, т. е. величину коэффициента заполнения периода повторения импульсов, можно получать на выходе ШИП различные значения среднего напряжения на нагрузке, которое всегда меньше напряжения источника питания.

**Преобразователь с повышением напряжения.** Схема преобразователя с повышением напряжения приведена на рисунке 2. В этом преобразователе ключ установлен после дросселя. Когда ключ замкнут, ток от источника протекая через дроссель  $L$ , увеличивается при этом в нём накапливается энергия. При размыкании ключа ток от источника течёт через дроссель  $L$ , диод  $D$  и нагрузку.

Напряжение источника и ЭДС самоиндукции дросселя приложены в одном направлении и складываются на нагрузке. Дроссель отдаёт энергию в нагрузку и ток постепенно уменьшается. Пока ключ замкнут, нагрузка питается напряжением конденсатора  $C$ . Диод  $VD$  не даёт ему разрядиться через ключ  $S$ .

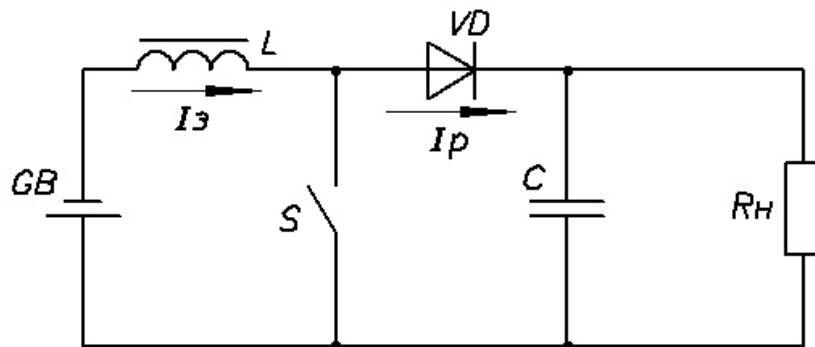


Рисунок 2 – Схема регулятора с повышением напряжения

**Инвертирующий преобразователь.** Схема инвертирующего преобразователя приведена на рисунке 3. В нём дроссель подключен параллельно источнику и нагрузке. Когда ключ  $S$  замкнут, ток от источника течёт через дроссель и в нём запасается энергия. При размыкании ключа на  $L$  возникает ЭДС самоиндукции, ток продолжает течь через нагрузку  $R$  и диод  $VD$  за счёт запасенной энергии, при этом заряжается конденсатор  $C$ . ЭДС самоиндукции дросселя приложена в обратную сторону, по сравнению с напряжением источника, поэтому напряжение к нагрузке также приложено в обратном направлении. Когда ключ  $S$  разомкнут — диод  $VD$  закрывается и нагрузка питается зарядом конденсатора  $C$ .

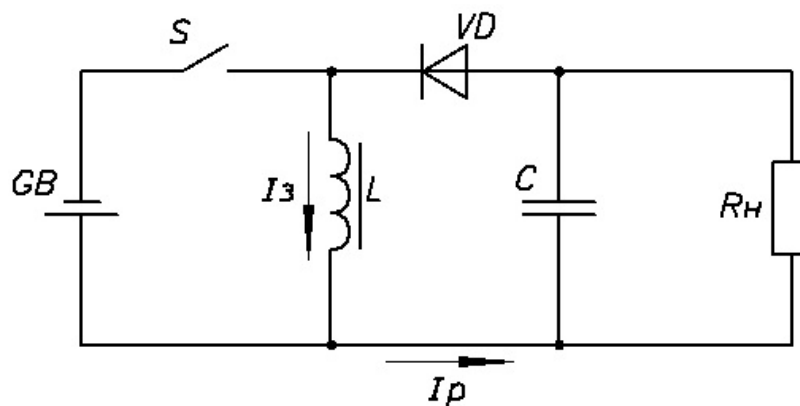


Рисунок 3 – Схема инвертирующего регулятора напряжения

Во всех трёх схемах диод  $VD$  может быть заменён на ключ, замыкаемый в противофазе к основному ключу. Во многих случаях, особенно в низковольтных стабилизаторах, это позволяет увеличить КПД.

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ СО ЗВЕНОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Кобанцев Д. О., Васильев А. И.

Научный руководитель Маругин А. П., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Уральский горный государственный университет»

Частотный преобразователь — электронное устройство для изменения частоты электрического тока.

Преобразователь частоты служит для преобразования сетевого трёхфазного или однофазного переменного тока частотой 50(60) Гц в трёхфазный или однофазный ток, частотой от 1 до 800 Гц. А так же, для регулировки частоты вращения электрического двигателя [2].

Преобразователи частоты нужны для решения следующих стандартных проблем любого предприятия или организации:

- экономия энергоресурсов;
- увеличение срока службы технологического оборудования;
- снижение затрат на ремонтные и планово-предупредительные мероприятия;
- обеспечение оперативного управления, а также достоверного контроля за выполнением технологических процессов и т. д.

Сэкономить электроэнергию можно только в том случае, если приводной механизм что-либо регулирует или поддерживает какой-либо технологический параметр. Для экономичной работы насосов необходимо регулировать температуру, давление в сети и расход воды. У вентиляторов или дымососов следует регулировать температуру, давление воздуха и разрежение газов. У конвейера нужно регулировать его производительность. Экономичная работа станков достигается за счет регулировки скорости главного движения или подачи.

Производством преобразователей частоты занимается достаточно много фирм во всем мире. Лидеры, продукция которых характеризуется примерно одинаковыми качеством и функциональностью и высокой надежностью. Таких фирм немного— «ABB», «Danfoss», «Siemens», «Mitsubishi», «Yaskawa». Именно эти фирмы задают моду в развитии преобразовательной техники.

В нашей работе мы будем использовать маломощный частотный преобразователь фирмы «Schneider Electric». Altivar12 0.37кВт 240В 1Ф (ATV12H037M2), который подключается к однофазному напряжению питания 200/240В, 50/60 Гц и предназначен для преобразования частоты в необходимую для нормальной работы трехфазных двигателей 200/240В, диапазон регулируемой частоты 0,5-400 Гц.

Наиболее распространенной схемой силовой части инвертора является трехфазная мостовая схема (см. рисунок 1) состоящая из 6 управляемых ключей, обозначенных на рисунке цифрами 1...6. Эти ключи должны обладать двухсторонней проводимостью. В настоящее время они обычно выполняются на транзисторах, обеспечивающих протекание тока в прямом направлении от плюса напряжения  $U_{д}$  к минусу. Обратная проводимость обеспечивается включенными параллельно транзисторам диодами обратного тока. С их помощью создается цепь для протекания обратного тока в процессе коммутации транзисторов и в тормозном режиме двигателя. Управление частотой на выходе преобразователя осуществляется путем воздействия на систему управления инвертора, в которой сигнал задания частоты преобразуется в длительность сигналов управления, подаваемых на транзисторы инвертора в соответствии с установленным алгоритмом [1].

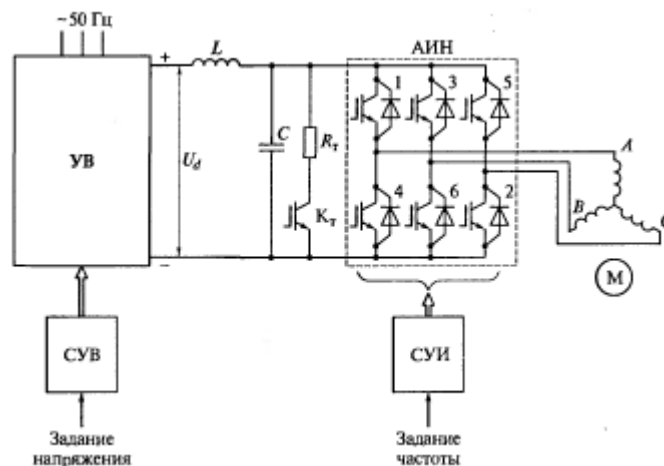


Рисунок 1 – Структурная схема преобразователя частоты

Значение амплитуды напряжения переменного тока на выходе инвертора определяется значением выпрямленного напряжения  $U_d$ , из которого формируется выходное напряжение преобразователя. Оно задается сигналом на выходе системы управления выпрямителем. В каждый момент времени замкнуты три ключа. Состояние ключей изменяется через каждую шестую часть периода, длительность которой в единицах времени определяется заданным значением частоты на выходе инвертора. Таким образом, изменение сигнала задания частоты на выходе системы управления инвертором приводит к изменению этой длительности, т.е. изменению частоты напряжения на выходе. Последовательность замыкания ключей 1-2-3-4-5-6 соответствует определенному направлению вращения двигателя. Для его изменения эта последовательность должна быть изменена на обратную. Не синусоидальность выходного напряжения приводит к не синусоидальному характеру тока в статорных обмотках и пульсациях момента двигателя. Эти пульсации особенно сильно проявляются при пониженной частоте и небольшом моменте инерции механизма, который приводится в движение приводом. Тогда они вызывают неравномерность вращения двигателя, а иногда и возникновением шагового режима, когда двигатель вращается с остановками. Поэтому в последнее время получили наибольшее распространение преобразователи частоты со звеном постоянного тока, в которых форма тока статора, близкая к синусоидальной, достигается применением инверторов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) [1].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Издательский дом «АКАДЕМИА», 2006. 265 с.
2. Маругин А. П. Элементы систем автоматики: Конспект лекций. – М.: Изд-во «УГГУ», 2006. 224 с.

## РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОСТОВЫМ КРАНОМ КМ100/20 НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

Пантелеев Ю. А., Садовников М. Е.

Научный руководитель Садовников М. Е., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Целью данной работы является модернизация системы управления и приводов мостового крана типа КМ 100/20 завода по производству масляных трансформаторов ООО «СВЭЛ – Силовые трансформаторы», состоящая в замене приводов и построении системы управления крана на базе программируемого логического контроллера.

Мостовой кран состоит из моста, вдоль которого укреплены пути для перемещения грузовой тележки. Тележка включает в себя механизм передвижения крана и двойной механизм подъема (главный и вспомогательный). Это вызвано необходимостью поднимать легкие грузы (комплектующие детали) с большей скоростью и тяжелые грузы (магнитопровод в сборе) с меньшей скоростью. Кран передвигается на ходовых колесах по подкрановым путям [1].

В результате модернизации в конструкцию системы управления (СУ) и привода крана вносятся следующие изменения:

- релейно-контакторная схема управления краном дополняется программируемым логическим контроллером (ПЛК) фирмы Schneider Electric серии Modicon M238, часть релейно-контакторной схемы исключается;
- приводные асинхронные двигатели с фазным ротором заменяются на асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором;
- в состав приводов крана включаются преобразователи частоты (ПЧ);
- устанавливаются дополнительные датчики опасного сближения крана с соседними кранами или окончанием пути и датчик веса поднимаемого груза.
- органы управления в кабине оператора заменятся на новые, включая кресло оператора, обеспечивающие, кроме всего прочего, улучшенную эргономику рабочего места;
- устанавливается система визуализации работы крана на базе панели оператора.

Модернизируемая система управления краном состоит из двух уровней:

Уровень 1. Это уровень первичных устройств сбора данных (датчиков опасного сближения крана с соседними кранами или окончанием пути и веса) и исполнительные устройства (контакторов, ПЧ приводов крана, устройств светозвуковой сигнализации и т.п.).

Уровень 2. Это уровень контроля и автоматизированного управления, включающий панель оператора крана и ПЛК. На данном уровне решаются вопросы контроля, управления, обеспечения технологических защит и блокировок, диагностики оборудования СУ, визуализации и т.п.

В качестве датчиков применяются:

- Датчик опасного сближения крана с соседними кранами или окончанием пути, служащий для предотвращения столкновения. В качестве датчика опасного сближения применен микроволновый датчик MWS-CAS-3 MICRO-ROBO фирмы WADECO [2].
- Тензометрический датчик веса поднимаемого груза. В качестве датчика веса применен датчик ZET 7110 Tensometer фирмы ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы» [3].

Для управления электроприводами мостового крана применены преобразователи частоты фирмы Schneider Electric серии Altivar 71.

Управление краном предусмотрено в двух режимах:

- Местный автоматизированный (основной);
- Ремонтный (режим, в котором работа крана блокируется, и, выполняются ремонтные работы на кране).

Безопасность работы крана со стороны системы управления обеспечивается:

- Размещением органов управления механизмами крана с учётом требований нормативной документации (ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007 «Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов»);

- Обеспечение требуемой ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007 цветовой гаммы для органов управления и сигнализации.

- Размещением органов управления таким образом, чтобы они были легкодоступны в процессе работы и при обслуживании, сводя к минимуму возможность их повреждения при эксплуатации;

- Обеспечение категории «0» для аварийной остановки (применение только электромеханических компонентов в цепях аварийной остановки, выполненных проводами; независимость цепей аварийной остановки от логики передачи электронных сигналов, математического обеспечения, передачи команд через коммутационные сети или линии и т.п.).

- Органы аварийной остановки обеспечивают при включении, изоляцию электрооборудования от цепей питания и отмену все другие действий и функций во всех режимах; возврат в исходное состояние без самозапуска двигателей крана;

Ожидаемым итогом модернизации является:

- Снижение потребления электроэнергии, путём исключения неэкономичного способа регулирования скорости приводных двигателей крана за счёт добавочных сопротивлений в цепи ротора. После модернизации регулирование скорости приводов предусмотрено при помощи преобразователя частоты.

- Снижение расхода тормозных колодок крана и увеличение интервала обслуживания тормозных механизмов за счёт переноса функций торможения на привод (использование механического тормоза только для удержания крана).

- Сокращение массогабаритных параметров аппаратуры управления и повышение её надёжности, что уменьшает трудозатраты на профилактическое обслуживание и увеличивает интервалы такого обслуживания.

- Расширенные функции диагностики оборудования крана за счёт использования технических возможностей ПЧ, установки дополнительных датчиков, использования ПЛК.

- Улучшение условий работы оператора за счет применения комплекса современных технических средств улучшающих эргономику рабочего места и снижающих утомляемость оператора.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ипатов П.П. Монтажные подъемно-транспортные механизмы и такелажные работы: учеб. пособие / П. П. Ипатов, А. Ф. Финкель. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.:Стройиздат, 1975. 343 с.
2. Каталог продукции WADECO. URL: <http://wadeco.ru/mws-cas-3>.
3. Каталог продукции ЗАО «ЭТМС». URL: [http://www.zetlab.ru/catalog/smart\\_sensor/datchik\\_deformacii\\_CAN.php](http://www.zetlab.ru/catalog/smart_sensor/datchik_deformacii_CAN.php).

## ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Бражников А. М.

Научный руководитель Стариков В. С., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Водородная энергетика – развивающаяся отрасль энергетики, направление выработки и потребления энергии человечеством, основанное на использовании водорода в качестве средства для аккумулирования, транспортировки и потребления энергии людьми, транспортной инфраструктурой и различными производственными направлениями. Водород выбран как наиболее распространенный элемент на поверхности земли и в космосе, теплота сгорания водорода наиболее высока, а продуктом сгорания в кислороде является вода (которая вновь вводится в оборот водородной энергетики). Водородная энергетика относится к нетрадиционным видам энергетики [1].

В зарубежных странах данная отрасль активно и динамично развивается, а также разрабатываются и выполняются «водородные» программы. В этом плане Россия отличается от зарубежных промышленно развитых стран в худшую сторону, а именно работы в этом важнейшем направлении ведутся разрозненно, при слабом участии государства и недостаточном финансировании [2].

Практически всеми национальными «водородными» программами предусмотрено использование в водородной энергетике топливных элементов в качестве базовых.

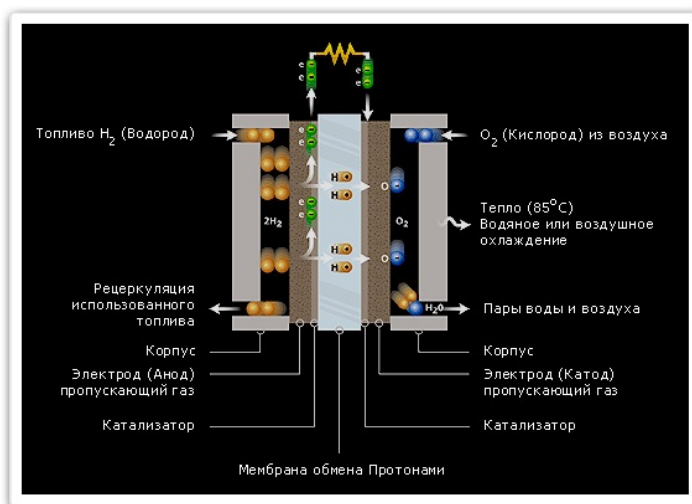
Топливный элемент (ТЭ) – электрохимическое устройство, подобное гальваническому элементу, но отличающееся от него тем, что вещества для электрохимической реакции подаются в него извне – в отличие от ограниченного количества энергии, запасенного в гальваническом элементе или аккумуляторе. ТЭ осуществляют превращение химической энергии топлива в электричество, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения, однако, ТЭ в результате высокоэффективного «холодного горения» топлива непосредственно вырабатывают электроэнергию. ТЭ относятся к химическим источникам тока.

Рассмотрим принцип действия на примере ТЭ на твердополимерном электролите. Единичная ячейка такого элемента изображена на рисунке 1 [1].

Рисунок 1 – Принцип действия ТЭ с твердополимерным электролитом

ТЭ состоит из анода (водородный электрод) и катода (кислородный электрод). Анод и катод разделены твердополимерным электролитом в виде мембраны. Топливом служит газообразный водород, который вводится в зону анода. Анод содержит платиновый катализатор, в результате чего молекулы водорода адсорбируются на поверхности катализатора и сначала распадаются на атомы, а затем атомы – на положительно заряженные протоны и отрицательно заряженные электроны.

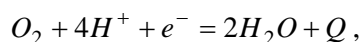
Важнейшая особенность твердополимерной мембраны состоит в том, что через нее могут проникать (диффундировать) к катоду только положительно заряженные протоны.





Соответственно, на водородном электроде (аноде), с которого уходят протоны, накапливаются избыточные электроны, и он заряжается отрицательно.

Напротив, на кислородном электроде (катоде) накапливаются протоны, и он заряжается положительно. Другими словами, между анодом и электродом возникает разность потенциалов (ЭДС). Поэтому при замыкании внешней электрической цепи, содержащей нагрузку, в ней потечет электрический ток, который может совершать полезную работу. Электроны, поступившие при протекании тока на катод, с участием катализатора делают возможной реакцию образования воды из проникших через мембрану протонов и кислорода, подаваемого на катод извне:



где  $Q$  – тепловой эффект реакции.

Происходит реакция образования воды в ТЭ. Окисление водорода проходит как электрохимическая реакция, и в результате большая часть химической энергии реагентов (теоритически 83 %) напрямую преобразуется в энергию электрического тока и лишь частично в тепло. Таким образом, ТЭ является весьма эффективным источником электрической энергии и дополнительно к этому – источником низкопотенциального тепла.

Напряжение, возникающее на отдельном ТЭ, не превышает 1,1 В. Для получения необходимой величины напряжения ТЭ соединяют в батареи последовательно, а для получения необходимой мощности – параллельно. Такие батареи ТЭ вместе с элементами газораспределения и терморегулирования монтируются в единый конструктивный блок, называемый электротехническим генератором.

Существуют различные типы ТЭ. Наибольшее распространение получила классификация по типу электролита, то есть среды для внутреннего переноса протонов [1]:

- твердооксидный ТЭ (Solid-oxide fuel cells – SOFC);
- ТЭ с протонообменной мембраной (Proton-exchange membrane fuel cell – PEMFC);
- обратимый ТЭ (Reversible fuel cell – RFC);
- прямой метанольный ТЭ (Direct-methanol fuel cell – DMFC);
- расплавной карбонатный ТЭ (Molten-carbonate fuel cell – MCFC);
- фосфорнокислый ТЭ (Alkaline fuel cell – AFC).

Применение ТЭ возможно в следующих сферах: производство электрической энергии на электростанциях; аварийные источники питания; автономное электроснабжение; практически во всех видах транспорта; авиация; космос; подводные лодки; портативная электроника; питание сотовых телефонов; зарядные устройства для армии.

Достоинства ТЭ:

- высокий к.п.д. ТЭ, достигающий 75 % по электроэнергии, а учитывая, что при этом выделяется еще и тепло, суммарный к.п.д. системы с ТЭ может достигать 90-95 % (к.п.д. современных ТЭС, работающих на органическом топливе, составляет около 40 %, а АЭС – 33 %);
- экологическая чистота, при сгорании водорода выделяется чистая вода и отсутствуют какие-либо вредные выбросы в атмосферу;
- маленькие показатели уровня шума и вибрации;
- модульная конструкция;
- плавные вольтамперные характеристики, высокая маневренность и эффективность во всем диапазоне нагрузок.

Недостатком ТЭ является относительно высокая стоимость.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родионов В. Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. – М.:ЭНАС, 2010. 352 с.
2. Ландграф И. К. Доклад «Введение в водородную энергетику и топливные элементы» на промышленной выставке-ярмарке «Hannover Messe» 8 апреля 2013 г.

## МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ И ТЕПЛОВЫХ НАСОСАХ

Ильченко Е. В.

Научный руководитель Стариков В. С., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

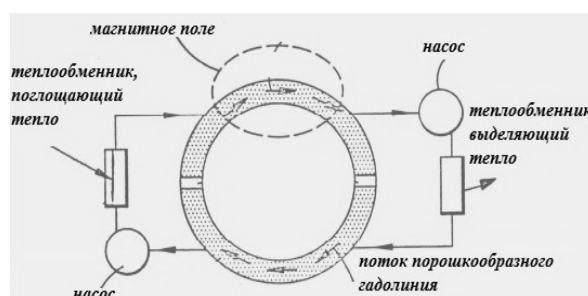
Необходимость экономии энергии характерна для нашей повседневной жизни, дома, в учреждениях и на производстве. Повышение цен на энергоносители и рост загрязнения окружающей среды, заставляют нас пересмотреть свое отношение к нерациональному использованию традиционных энергоресурсов и обратить свое внимание на альтернативные источники энергии. Вопрос преобразования тепловой энергии окружающей среды можно сформулировать не как концентрацию рассеянного тепла, а как вопрос эффективного охлаждения рабочего тела. Создав область пониженной температуры без затрат мощности первичного источника, можно обеспечить разность температур относительно температуры окружающей среды, что создаст условия для работы обычных термоэлектрических преобразователей. Одно из перспективных направлений в данной области – магнитное охлаждение. Одним из устройств, способных обеспечить энергонезависимость, значительную экономическую выгоду и защитить окружающую среду, является тепловой насос, работающий на основе магнетокалорического эффекта или, так называемый, магнитный холодильник.

Магнетокалорический эффект (МКЭ), который лежит в основе работы магнитного холодильника, был открыт еще в 1881 году. Суть его состоит в способности веществ нагреваться и охлаждаться под действием магнитного поля. Изменение температуры является результатом перераспределения внутренней энергии вещества между системой магнитных моментов атомов и системой магнитных моментов кристаллической решетки. Намагничивание и размагничивание выступают аналогами циклов сжатия и расширения фреона в обычных холодильниках и тепловых насосах. Поскольку твердое тело обладает большей теплоемкостью, то изменение энтропии на единицу объема в твердых магнитных материалах в семь раз выше, чем в газе. К материалам с наиболее сильно выраженным магнетокалорическим эффектом относятся соли редкоземельного металла гадолиния [1].

Рассмотрим конструкцию и принцип работы такого холодильника.

Холодильник, изображенный на рисунке 1, состоит из вращающейся колёсной конструкции. Она состоит из колеса, содержащего сегменты с порошком гадолиния, а также мощного постоянного магнита. Конструкция спроектирована таким образом, что колесо прокручивается через рабочий зазор магнита, в котором сконцентрировано магнитное поле. Также конструкция включает в себя «горячий» и «холодный» теплообменник.

Рисунок 1 – Принцип работы магнитного холодильника



При вхождении сегмента с гадолинием в магнитное поле, в гадолинии возникает магнетокалорический эффект - он нагревается. Это тепло отводится теплообменником, охлаждаемым водой. Когда гадолиний выходит из зоны магнитного поля, возникает магнетокалорический эффект противоположного знака и материал дополнительно охлаждается, охлаждая теплообменник с циркулирующим в нем вторым потоком воды. Этот поток, собственно, и используется для охлаждения холодильной камеры магнитного холодильника. Постоянный магнит и рабочее тело в виде гадолиния не требуют подвода энергии, она необходима только для вращения колеса и обеспечения работы водяных насосов [2].

Все магнитные холодильники можно разделить на два класса по типу используемых магнитов: системы, использующие сверхпроводящие магниты и системы на постоянных магнитах. Первые из них обладают широким диапазоном рабочих температур и относительно высокой выходной мощностью. Они могут использоваться, например, в системах кондиционирования больших помещений. Охлаждающие системы на постоянных магнитах имеют относительно ограниченный температурный диапазон (не более, чем на 30° С за один цикл) и, в принципе, могут применяться в устройствах со средней мощностью (до 100 Ватт) - таких как автомобильный холодильник и портативный рефрижератор для пикника. Но и те, и другие обладают целым рядом преимуществ над традиционными парогазовыми холодильными системами:

1) *Низкая экологическая опасность.* Рабочее тело – твердое вещество и может быть легко изолировано от окружающей среды. Применяемые в качестве рабочих тел металлы малотоксичны, и могут быть использованы повторно после утилизации устройства. Теплоотводящая среда должна обладать всего лишь низкой вязкостью и достаточной теплопроводностью, что хорошо соответствует свойствам воды, гелия или воздуха.

2) *Высокая эффективность.* Магнетокалорическое нагревание и охлаждение – практически обратимые термодинамические процессы, в отличие от процесса сжатия пара в рабочем цикле парогазового холодильника. Теоретические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что магнитные охлаждающие установки характеризуются более высокими к.п.д. и экономичностью. В частности, в области комнатных температур магнитные холодильники потенциально на 20-30 % эффективнее, чем работающие по парогазовому циклу. Технология магнитного охлаждения в перспективе может быть очень эффективной, что позволит значительно сократить стоимость таких установок.

3) *Долгий срок эксплуатации.* Технология предполагает использование малого числа движущихся деталей и низких рабочих частот в охлаждающих устройствах, что значительно сокращает их износ.

4) *Гибкость технологии.* Возможно использование различных конструкций магнитных холодильников в зависимости от назначения.

Однако, несмотря на все преимущества, магнитные холодильники не торопятся применять в России. К причинам можно отнести высокую стоимость гадолиния, а также необходимость магнитного экранирования, так как поле, создаваемое постоянным магнитом, может оказать нежелательное воздействие на технику и нанести помехи. Экранирование – также дорогое мероприятие и меняет габариты холодильника, так как занимает определенный объем.

В качестве решения проблемы использования гадолиния, может быть предложена такая технология, как наноструктуризация. Магнетокалорические свойства материала зависят не только от его химического состава, но и от его структуры. Мельчайшие дефекты кристаллической решетки, то есть наличие неких свободных атомов, не желающих упорядочиваться, резко усиливают охлаждающий эффект при размагничивании, причем такие дефекты-включения легко получить искусственным путем и тем самым обойтись без гадолиния. Такой процесс и называется наноструктуризацией (электронно-пучковая обработка). С его помощью можно оптимизировать поведение парамагнетиков в магнитном поле и добиться более сильного эффекта охлаждения.

В нашей стране проблема магнитного охлаждения существует только на уровне научных лабораторий. Исследования ведутся, главным образом, сотрудниками кафедры магнитных явлений МГУ и также кафедры магнитных наноматериалов УрФУ. По нашему мнению, необходимо в самое ближайшее время привлечь к работам в данном направлении все заинтересованные стороны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таскаев С. В. Доклад «Применение магнетокалорического эффекта при конструировании термодинамических устройств» на выставке Termag, 2007.
2. Андреев А. С., Белов К.П., Никитин С.А., Тишин А.М. Магнетокалорический эффект в редкоземельных магнитных материалах. Успехи физических наук, т.158, в. 4, с. 553-579 (1989).

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ**

Дегтярёв Е. А., Корюков А. А., Карякин А. Л.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет»

Применение интеллектуальных систем диагностики и контроля электротехнических комплексов (ЭТК), для поддержки различного рода задач принятия решений, является важным фактором повышения эффективности горной промышленности.

Наибольший интерес исследования, на наш взгляд, представляют передвижные объекты открытых горных работ, такие как одноковшовые экскаваторы. Ввиду мобильности подобных горных машин, имеются определенные сложности сбора и передачи данных о состоянии оборудования и систем в вычислительный центр предприятия. Тем не менее, организация вычислительной сети позволит производить исследования различных вариантов технологических схем, прогнозировать остаточный ресурс оборудования, создавать и исследовать модели и методы принятия решений.

Прогнозирование таких параметров, как сопротивление изоляции, параметров вибрации, показателей теплового режима работы электрооборудования может быть использовано для раннего выявления дефектов, вызывающих отказы электрооборудования ЭТК главных приводов экскаватора. Диагностировать состояние двигателей целесообразно посредством измерения и анализа кривых тока, напряжения и мощности, поскольку данный метод не требует непосредственного доступа к оборудованию [5].

В настоящее время для решения задач диагностики и прогнозирования применяется, в том числе, метод искусственных нейронных сетей (ИНС) [4], и относительно новый метод, являющийся гибридом нечеткой логики и нейронных сетей (ННЛ), который включил в себя основные свойства, присущие этим направлениям.

Проведенное исследование показало, что ошибки прогнозов двух моделей ИНС и ННЛ весьма близки, однако, почти вдвое меньшее количество циклов обучения, большая стабильность вычислений и довольно гибкая настройка правил с использованием нечеткой логики системы ННЛ убеждают в необходимости дальнейшего усовершенствования и использования данного метода [2]. Предлагается дальнейшее применение моделей и алгоритмов нейро-нечеткой логики, для построения информационных систем диагностики и прогнозирования состояний электротехнических комплексов, а также помощи в принятии решений при эксплуатации.

Ввиду крайне тяжёлых условий эксплуатации экскаваторов и как следствие необходимости применения специального оборудования [3, 4] считаем целесообразным использование внешних вычислительных ресурсов. Очевидно, что в данном случае наиболее эффективной оказывается облачная модель вычислений, которая подразумевает предоставление сетевого доступа по требованию к объединённым вычислительным ресурсам [6]. Такая модель имеет значительные преимущества по сравнению с решением сложных вычислительных задач непосредственно на действующем объекте:

- снижение стоимости капитальных вложений за счет отказа от вычислительного оборудования специального исполнения и назначения;
- доступ к информации, хранящейся на сервере, может быть предоставлен любому пользователю стационарного или мобильного устройства, подключенное к интрасети или Интернет;
- пользователь не привязан к одному рабочему месту, что даёт возможность диспетчеру, линейным руководителям и другим ответственным лицам постоянно следить за состоянием ЭТК;
- повышение коэффициента использования вычислительных ресурсов;

– возможность проведения параллельных и распределённых вычислений на мощном сервере при проведении сложных вычислений и обработки большого объёма данных.

Согласно этой модели решения сложных вычислительных задач диагностики и мониторинга состояния электротехнического комплекса переносятся на мощный внешний сервер, а на экскаваторе размещаются только устройства сбора и передачи данных. Наблюдения вектора состояния ЭТК хранятся в базе данных, также размещённой на сервере. Эта функция возлагается на службы, работающие на сервере, которые проводят опрос локальных устройств сбора данных каждого экскаватора. Эта база данных является своеобразным буфером между локальными устройствами сбора данных и вычислительных алгоритмов.

Взаимодействие клиентских приложений с сервером может осуществляться с помощью PHP, ASP, NET или других технологий, обеспечивающих обмен данными по протоколу HTTP. Это позволяет конечному пользователю работать с приложением, используя обычный веб-браузер, без необходимости установки специального программного обеспечения. С этой целью на серверной вычислительной машине должен быть запущен веб-сервер, на котором разворачивается необходимое веб-приложение.

Идея данной технологии известна [1]. При обращении клиента к веб-серверу запускается обработка соответствующих событий (изменения поля формы, нажатия на кнопку и т. п.). При этом серверный код обращается к собранной базе данных наблюдений вектора состояния ЭТК, проводит необходимые вычисления и возвращает клиенту результат в виде текста, размеченного в соответствии со стандартами HTML.

Период опроса параметров электротехнического комплекса определяется по теореме Котельникова-Шеннона на основании известных частотных свойств контролируемых параметров.

Разработан опытный образец системы динамической распределенной обработки данных на основе приложения Matlab с доступом к результатам обработки с применением web-технологий. Испытания программного комплекса показали высокую эффективность и большие возможности предлагаемого решения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байдачный С. С., Маленко Д. А. ASP.NET 2.0: секреты создания Web-приложений. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2007. 736 с.
2. Дегтярёв Е. А., Карякин А. Л. Прогнозирование электропотребления на базе методов искусственного интеллекта // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам», г. Екатеринбург, 21-28 апреля 2009 г.: сборник докладов; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. 219 с.
3. Казаков В. А., Крагель А. А., Бессонов И. В., Карякин А. Л. Информационно-диагностическая система карьерного экскаватора ЭКГ-1500Р // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 11. С. 36-38.
4. Карякин А. Л., Белов К. Д., Дегтярёв Е. А. Прогнозирование потребления электроэнергии цехом агломерации на основе метода искусственных нейронных сетей // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2008. № 8. С. 128-129.
5. Козярук А. Е., Таранов С. И. Применение унифицированной системы управления электроприводами самосвала и экскаватора и способы ее диагностики // Вестник Ивановского энергетического университета. 2013. Вып. 1. С. 104-108.
6. Mell P., Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology (NIST), USA, 2011.

## РОБОТЫ И РОБОТОТЕХНИКА

Саяров А. Р. Карякин А. Л.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Робототехника (англ. robotics) — прикладная наука, занимающаяся разработкой автоматизированных технических систем и являющаяся важнейшей технической основой интенсификации производства [1].

Робототехника опирается на такие дисциплины, как электроника, механика, информатика, а также радиотехника и электротехника. Выделяют строительную, промышленную, бытовую, авиационную и экстремальную (военную, космическую, подводную) робототехнику.

Слово «робототехника» (в его английском варианте «robotics») было впервые использовано в печати Айзеком Азимовым в научно-фантастическом рассказе «Лжец», опубликованном в 1941 г.

В основу слова «робототехника» легло слово «робот», придуманное в 1920 г. чешским писателем Карелом Чапеком для своей научно-фантастической пьесы «Р. У. Р.» («Россумские универсальные роботы»), впервые поставленной в 1921 г. и пользовавшейся успехом у зрителей. В ней хозяин завода налаживает выпуск множества андроидов, которые сначала работают без отдыха, но потом восстают и губят своих создателей [2].

Робот (чеш. robot, от robota — подневольный труд или rob — раб) — автоматическое устройство, созданное по принципу живого организма. Действуя по заранее заложенной программе и получая информацию о внешнем мире от датчиков (аналогов органов чувств живых организмов), робот самостоятельно осуществляет производственные и иные операции, обычно выполняемые человеком (либо животными). При этом робот может, как и иметь связь с оператором (получать от него команды), так и действовать автономно.

Важнейшие классы роботов широкого назначения — манипуляционные и мобильные роботы.

Манипуляционный робот — автоматическая машина (стационарная или передвижная), состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и устройства программного управления, которая служит для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций. Такие роботы производятся в напольном, подвесном и порталном исполнениях. Получили наибольшее распространение в машиностроительных и приборостроительных отраслях.

Мобильный робот — автоматическая машина, в которой имеется движущееся шасси с автоматически управляемыми приводами. Такие роботы могут быть колёсными, шагающими и гусеничными (существуют также ползающие, плавающие и летающие мобильные робототехнические системы) [1].

В настоящий момент большинство роботов используют электродвигатели, которые могут быть нескольких видов:

– *Шаговые электродвигатели* - поворачиваются пошагово на определённый угол под управлением контроллера. Это позволяет обойтись без датчика положения, так как угол, на который был сделан поворот, заведомо известен контроллеру, поэтому такие двигатели часто используются в приводах многих роботов и станках с ЧПУ.

– *Пьезодвигатели* (ультразвуковые двигатели) - крошечные пьезоэлектрические ножки, вибрирующие с частотой более 1000 раз в секунду, заставляют мотор двигаться по окружности или прямой. Преимуществами подобных двигателей являются высокое нанометрическое разрешение, скорость и мощность, несоизмеримая с их размерами.

– *Воздушные мышцы* — простое, но мощное устройство для обеспечения силы тяги. При накачивании сжатым воздухом мышцы способны сокращаться до 40 % от своей длины. Так как способ их работы схож с биологическими мышцами, их можно использовать для производства роботов с мышцами и скелетом, аналогичными мышцам и скелету животных [3].

– *Электроактивные полимеры* — это вид пластмасс, который изменяет форму в ответ на электрическую стимуляцию. Они могут быть сконструированы таким образом, что могут гнуться,

растягиваться или сокращаться. В настоящее время нет ЭАП, пригодных для производства коммерческих роботов, так как все ныне существующие их образцы неэффективны или непрочны.

Роботов можно разделить на группы: андроид, бытовой робот, промышленный робот, социальный и персональный робот.

Андроид – это человекоподобный робот.

Бытовой робот – наиболее полезен обычным людям, которые не претендуют на использование сверхумных и новейших роботов. Ключевое слово – «быт». То есть они предназначены для помощи человеку в повседневной жизни. Это могут быть как роботы-пылесосы или другие бытовые предметы, так и игрушки для детей: конструкторы LEGO и даже человекообразные игрушки. Они обладают способностью различать некоторые фразы и даже запоминать лица.

Промышленный робот — автономное устройство, состоящее из механического манипулятора и системы управления (позволяющей перепрограммировать в широких пределах движения исполнительных органов манипулятора, их количество и траекторию; а также задать другие количественные и качественные параметры конфигурации робота и оснастки), которое применяется для перемещения объектов в пространстве и для выполнения различных производственных процессов.

Промышленные роботы могут выполнять основные технологические операции (сварка, окраска, сборка и др.) и вспомогательные технологические операции (загрузка-выгрузка технологического оборудования, транспортные и др.). При использовании сменной технологической оснастки выполняемые операции могут совмещаться одним роботом.

Социальные виды направлены на помощь людям с ограниченными возможностями. Так как такие люди проводят малообщительную жизнь, принимают минимальное участие в общественной жизни, роботы помогают им влиться в коллективы. Частично они заменяют людей в общении. Ученые должны совершенствовать такой вид робототехники, он облегчит жизнь людям-инвалидам, поможет им стать полноправными членами общества.

Персональный робот. Они более компактны, недороги и просты в использовании, в отличие от промышленного типа. Можно провести параллель с понятием персональный компьютер. Они применяются для удовлетворения потребностей человека, то есть элементарная помощь, которую только может оказать такой тип механизации.

Робототехника – очень сложная, но в то же время очень полезная отрасль высоких технологий. Она нуждается во многих исследованиях, экспериментах, чтобы максимально повысить эффективность и использования роботов. Роботы неоднократно ставали персонажами кинолент, литературных произведений. Именно это и дает нам представление о том, что они в будущем могут стать на один уровень с человеком, то есть быть частью людей. Невероятные интеллектуальные возможности удивляют нас. Но ведь это машины. Они могут быть использованы в любой сфере человеческой жизни, они сильно влияют на человеческую жизнь. Многие ученые уверяют, что механическая эра не за горами. Они постепенно входят в наши жизни: исполняют тяжелую физическую работу на производстве, летают в космос, конструируют разнообразные детали, собирают машины. Особой популярностью пользуются роботы манипуляторы на производстве. Этот список можно продолжать, ведь вклад, который вносят роботы своим существованием, безмерно велик.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Е. П., Письменный Г. В. Основы робототехники: Введение в специальность. — М.: Высшая школа, 1990. 224 с.
2. Макаров И. М., Топчеев Ю. И. Робототехника: История и перспективы. — М.: Наука; Изд-во МАИ, 2003. 349 с.
3. Shadow Robot Company. URL: <http://www.shadowrobot.com/products/air-muscles/>.

## РАЗРАБОТКА РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОРШНЕВЫМ КОМПРЕССОРОМ 4ВМ10-100/8

Калугин Ю. К., Садовников М. Е.

Научный руководитель Садовников М. Е., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Машины, предназначенные для сжатия и перемещения газов, называются компрессорами. В машиностроении, горнодобывающей, угольной, пищевой и других отраслях промышленности используются компрессоры для сжатия воздуха, который служит энергоносителем для привода всевозможных машин и инструментов, облегчающих труд человека, т. е. для механизации трудоёмких процессов.

Целью данной работы является разработка релейно-контакторной системы управления (РКСУ) поршневого компрессора 4ВМ10-100/8 компрессорной станции № 3 Энергоцеха ОАО «Комбинат Магнезит».

В самом начале работы был сформирован перечень основных требований, которым должна отвечать разрабатываемая система управления и сопровождающая её документация:

- релейно-контакторная схема управления компрессором должна быть выполнена на современной элементной базе;
- схема управления должна обеспечивать «Местный ручной» и «Ремонтный» режимы работы;
- схема управления должна обеспечивать функции: контроля температуры, давления, уровня и т. п., с соответствующей реакцией на превышение заданных уставок контролируемых величин;
- схема управления должна обеспечивать управление компрессором и сопряжённым с ним оборудованием (различные запорные органы);
- схема управления должна обеспечивать все необходимые электрические и технологические защиты, технологические блокировки и блокировки безопасности, отвечающие требованиям действующей нормативно-технической документации;
- схема должна быть построена наиболее простым образом; должна быть надёжной; её обслуживание не должно вызывать затруднений; в схеме, по возможности, не должны использоваться элементы, которые будет трудно быстро заменить при выходе их из строя;
- разработанная на РКСУ документация должна содержать исчерпывающую информацию по схеме управления (спецификацию элементов; маркировку элементов, цепей, клемм, отходящих кабелей; необходимые комментарии и т. п.).

Процесс разработки РКСУ делится на ряд этапов:

Этап 1. Определение списка контролируемых параметров, технологических блокировок и блокировок безопасности, электрических и технологических защит.

В частности, автоматическое отключение компрессора должно обеспечиваться, согласно [2], в следующих случаях:

- при повышении температуры сжатого воздуха;
- при повышении давления воздуха выше нормы;
- при снижении давления воздуха ниже нормы;
- при повышении температуры охлаждающей воды;
- при повышении температуры масла;
- при повышении уровня масла в картере компрессора;
- при снижении давления масла;
- при перегрузке двигателя компрессора;
- при неполнофазном режиме работы двигателя;
- при коротком замыкании в силовых цепях и цепях управления;
- и т. п.



Этап 2. Выбор датчиков. На данном этапе был проведён сравнительный анализ датчиков уровня воды и масла, давления воды, масла и воздуха, температуры воды.

По результатам анализа были выбраны датчики производства Danfoss, ЗАО «ПРОМТЕХ», ЗАО «ОРЛЭКС» и др. [3, 4, 5].

Этап 3. Выбор элементной базы, на которой строится РКСУ. Основные производители оборудования, на базе технических устройств которых строится РКСУ: Schneider Electric, КЭАЗ, Finder, PHOENIX CONTACT и др. [6, 7, 8, 9].

Этап 4. Разработка схемы управления.

Этап 5. Оформление результатов работы.

Итогом работы явилась релейно-контакторная схема управления поршневым компрессором, построенная на современной элементной базе, и, обеспечивающая заданные требования к функциям, безопасности и надёжности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поршневые компрессоры: учеб. пособие / Под общ. ред. Б. С. Фотина – Л.: Машиностроение, 1987. 372 с.
2. ПБ 03-582-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации компрессорных установок с поршневыми компрессорами, работающими на взрывоопасных и вредных газах».
3. Каталог продукции ЗАО «ПРОМТЕХ». URL: [http:// www.prom-tex.org/products/sensors](http://www.prom-tex.org/products/sensors).
4. Каталог продукции ЗАО «ОРЛЭКС». URL: <http://orlex.ru>.
5. Каталог продукции компании «Danfoss». URL: <http://www.danfoss.com/Russia/Products/Categories/Group/HE/Reguiatory-raskhoda-y-davehyia>.
6. Каталог продукции компании «Schneider Electric». URL: <http://www.schneider-electric.ru/sites/russia/ru/products-services/automation-control>.
7. Каталог продукции завода «КЭАЗ». URL: [http:// keaz.ru/catalog](http://keaz.ru/catalog).
8. Каталог продукции «Finder». URL: <http://www.mege.ru/catalog/products/finder>.
9. Каталог продукции «PHOENIX CONTACT». URL: <https://www.phoenixcontact.com>.