

УДК 621.355.1

**С. Ф. ЖУКОВ** (д-р техн. наук, проф.), **А. И. ВАЖИНСКИЙ**  
**Государственное высшее учебное заведение**  
**«Донецкий национальный технический университет»**  
**center@quantum.com.ua**

## ИНТЕГРАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ

В работе представлены результаты математического моделирования и построения модуля оценки технического состояния. Интеграция в систему управления комплексом весового дозирования модуля оценки технического состояния решила задачу перехода к обслуживанию по фактическому состоянию. Кроме того, модуль оценки технического состояния позволил обеспечить непрерывное дозирование материалов.

**Электротехнический комплекс, дозирование, диагностика, чувствительность функции передачи.**

Рассматриваемый объект автоматизации – электротехнический комплекс подготовки шихтовых материалов. Основная технологическая задача отделения дозирования – выдача каждого компонента в таком соотношении, которое обеспечивает заданный химический состав шихты, и в количестве, задаваемым отделением спекания. Системы весового дозирования и транспортировки материалов состоят из механических вращающихся узлов, преобразователей частоты и электродвигателей. Обязательными составляющими автоматических систем управления подготовкой материалов должны стать алгоритмы диагностирования оборудования.

На рис. 1 приведена функциональная схема управления дозатором, где ДНСМ – датчик наличия материала, ДСЛ – датчик скорости ленты, ДМ – датчик массы.

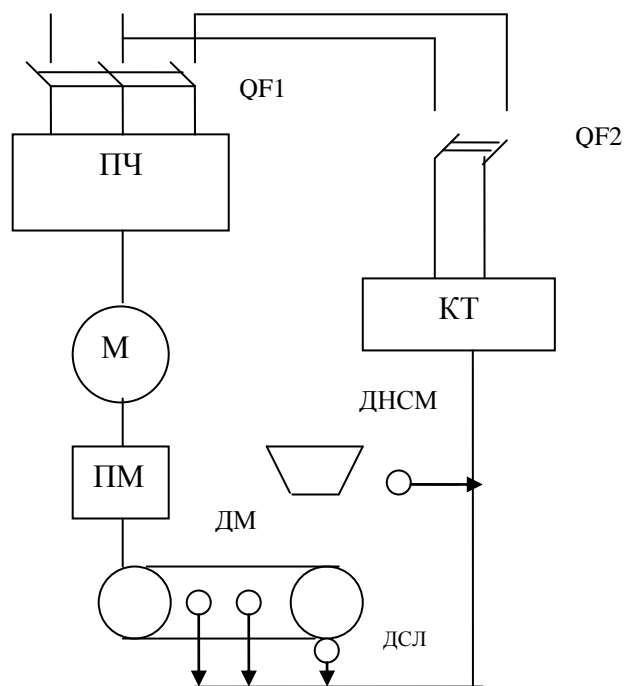


Рисунок 1 - Функциональная схема электротехнического комплекса

В электротехнических комплексах весового дозирования находят применение как методы функциональной диагностики так и методы тестового диагностирования [1]. Когда зависимости между параметрами объекта неизвестны, но известно их взаимное влияние, рационально для принятия решения о техническом состоянии объекта применять граф прохождения сигнала [2]. Логическая модель объекта, не содержащая многоканальных блоков, может трактоваться как граф. При построении графа можно представлять только доступные для измерения параметры.

Асинхронный двигатель, являющийся частью электротехнического комплекса весоизмерения, описывается уравнениями Парка – Горева, которые в ортогональной системе координат 1, 2, вращающейся относительно неподвижной  $\alpha$ ,  $\beta$  с произвольной угловой скоростью  $\omega_c$  имеют вид [3]:

© Жуков С. Ф., Важинский А. И., 2011

- уравнения баланса напряжений цепей статора и ротора:

$$\left. \begin{aligned} \vec{U}_S &= \vec{I}_S R_S + \frac{d\vec{\Psi}_S}{dt} + j\omega_C \vec{\Psi}_S; \\ \vec{U}_R &= \vec{I}_R R_R + \frac{d\vec{\Psi}_R}{dt} + j(\omega_C - \omega_R) \vec{\Psi}_R, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $R_S, R_R$  – активные сопротивления фазных обмоток статора и ротора;

$\omega_R = z_p \omega$  – электрическая угловая скорость ротора, пропорциональная реальной частоте вращения вала  $\omega$ ,

$z_p$  – число пар полюсов АМ.

- уравнения связи между токами и потокоцеплениями:

$$\left. \begin{aligned} \vec{\Psi}_S &= L_S \vec{I}_S + L_m \vec{I}_R = \vec{\Psi}_m + L_{S\sigma} \vec{I}_S; \\ \vec{\Psi}_R &= L_m \vec{I}_S + L_R \vec{I}_R = \vec{\Psi}_m + L_{R\sigma} \vec{I}_R, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $L_m$  – главная взаимная индуктивность (индуктивность намагничивания);

$L_{S\sigma}, L_{R\sigma}$  – индуктивности рассеивания обмоток статора и ротора (каждая из них обычно составляет 2...5% от  $L_m$ );

$L_S = L_m + L_{S\sigma}, L_R = L_m + L_{R\sigma}$  – полные индуктивности статора и ротора.

Во второй части формул (2) введен вектор главного магнитного потокоцепления

$$\vec{\Psi}_m = L_m \vec{I}_m = L_m (\vec{I}_S + \vec{I}_R), \quad (3)$$

который при постоянной индуктивности  $L_m$  пропорционален вектору тока намагничивания  $\vec{I}_m = \vec{I}_S + \vec{I}_R$ .

Для отображения смысла параметров, входящих в уравнения (1) – (3), рассмотрим эквивалентную схему замещения АМ (рис.2). На схеме также обозначены фазные ЭДС обмоток двигателя – статора  $\vec{E}_S$ , намагничивания  $\vec{E}_m$  и ротора  $\vec{E}_R$ .

Электромагнитный момент может быть вычислен двумя основными способами:

$$M = \frac{3}{2} z_p \operatorname{Im}[\vec{\Psi}_S^* \vec{I}_S] = \frac{3}{2} z_p \operatorname{Im}[\vec{\Psi}_R \vec{I}_R^*]. \quad (4)$$

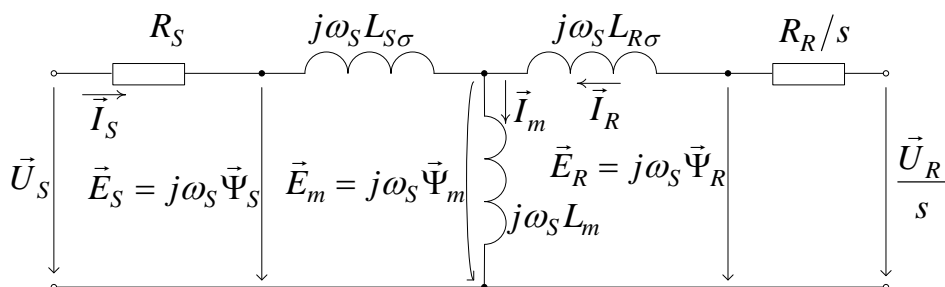


Рисунок 2 - Эквивалентная электрическая схема замещения АД.

Уравнения Парка – Горева (1) – (4), дополняемые уравнением движения

$$M - M_C = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (5)$$

и представляют собой обобщенное математическое описание АМ в произвольной ортогональной системе координат.

При векторном управлении со стороны статора наиболее рациональным является использование закона управления  $\vec{\Psi}_R = const$ , а при управлении со стороны ротора –  $\vec{\Psi}_S = const$ . Кроме того, при необходимости точного поддержания магнитного потокосцепления в зазоре используют законы управления  $\vec{\Psi}_m = const$ .

Получение полеориентированной структуры АД может быть выполнено в несколько этапов:

1. Из уравнений Парка – Горева (1) с помощью уравнений (2), (3) исключается пара векторов, не участвующая в структуре.
2. Полученные векторные уравнения приводятся к нормальной форме Коши.
3. Выполняется разложение уравнений на составляющие путем подстановки всех векторов в форме (2.4) с учетом условия вращения системы координат вида

$$\psi_d = |\vec{\Psi}|; \quad \psi_q = 0 \tag{6}$$

4. Составляется уравнение момента на основании формул (2) – (4), а также условия (6).
5. Добавляя к имеющимся уравнениям уравнение движения (5), строится структурная схема (рис. 3)

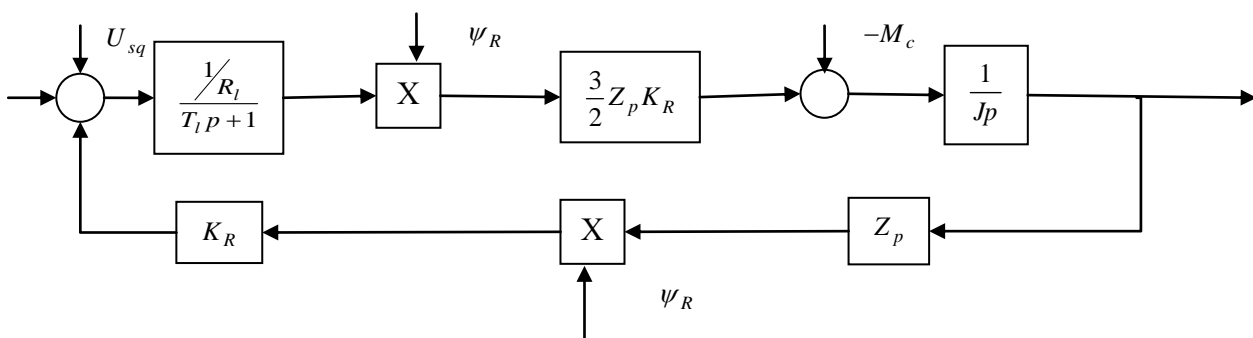


Рисунок 3 – Структурная схема

Определяя чувствительности каждой функции передачи графа к параметрам, характеризующим состояние объекта диагностирования, можно выбрать такой путь прохождения тест-сигнала, что функция передачи графа этого сигнала будет обладать наибольшей чувствительностью к изменениям в объекте [2]. Чувствительность функции передачи характеризуется производной от функции передачи по параметру  $b_k$ , определяющему состояние  $k$  элемента

$$S_{b_k}^{\Phi_{i,j}} = \frac{\partial \Phi_{i,j}}{\partial b_k} \frac{b_k}{\Phi_{i,j}} \tag{7}$$

Основные свойства ТФПЧ, которые мы будем использовать для диагностики нашего объекта:

1. Свойство различения влияния всех параметров объекта на его техническое состояние, т.е. для каждой пары параметров  $b_l, b_k$  найдется хотя бы одна чувствительность функций передач, такая, что

$$S_{b_l}^{\Phi_{i,j}} \neq S_{b_k}^{\Phi_{i,j}} \tag{8}$$

2. Из общего числа параметров, характеризующих состояние объекта, найдется такой параметр, по отношению к которому совокупность чувствительностей функций передач между всеми вершинами графа прохождения сигнала максимальная. При диагностировании объекта будем проверять в первую очередь этот

$$\text{параметр } \sum_{i=1}^p \sum_{j=2}^n |S_{b_k}^{\Phi_{i,j}}| = \max \tag{9}$$

3. Из общего числа параметров найдется такой, по отношению к которому имеет место наибольшее число неравных между собой чувствительностей  $S_{b_k}^{\Phi_{d,r}} \neq S_{b_k}^{\Phi_{f,t}}$   $d, r \neq f, t$  (10)

Программная реализация базируется на базе использования современных систем визуализации. Данное решение диктуется тем, что SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) является основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в различных областях. Обработку таблицы чувствительностей функций неисправности проведем средствами языка высокого уровня в составе STEP7 SCL.

Экономический эффект от внедрения системы ожидается за счет уменьшения числа ремонтов и обслуживаний до десяти раз при снижении общей стоимости проводимых ремонтов в четыре раза. Это, конечно, экстремальные значения, а в среднем достигается уменьшение количества ремонтов в 2 - 4 раза.

Внедрение на предприятии системы обслуживания по фактическому состоянию способствует:

- увеличению времени между ремонтами – и как следствие, это рост производительности и снижение затрат на проведение ремонтов;
- предотвращению прогнозируемых поломок – что способствует повышению надежности работы;
- устранению вторичных поломок, например, поломки редуктора из-за неисправностей подшипника;
- устранению ненужного расхода деталей, исключению замены еще исправных деталей;
- уменьшению объема запасных частей, т. к. заранее известны номенклатура и количество необходимых деталей и запасных частей;
- уменьшению общей продолжительности ведения ремонтных работ, т. к. все необходимые работы планируются заранее.

В условиях автоматизации производства, при наличии микропроцессорного управления электромеханическими системами, построение диагностического комплекса включает в себя:

- автоматизацию;
- объединение с существующими системами управления;
- использование компьютерной техники;
- систем управления базами данных (СУБД);
- средств визуального представления информации на базе систем визуализации (интеграция в существующие мнемосхемы работы оборудования).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков С.Ф. Классификация методов и средств технической диагностики электротехнического комплекса металлургического производства / С.Ф.Жуков, А.И. Вазинский //Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – Вип. 9(158). – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С. 95-100.

2. Портнягин Н.Н. Применение метода исключения варьируемого параметра при решении задач диагностики / Портнягин Н.Н., Пюкке Г.А. – М.: Академия Естествознания, 2009. – 165 с.

3. Пивняк Г.Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией: [Монография] / Пивняк Г.Г., Волков А.В. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2006. – 470 с.

Надійшла до редколегії 22.03.2011

Рецензент: О.П.Ковальов

С. Ф. ЖУКОВ, А. І. ВАЖИНСЬКИЙ  
Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний університет»

S. ZHUKOV, A. VAZHINSKY  
State Institution of Higher Education  
«Donetsk National Technical University»

**Інтеграція діагностичних можливостей у електротехнічний комплекс вагового дозування.** У роботі представлені результати математичного моделювання та побудови модуля оцінки технічного стану. Інтеграція в систему управління комплексом вагового дозування модуля оцінки технічного стану вирішила завдання переходу до обслуговування по фактичному стану. Крім того, модуль оцінки технічного стану дозволив забезпечити безперервне дозування матеріалів.

**Електротехнічний комплекс, дозування, діагностика, чутливість функцій передачі.**

**Integration of Diagnostic Possibilities in Electrical Equipment Weight Dosing.** There are the results of mathematical modeling and construction of the module assessment of technical condition in the paper. Integration into the control system of a complex module evaluate the technical condition solved the problem of transition to a service on the actual state. In addition, the technical condition assessment module allowed continued dosing of materials.

**Electrical complex, dosage, diagnosis, sensitivity of transfer function.**