В качестве примера приведем данные энергохозяйств пяти промпредприятий Минхимпрома, категорирование которых по указанной методике позволило сгруппировать их в два класса с обобщенным показателем от 0,20 до 0,57 (табл. 1). В таблице также для класса выделен эталонный объект, определяемый по оптимуму показателя.

Из таблицы видно, что среди пяти промпредприятий высший обобщенный показатель имеют предприятия №1 и №2. Следовательно, здесь необходимо в первую очередь совершенствовать систему работ по экономии энергоресурсов.

По аналогии с классификацией энергохозяйств промпредприятий должны классифицироваться также и технические решения по их рационализации. За основной фактор классификации технических решений принимается экономическая эффективность их внедрения при умеренных капитальных затратах. Это позволит для конкретного энергохозяйства промпредприятия составить перспективный план оргтехмероприятий по реализации возможных резервов экономии энергоресурсов с оценкой экономического эффекта и капзатрат на их внедрение.

В результате проведенных исследований был осуществлен ряд мероприятий. Обоснована необходимость определения места и роли энергохозяйства в системе работ по экономии энергоресурсов с выбором состава показателей.

Введено понятие обобщенного показателя и предложен метод расчета обобщенного показателя энергохозяйства.

Обобщенный показатель использован для категорирования энергохозяйств на основе кластерного анализа и метода экспертных оценок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общие требования по разработке и анализу топливно-энергетических балансов промпредприятий/Утвержден ГКНТ СССР, Госпланом СССР, Госснабом СССР, ЦСУ СССР и Минэнерго СССР, 1981. – 240 с. 2. Л е м е ш к о Б.Ю. Математическое обеспечение задач статистического анализа на основе группированных данных: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат.наук. – Новосибирск, 1979. – 28 с. 3. Ж у р а в с к а я В.Н. Факторный анализ в социально-экономическом исследовании. – М., 1976. – 90 с. 4. И г о л к и н В.Н. Статистическая классификация на выборочных распределениях. – Л., 1978. – 65 с. 5. С у с л о в И.П., Т у р а в а М.И. Методическая статистика сравнений. – М., 1980. – 115 с.

УДК 62–83.001.1.52

П.В.ПОЛЗИК, И.Ф.КУЗЬМИЦКИЙ (БТИ)

СИНТЕЗ КВАЗИОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ

Совершенствование производства неразрывно связано с развитием системы оптимального управления рабочими машинами. При физическом преобразовании продукта, когда механические перемещения являются основной формой электромеханического процесса, особое значение имеет оптимизация динамики электроприводов электромеханических систем.

В качестве объекта управления рассмотрим стационарную электромеханическую систему, описываемую уравнениями вида

$$\dot{X} = AX + U, \tag{1}$$

где X – n-мерный вектор фазовых координат; $A = \| a_{ij} \| n \times n$ – квадратная матрица постоянных коэффициентов; U – S-мерный вектор управления.

При аналитическом конструировании астатической системы управления, минимизирующей на основе методов [1–3] квадратичный функционал вида

$$I = \int_0^\infty [X^T BX + (RX)^T C(RX) + U^T C^{-1} U] dt, \tag{2}$$

структура системы управления будет

$$U = -CRX. \tag{3}$$

Аналитическое конструирование астатической системы управления основано на использовании принципов синтеза статической системы управления для процесса

$$\dot{Z} = Dz + \dot{U}, \tag{4}$$

уравнение которого получено в результате дифференцирования выражения (1) [1, 2]. Вектор управления астатической системы является линейно-интегральной функцией координат процесса (1)

$$U = -C(R_1 X + \int_0^\infty R_2 X dt), \tag{5}$$

где R_1, R_2 – матрицы оптимальных коэффициентов, образованные из элементов матрицы R вектора управления $\dot{U}$ процесса (4).

Данные методы аналитического конструирования систем управления вызывают существенные затруднения при выборе численных значений весовых коэффициентов β_{ij} [1].

Такие системы управления не обеспечивают прямых показателей качества Ф и ограничений, которые накладываются на фазовые координаты и управляющие воздействия.

При синтезе статических систем управления алгоритм определения коэффициентов матрицы R с заданными значениями коэффициентов β_{ij} достаточно прост:

$$\hat{A} \cdot \hat{R} = \hat{B}, \tag{6}$$

где $\hat{A}$, $\hat{R}$, $\hat{B}$ – преобразованные по правилам [4] соответственно матрицы A, R, B. Для астатических же систем существуют определенные трудности при реализации (6), как в силу более высокой размерности процесса (4), (5), так и потому, что данный алгоритм не дает однозначного решения из-за наличия нулевых строк в матрице $\hat{D}$, полученной на основе элементов матрицы D по традиционным правилам.

Для исключения затруднений при выборе коэффициентов β_{ij}, C_{ij}, учета ограничений на прямые показатели качества Ф, фазовые координаты X и управляющие воздействия U используем метод, который заключается в получении функциональных зависимостей

$$\Phi = f_1(B, C), X_{max}(X_{min}) = f_2(B, C), U_{max} = f_3(B, C) \tag{7}$$

в виде уравнений регрессии. Коэффициенты уравнений регрессии рассчитываются исходя из экспериментальных значений Ф, X_{max} (X_{min}), U_{max}, полученных при моделировании уравнения (1), замкнутого вектором управления (3) для ряда значений параметров β_{ij}, C_{ii} в сочетаниях, которые определяются методами планирования эксперимента. Начальные значения варьируемых коэффициентов β_{ii} определяем на основе ориентировочного метода равных вкладов. Шаг варьирования этих коэффициентов выбираем равным 20–50 % от начальных значений. В зависимости от принятого плана проведения эксперимента и числа варьируемых коэффициентов β_{ij}, C_{ii} используются стандартные программы расчета коэффициентов уравнений регрессии на ЭЦВМ. Решая уравнения (7) при заданных ограничениях на Ф, X_{max} (X_{min}), U_{max}, определяем коэффициенты матриц B и C.

Исходя из того что переходные процессы в системах, синтезируемых методами аналитического конструирования регуляторов, имеют апериодический характер [1] (к таким показателям можно отнести требуемые время регулирования $t_{\text{р}}$ и точность стабилизации фазовых координат процесса ϵ) эти показатели могут оцениваться степенью устойчивости

$$a = 1/t_{\text{р}} \ln \epsilon . \tag{8}$$

Подставив уравнение (6) в выражение (3), получим

$$U = -C\hat{X}\hat{A}^{-1}B , \tag{9}$$

где $\hat{X} = | \hat{X}_{\text{I}}, \hat{X}_{\text{II}} |$

$$\hat{X}_{\text{I}} = \begin{vmatrix} X_1, X_2, X_3 \dots X_n \\ 0 \quad X_1 \quad 0 \ \dots 0 \\ 0 \quad 0 \quad X_1 \dots 0 \\ \dots\dots\dots\dots \\ 0 \quad 0 \quad 0 \ \dots X_1 \end{vmatrix} \quad X_{\text{II}} = \begin{vmatrix} 000 & \dots & 00 & \dots & 00 \\ X_2X_3X_4 & \dots & X_n0 & \dots & 00 \\ 0X_2X_3 & \dots & X_{n-1}X_n & \dots & 00 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 000 & \dots & 00 & \dots & X_{n-1}X_n \end{vmatrix}$$

$\hat{X}_{\text{I}}$ – квадратная матрица размера $n \hat{\times} n$; X_{II} – прямоугольная матрица размера $n \times 0{,}5_n(n-1)$.

После замыкания уравнения (1) уравнением (9) и соответствующих преобразований получим уравнение

$$\dot{X} = QX , \tag{10}$$

где Q – матрица коэффициентов, элементы которой включают неизвестные коэффициенты матриц C и B.

Для обеспечения системой управления степени устойчивости не ниже заданной (8) построим критериальную матрицу (7) в виде

$$H = E + 2[Q - (1-a)E]^{-1},$$

где E – единичная матрица.

Требуемая степень устойчивости (что эквивалентно заданным значениям t_p и ϵ) достигается при выполнении одного из неравенств

$$\begin{gathered} \|H\|_{\text{I}} = \max_i \sum_{j=1}^{n} \|h_{ij}\| < 1 ; \\ \|H\|_{\text{II}} = \max_j \sum_{i=1}^{n} \|h_{ij}\| < 1 \end{gathered} \tag{11}$$

или

$$(\|H^m\|_{\rm I}\ ,\ \|H^m\|_{\rm II}) < 1\ ,\ m=1,2\ ...,\infty\ ,$$

где $\|H\|_{\rm I}$, $\|H\|_{\rm II}$ – нормы квадратной матрицы H . Элементы h_{ij} состоят из элементов q_{ij} матрицы Q и соответственно включают искомые коэффициенты матриц B и C .

Решая неравенства (11) совместно с уравнением (6), найдем значения оптимальных коэффициентов управления r_{ij} и коэффициентов усиления каналов управления C_{ii}, при которых обеспечиваются минимизация функционала (2) и заданные прямые показатели качества t_p и ϵ .

Для однозначного определения матриц R_1 и R_2 вектора управления астатической системы можно предложить алгоритм, базирующийся на следующих условиях.

Размерность вектора $\acute{U}$ уравнения (4) равна размерности вектора U и значительно меньше размерности вектора Z . Поэтому матрица R , составленная для объекта (4), содержит избыточное число элементов относительно искомых матриц R_1 и R_2.

При анализе уравнения (6) применительно к астатической системе установлено, что число нулевых строк матрицы D соответствует числу избыточных элементов матрицы R . Предлагается рассматривать избыточные элементы R как дополнительные составляющие весовых коэффициентов, числовые значения которых определяются по предложенным методам.

В результате исключения избыточных элементов и преобразования матриц уравнения (6) получены следующие соотношения для определения R_2 и R_1 .

Элементы матрицы R_2 находим при решении n независимых уравнений вида

$$A^T\hat{R}_2 = B_2\ ,$$

где $\hat{R}_2$ – матрица-столбец из элементов k – нечетной строки и l – четных столбцов матрицы R , составленной для вектора управления $\acute{U}$.

B_2 – $[\beta k l\ - r_k (l-1)]$ – матрица-столбец, образованная из элементов матрицы B и избыточных элементов матрицы R.

Элементы матрицы R_1 находим из уравнения

$$\hat{A}\hat{R}_1 = \hat{B}_1\ ,$$

где $\hat{R}_1$ – $[r\ (k+1)l\ ]$ – матрица-столбец коэффициентов из элементов матрицы R_1; B_1 – $[\beta(k+1)l\ - r_{kl} - r(k+1)\ (l\ -1)]$ – матрица-столбец из элементов матриц B , R_2 и избыточных элементов матрицы R .

Результаты, полученные в работе, использовались при построении многосвязных оптимальных систем управления электроприводами экструзионной линии по производству пластмассовых труб и деревообрабатывающих станков.

Таким образом, в статье предложены методы выбора весовых коэффициентов функционала и коэффициентов усиления каналов управления, при которых синтезируемая система управления обеспечивает наряду с минимизацией функционала (2) заданные прямые показатели качества и удовлетворяет ограничениям на фазовые координаты и управляющие воздействия.

Получен алгоритм определения R_1 и R_2 , не требующий перехода при синтезе астатических систем управления к уравнению (4) и позволяющий эффективнее использовать ЭЦВМ при численных расчетах параметров системы управления.

Полученные результаты позволяют формализовать расчет оптимальных систем управления, рассмотренных в работе, и автоматизировать их проектирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Летов А.М. Динамика полета и управления. – М., 1969. – 230 с. 2. Красовский А.А. Аналитическое конструирование контуров управления летательными аппаратами. – М., 1969. – 130 с.

УДК 621.313.333

О.А.ГОЛОВАЧ, П.П.ПРИМШИЦ, О.П.ИЛЬИН,
канд-ты техн.наук (БПИ)

СИНТЕЗ ЗАМКНУТОЙ САУ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Известно два вида автоматического управления координатой механизма: дискретное позиционирование по сигналам от датчиков положения и непрерывное автоматическое управление по отклонению. Система асинхронного фазоуправляемого электропривода может реализовать лишь первый способ позиционирования, что позволяет применять ее при незначительных требованиях к динамике и точности остановки механизма. Для более точного позиционирования при втором способе необходимо повысить управляемость системы регулятор напряжения (РН) – асинхронный двигатель (АД).

Высокочастотное реверсирование фаз не позволяет выделить среднее значение частоты и получить своего рода частотное управление. Скорость вращения ω_s вектора напряжения питающей сети лишь тогда мгновенно изменит свой знак, когда мгновенные значения напряжения реверсируемых фаз равны. В противном случае вектор напряжения в момент реверса мгновенно поворачивается на некоторый угол, а затем уже начинает вращаться в противоположную сторону.

Основные трудности синтеза системы автоматического управления (САУ) асинхронным электроприводом объясняются особенностями АД как объекта регулирования. В общем случае поведение АД описывается системой из пяти нелинейных дифференциальных уравнений. Однако структура АД существенно упрощается, если в качестве входного воздействия рассматривать не напряжение, а ток. Целесообразно также в данном случае использовать вращающуюся систему координат *X*, *У* и ось *У* связать с вектором тока статора $\bar{i}_s$. Тогда при отсутствии на валу момента сопротивления поведение АД можно описать следующей системой дифференциальных уравнений:

$$D\omega = \frac{1{,}5L_{12}}{L_2 I} i_s \Psi_{2x} ;$$