

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф., Чемерис И.Ф., Кибкало М.Н. Малая энергетика – основа диверсификации деятельности угледобывающих предприятий // Уголь Украины. – 1999. - № 10. – С.17 – 20.
2. Булат А.Ф., Чемерис И.Ф., Перепелица В.Г., Подтуркин Д.Г. Когенерационные технологии – прогрессивный путь решения проблем энергопотребления и энергосбережения в промышленных регионах Украины // Энергозберігаючі технології та автоматизація. – К.: Держкоменергозбереження України, 2002. – № 2 (26). – С. 44-46.
3. Баринберг Г.Д., Кортенко В.В. Повышение эффективности промышленно-отопительных ТЭЦ при снижении или прекращении отпуска технологического пара // Теплоэнергетика, 2000. – № 2. – С. 11-15.
4. Паровые турбины и турбогенераторы: Номенклатурный перечень ОАО «Калужский турбинный завод». - Калуга. – 1999. - 40 с.
5. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. – М.:Энергия. – 1976.- 447 с.

УДК 622.647.2:681.5

В.Ю. Максютенко, Т.И. Жигула

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПОСТОЯННУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА**

Розглянуто задачу вибору діаграм швидкості обертання й обертального моменту привода стрічкового конвейера, що забезпечують мінімум витрат електроенергії при постійному рівні продуктивності. Синтезовано ейлеровський регулятор, який для кожної реалізації функції навантаження конвейера автоматично виробляє управляюче діяння, що забезпечує найкращу (у розумінні постійної продуктивності) реалізацію закону руху.

### **MATHEMATICAL MODEL OF THE OPTIMAL CONTROL, WHICH PROVIDE WITH THE CONSTANT PRODUCTIVITY OF THE LENGTH CONVEYOR**

The task of selection diagrams of speed rotation and rotating moment drive of length conveyor, which guaranteed minimal expenditure of electrical energy in the time of constant level of productivity was examined. The Eijler's regulator, which for each realization function loading of conveyor automatically works out the control influence, which guaranteed the best (in sense of constant productivity) realization of movement's low, was synthesised.

Ленточные конвейеры являются основным средством непрерывного транспорта на горных предприятиях Украины. Одной из наиболее важных причин нерационального использования этого вида транспорта, вызывающей увеличение стоимости транспортирования, является существенная недогрузка конвейерного полотна из-за колебаний исходного грузопотока. В этой связи особую актуальность приобретает решение задач оптимального управления, обеспечивающего постоянную производительность конвейера, повышение долговечности его элементов, снижение энергозатрат.

Цель оптимального управления можно рассматривать как достижение экстремума критерия качества  $I$  за счет выбора оптимального вектора допустимого управления. В общем случае критерий качества имеет вид [1]:

$$I = \int_0^T F(t, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}) dt,$$

где  $t$  – независимая переменная (время);  $\varphi$  – фазовая координата (угол поворота приводного барабана);  $\dot{\varphi} = \omega$  – угловая скорость барабана;  $\ddot{\varphi} = \dot{\omega}$  – угловое ускорение.

Обычно требуется, чтобы конвейер обеспечивал заданную производительность, т.е. транспортировал определенную массу груза в единицу времени, распределение скорости и тягового усилия привода внутри этого отрезка времени в значительной мере произвольно (хотя и должно подчиняться ряду ограничений). Поэтому можно поставить задачу о выборе наилучшего распределения скорости вращения и вращающего момента двигателя, обеспечивающих минимальный расход электроэнергии при условии постоянства производительности конвейера.

Исходным фактором, формирующим тяговое усилие ленточного конвейера, является интенсивность поступающего грузопотока. Общее тяговое усилие определяется по формуле [2]:

$$W_0 = k(q'_r + 2q_l + q'_p + q''_p)Lw' \cos\beta + q_r L \sin\beta, \quad (1)$$

где  $w'$  – общий коэффициент сопротивления движению ленты;  $q_r, q_l$  – погонные веса транспортируемого груза и ленты;  $k$  – коэффициент, зависящий от дины конвейера;  $q'_p, q''_p$  – погонные веса вращающихся роликоопор на грузовой и холостой ветвях;  $\beta$  – угол наклона конвейера;  $L$  – длина конвейера.

Все величины, входящие в формулу (1), за исключением погонного веса транспортируемого груза  $q_r$ , постоянные для каждого конкретного конвейера.

Погонный вес транспортируемого груза

$$q_r = \frac{Qg}{3,6V}, \text{ н/м}, \quad (2)$$

где  $Q$  – расчетная номинальная производительность конвейера, т/ч;  $V$  – скорость ленты, м/с.

В формуле (2) предполагается, что конвейер работает с устройством (бункером), обеспечивающим его постоянную равномерную загрузку. В противном случае необходимо использовать понятие эксплуатационной производительности и эксплуатационной погонной нагрузки. Таким образом, погонная нагрузка в общем случае является функцией времени

$$q_r = q_r(t),$$

и, следовательно, общее тяговое усилие  $W_0$  также зависит от времени

$$W_0(t) = Aq_r(t) + B,$$

где  $A(kw' \cos \beta \pm \sin \beta)L$ ;  $B = k(2q_n + q'_p + q''_p)Lw' \cos \beta$ .

Уравнение динамики привода конвейера имеет вид:

$$J\dot{\omega}(t) = M(t) - RW_0(t), \quad (3)$$

где  $J$  – суммарный момент инерции привода;  $\omega(t)$  – угловая скорость барабана;  $M(t)$  – вращающий момент;  $R$  – радиус барабана.

Передаваемую на механическое звено мощность можно представить как

$$P_3 = M\omega,$$

а соответствующая ей электрическая энергия выражается интегралом

$$W_3 = \int_0^T M\omega dt = \int_0^T [J\dot{\omega}(t) + RW_0(t)] dt. \quad (4)$$

Таким образом, сформулированная выше задача оптимального управления приводом свелась к задаче о выборе диаграмм скорости и момента, которые обеспечивали бы минимум расхода электроэнергии при заданном уровне производительности, т.е. при заданном значении  $Q$ :

$$Q = \frac{3,6}{Tg} \int_0^T q_r(t)V(t)dt = \frac{3,6R}{Tg} \int_0^T q_r(t)\omega(t)dt. \quad (5)$$

Наша задача свелась к изопериметрической: найти функцию  $\omega(t)$ , доставляющую минимум критерию качества (4) при заданном значении интеграла (5). Если функция  $q_r(t)$  задана, то оптимальный режим движения можно вычислить обычными методами вариационного исчисления, а затем реализовать средствами программного управления. Однако каждое такое решение будет оптимальным лишь для одного вида функции  $q_r(t)$ . Кроме того, функция  $q_r(t)$ , как правило, заранее неизвестна. Наибольший интерес представляет решение в форме синтеза регулятора, который автоматически реализовал бы оптимальное (или достаточно близкое к оптимальному) движения для любой, заранее неизвестной функции  $q_r(t)$ . При решении задачи синтеза необходимо учесть, что функция  $\omega(t)$  для участков установившегося движения меняется медленно, и ее производной (ускорением) можно пренебречь. Тогда уравнение (3) приобретает вид

$$M(t) = RW_0 = R(Aq_r(t) + B). \quad (6)$$

Нам необходимо найти функцию  $\omega(t)$ , обеспечивающую расчетную номинальную производительность конвейера

$$\omega(t) = \frac{Qg}{3,6Rq_r(t)}. \quad (7)$$

Исключая из (6) и (7) функцию  $q_r(t)$ , получим

$$M(t) = \frac{QgA}{3,6\omega(t)} + BR,$$

откуда

$$\omega(t) = \frac{QgA}{3,6(M(t) - BR)}. \quad (8)$$

При управлении по закону (8) с уменьшением нагрузки уменьшается момент, создаваемый двигателем, а скорость движения конвейера увеличивается, т.е. двигатель использует время уменьшения сопротивления на валу для увеличения скорости.

Что касается реализации эйлеровского регулятора (8), то она затруднений не вызывает. По текущему значению момента  $M$  по формуле (8) определяем расчетную угловую скорость  $\omega_p$  и сравниваем ее с текущим значением  $\omega(t)$ . Если оказывается, что  $\omega_p > \omega$ , то сигнал с выхода блока сравнения увеличивает напряжение, подаваемое на двигатель, если  $\omega_p < \omega$  - уменьшает его.

Таким образом, мы синтезировали эйлеровский регулятор (8), который не требует детальной информации о виде функции  $q_r(t)$  и для каждой ее реализации автоматически вырабатывает управляющее воздействие, обеспечивающее наилучшую (в смысле обеспечения постоянной производительности) реализацию закона движения  $\omega = \omega(t)$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы автоматизированного управления. Под редакцией В.С. Пугачева. – М.: Наука, 1974. – 719 с.
2. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. – М.: Машиностроение, 1978.- 392с.