

ОПТИМАЛЬНОЕ ГАШЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПЕРЕНОСНОМ ДВИЖЕНИИ УПРУГОГО ОБЪЕКТА

Бохонский А.И., Барашова Л.В. (СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

The superposition of controls (etalon and complementary) at frame motion of elastic object subject to noise has been proposed and investigated.

В [1] найдено и исследовано оптимальное управление переносным движением упругой системы на заданное расстояние из исходного в конечное состояние абсолютного покоя (за минимальное время) без учета случайных воздействий (помех). При наличии случайных возмущающих воздействий состояние абсолютного покоя в точке позиционирования не достигается.

Целью исследований является разработка системы управления, позволяющей достигать состояния абсолютного покоя в точке позиционирования упругой системы с одной степенью свободы при возмущающем воздействии типа белого шума. Для этой цели применён в отрицательной обратной связи оптимальный ПД - регулятор, вид и коэффициенты усиления, которого найдены согласно [2].

Дифференциальное уравнение относительного движения (колебаний) исследуемого объекта имеет вид

$$M \frac{d^2 y_r}{dt^2} + c y_r = U^*(t) + F(t), \quad (1)$$

где M — масса объекта; y_r — перемещение в относительном движении системы, в которой есть помехи; c — коэффициент жесткости; $U^*(t) = U_e(t) + U(t)$ — управление; $U_e(t)$ — эталонное управление (предложенное и исследованное в [1] для системы без помех); $U(t)$ — дополнительное управление для подавления возмущающего воздействия; $F(t)$ — возмущающее воздействие. Уравнение (1) переписывается следующим образом

$$\frac{d^2 y_r}{dt^2} + k^2 y_r = u_e(t) + u(t) + f(t), \quad (2)$$

где $k = \sqrt{\frac{c}{M}}$ — частота колебаний; далее будет принято $u_e(t) = \frac{U_e(t)}{M} = -\frac{1}{2\pi} \sin t$ —

эталонное управление на единицу массы; $u(t) = \frac{U(t)}{M}$ — дополнительное управление для

подавления колебаний, обусловленных случайным воздействием; $f(t) = \frac{F(t)}{M}$ — возмущающее воздействие.

Уравнение (2) в символической форме

$$(D^2 + k^2) y_r = u_e(t) + u(t) + f(t), \quad (3)$$

где $D = d/dt$ — оператор дифференцирования. Дополнительное управление задавалось так:

$$u = W(D) x_r,$$

где $W(D)$ — оператора дифференцирования в виде полинома; $x_r = y_r - z_r$ — отклонение (ошибка); z_r — эталонное относительное перемещение, которое имела бы система без

помех только при эталонном управлении; например, в [1] такое управление $u_e(t) = -\frac{1}{2\pi} \sin t$.

Тогда,

$$(D^2 + k^2)z_r = u_e(t). \quad (4)$$

С учетом $y_r = x_r + z_r$ и равенства (4) уравнение (3) примет вид

$$(D^2 + k^2)x_r = u + f(t).$$

Задача сводится к нахождению полинома $W(D)$, обеспечивающего устойчивость системы управления и минимума среднеквадратического критерия качества

$$J = m^2 \langle x_r^2 \rangle + \langle u^2 \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (m^2 x_r^2 + u^2) dt,$$

где m^2 – множитель Лагранжа; $\langle x_r^2 \rangle$ – средний квадрат ошибки; $\langle u^2 \rangle$ – средний квадрат управления (мощность).

В соответствии с методом выделения устойчивого подсемейства экстремалей для систем с возмущающим воздействием типа белого шума, из всех регуляторов, реализующих $u(t)$, оптимальный регулятор имеет вид

$$u_{opt} = [A(D) - G(D)]x_r, \quad (5)$$

где $A(D)$, $G(D)$ – полиномы от оператора дифференцирования. В (5) для рассматриваемой системы соответственно

$$A(D) = D^2 + k^2, \quad G(D) = D^2 + \sqrt{2\sqrt{16 + m^2} - 8}D + \sqrt{16 + m^2}.$$

Тогда, согласно с (5) получаем уравнение ПД – регулятора

$$u_{opt} = (k^2 + \sqrt{2\sqrt{16 + m^2} - 8}D - \sqrt{16 + m^2})x_r.$$

Таким образом, оптимальная корректировка управления примет вид

$$u_{opt} = -(b_1 + b_2 D)x_r.$$

Коэффициенты b_1 и b_2 зависят от частоты колебаний k и множителя Лагранжа.

Для примера, рассмотренного в [1], частота колебаний $k = 2 \text{ с}^{-1}$. Следует отметить, что с ростом множителя m возрастают коэффициенты b_1 и b_2 , уменьшается ошибка $\langle x_r^2 \rangle$, но возрастает мощность управления $\langle u^2 \rangle$. Поэтому рекомендуется брать наибольшее значение m , при котором мощность управления не превышает допустимое значение. Примеры регуляторов для ряда значений множителя m :

$$\text{для } m = 1 \quad u_{opt} = -(0,123 + 0,496D)x_r; \quad \text{для } m = 10 \quad u_{opt} = -(6,77 + 3,68D)x_r;$$

$$\text{для } m = 100 \quad u_{opt} = -(96,1 + 13,86D)x_r; \quad \text{для } m = 1000 \quad u_{opt} = -(996 + 44,63D)x_r.$$

Исходные данные: спектральная плотность мощности возмущающего воздействия типа белого шума $S_F = 2/\pi$; масса объекта $M = 1 \text{ кг}$; расстояние, на которое необходимо переместить деформируемый объект $L = 1 \text{ м}$; общее время движения $t_1 = 2\pi \text{ с}$; множитель m был выбран равным 1000, тогда $b_1 = 996$, $b_2 = 44,63$. Управление (ускорение переносного движения) для принятых исходных данных

$$U^*(t) = U_e(t) + U_{opt} = -\frac{1}{2\pi} \sin t - (996 + 44,63D)x_r.$$

Эксперимент выполнен в Simulink (инструмент математического пакета Matlab). Блок – схема модели для проведения эксперимента, которая изображена на рисунке 1,

включает: Sine Wave и Sine Wave 1 – формируют эталонный управляющий сигнал $u_e(t) = -\frac{1}{2\pi} \sin t$; Band – Limited White Noise – формирует возмущающее воздействие типа белого шума со спектральной плотностью мощности $S_F = 2/\pi$; Transfer Fcn – имитирует сам исследуемый объект; Gain – имитирует пропорциональное звено с коэффициентом усиления $b_1 = 996$; Gain 1 и Derivative 3 – имитируют дифференцирующее звено с коэффициентом усиления $b_2 = 44,63$; Transfer Fcn 1 – используется для получения эталонного относительного перемещения z_r ; Derivative и Derivative 1 – используются для получения первой и второй производной относительного перемещения y_r , т.е. относительной скорости V_r и ускорения a_r ; Scope – используется для получения зависимостей интересующих нас параметров от времени.

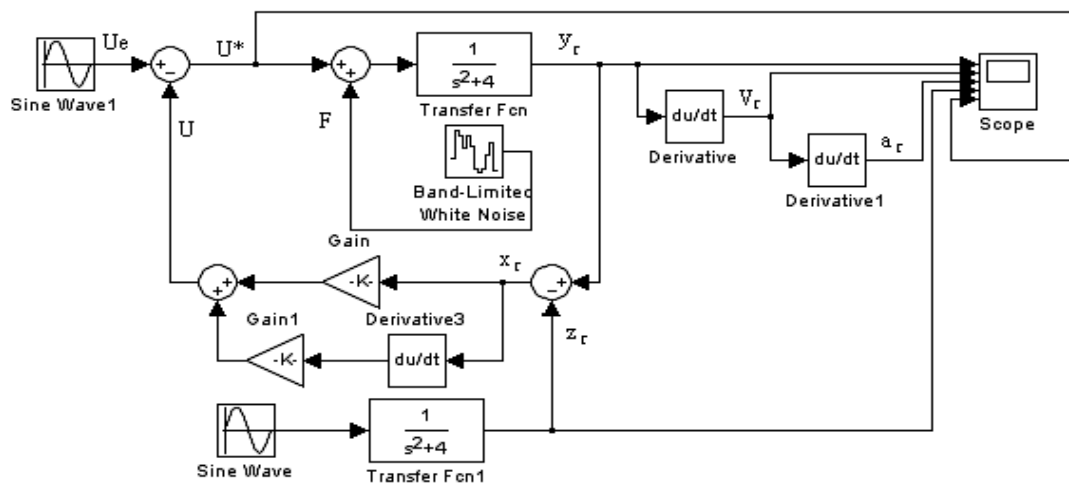


Рис. 1 Модель для проведения эксперимента в Simulink (блок – схема системы управления с отрицательной обратной связью и оптимальным ПД – регулятором)

На рисунках 2 и 3 изображены зависимости параметров от времени в относительном движении – координаты y_r , скорости V_r , ускорения a_r , эталонной координаты z_r и управления (переносного ускорения) U^* для системы с возмущающим воздействием (без обратной связи и с обратной связью).

Выводы: **1.** Графики, изображенные на рисунке 2, показывают, что наличие возмущающего воздействие не позволяет достичь состояния абсолютного покоя в точке позиционирования при управлении, предложенном в [1]. **2.** Из графиков, изображенных на рисунке 3, видно, что транспортируемый объект в момент времени $t_1 = 2\pi$ с. в точке позиционирования находится в абсолютном покое (координата y_r , скорость V_r и ускорение a_r в относительном движении равны 0). Графики реальной относительной координаты y_r и эталонной z_r практически совпадают. Показано, что отрицательная обратная связь (по отклонению) с оптимальным регулятором позволяет при случайном возмущающем воздействии типа белого шума достичь состояния абсолютного покоя в точке позиционирования. **3.** Отрицательная обратная связь по отклонению (с ПД – регулятором) эффективна не только при возмущающем воздействии типа белого шума, но и при случайных возмущающих воздействиях, имеющих нормальный и

равномерный законы распределения (в каждом случае подлежат определению коэффициенты b_1 и b_2).

Обеспечение параметрической устойчивости системы при малом изменении параметров движущегося объекта основывается на дополнительном уточнении значений коэффициентов усиления b_1 и b_2 в ПД - регуляторе [3].

Новые задачи, решение которых предполагается в будущем, заключаются в исследовании эффективности использования ПД - регуляторов для подавления случайных колебаний упругих механических систем с конечным и бесконечным числом степеней свободы при их оптимальном переносном движении. Результаты исследований могут найти применение в сборочном производстве при оптимальном по быстродействию управлении перемещением нежестких объектов манипуляторами.

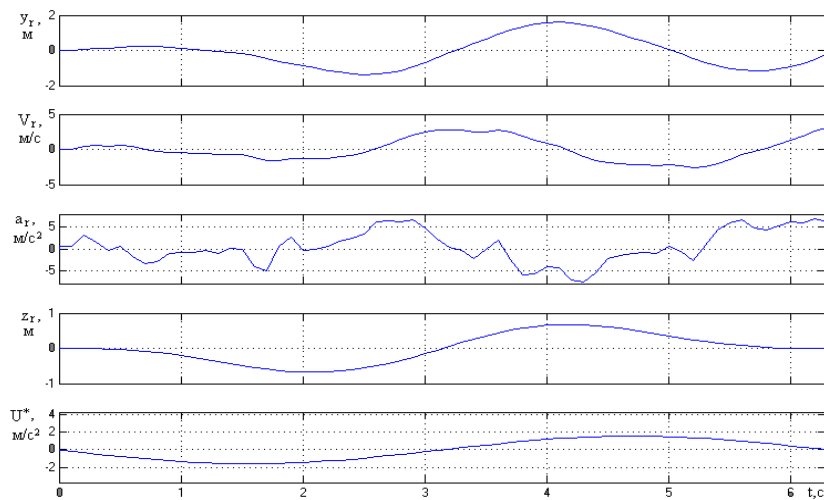


Рис. 2 Зависимости исследуемых параметров от времени для системы без обратной связи:

$$y_r = f(t), \quad V_r = f_1(t); \quad a_r = f_2(t); \quad z_r = f_3(t); \quad U^* = f_4(t)$$

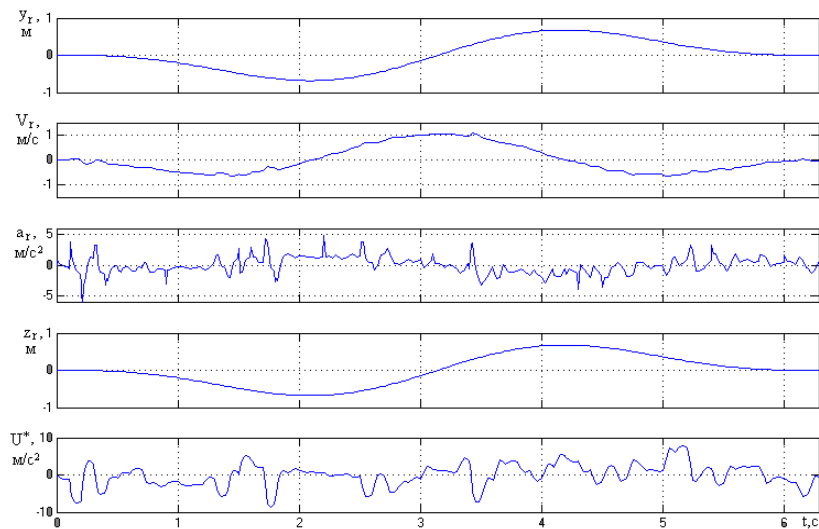


Рис. 3 Зависимости исследуемых параметров от времени для системы с обратной связью:

$$y_r = f(t), \quad V_r = f_1(t); \quad a_r = f_2(t); \quad z_r = f_3(t); \quad U^* = f_4(t)$$

Список литературы: 1. Бохонский А.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, М.И. Мозолевский; под ред. Бохонского А.И. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. — 296 с. 2. Абдулаев Н.Д. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов / Н.Д. Абдулаев, Ю.П. Петров. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. — 240 с. 3. Петров Ю.П. Обеспечение достоверности и надежности компьютерных расчетов/ Ю.П. Петров.- СПб.: БХВ-Петербург, 2008.— 160с.

Сдано в редакцию 19.05.08

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО СТОЛА ЭКС-150 ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА

Бредихин В. Н. , Козловский К. П. , Пластовец А. В. (ДонНИПИЦМ, г. Донецк)

A new design of table concentrator ЭКС-150 has been developed for preparation of crushed radio electronic scrap elements for pyro- and hydrometallurgical operations. The examination of the table concentrator operation has been conducted using glass fabric boards with cut down radio parts and electric conductor scrap. The concentrator table has been applied in industry. The table output is increased 3.8 – 4.0 times more at the first stage of preparation in comparison to the СКО-0.5 Л prototype.

Введение. С 1995 года в лаборатории шихтоподготовки научно-экспериментального комплекса №1 (НЭК-1) эксплуатируется, для подготовки дробленых продуктов элементов лома радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), содержащих драгоценные металлы (ДМ) к пиро- и гидрометаллургическому переделу, концентрационный стол (КС) СКО-0,5Л конструкции Донецкого национального технического университета (ДонНТУ) [1].

Концентрационный стол состоит из рамы, на которой на тросовых подвесках закреплена дека в форме параллелограмма с бигармоническим вибровозбудителем. Острый угол между сторонами дека составляет 70° . Направление возвратно-поступательного движения дека параллельно меньшей диагонали параллелограмма. На деке имеется загрузочная воронка и распределитель потока воды смывающей частицы материала. КС характеризуется следующими параметрами: площадь дека – $0,52\text{ м}^2$; продольный угол наклона дека – не более 8° ; поперечный угол наклона дека – не более 10° ; частота вращения низкоскоростного вала вибровозбудителя – $5,67 \dots 11,67\text{ с}^{-1}$; пропускная способность питания – до 50 кг/ч ; максимальный расход воды – $80\text{ дм}^3/\text{мин}$.

Проведенными исследованиями установлены оптимальные результаты обогащения дробленых электрических соединителей (ЭС) класса -6+0,5 мм при производительности КС $25\text{--}35\text{ кг/ч}$ и частоте колебаний дека $7,5 \dots 8,33\text{ с}^{-1}$ без выделения промежуточного продукта.[2, 3].

Состояние вопроса. Опыт эксплуатации КС показал, что процесс разделения исходного сырья на металлический концентрат и пластмассовый продукт из-за большой разницы в плотностях материалов (например, латунь – 8300 кг/м^3 , пластмасса – $1200\text{--}1700\text{ кг/м}^3$) происходит на длине дека $150 \dots 200\text{ мм}$, после чего металлический продукт можно выводить из процесса. Таким образом, нет необходимости в длинной