

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Магдебургский университет имени Отто фон Герике

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ БАШЕННОГО КРАНА

Предложена программа оптимального управления рабочими движениями (поворот башни, подъём груза, передвижение тележки) башенного крана с поворотной башней на основе имеющихся в расширении Optimization Toolbox™ пакета Matlab команд для оптимизации нелинейных и линейных систем управления. Реализация программы обеспечивает устранение раскачивания груза с заданным быстродействием.

Запропоновано програму оптимального керування робочими рухами (обертання башти, підйом вантажу, пересування візка) баштового крана з поворотною баштою на основі наявних у розширенні Optimization Toolbox™ пакету Matlab команд для оптимізації нелінійних і лінійних систем керування. Реалізація програми забезпечує усунення розгойдування вантажу із заданою швидкістю.

We propose a control program of workers' movement for tower crane with rotary tower (the swing mechanism, cargo winches, wagon winch). Namely, a program which is based on the commands to optimize nonlinear and linear systems that is available in Optimization Toolbox™ Matlab.

Разработки в области автоматического управления движениями крана базируются часто на построении линеаризованных моделей механических систем, что позволяет при анализе его работы применять принцип суперпозиции. При перемещении груза в горизонтальном и вертикальном направлении траектория движения груза достаточно проста. При повороте башни крана на груз действует центробежная сила, а при комбинированном движении, т.е. при одновременном поступательном движении тележки и повороте башни проявляется действие силы Кориолиса, что значительно усложняет процесс линеаризации такой системы.

Оптимизация нелинейных систем связана с трудоёмкими вычислениями. Сегодня уровень вычислительной техники достаточен для нахождения численных решений такой оптимизации. К примеру, Optimization Toolbox™ пакета Matlab предлагает типовые алгоритмы оптимизации нелинейных систем.

Нелинейная модель механической части крана описана в [1], создана с использованием расширения SimMechanics™ пакета Matlab. Она позволяет моделировать передвижение тележки, поворот и подъём (опускание) груза, а также отслеживать траекторию движения груза при любом из этих движений. Сигнал управления (задания) $\mathbf{u}(t)$ – электромагнитная сила $F(t)$ (момент), развиваемая двигателем.

Разработана программа оптимального управления SimMechanics™-моделью крана при использовании Optimization Toolbox™ пакета Matlab (рис.1). Она состоит из трёх основных частей:

1) задание предшествующих оптимизации начальных условий и построение графиков (положение и скорость тележки и башни, скорость движения груза

при подъёме, радиальная и тангенциальная составляющие угла отклонения груза);

2) определение функционала качества и оптимизация управляющего воздействия;

3) построение графиков переходных процессов при оптимизированном управляющем воздействии.

В первой части программы задаём быстродействие-время регулирования (например, 4 с) и типовую форму управляющего воздействия $\mathbf{u}(t)$ – одноступенчатое изменение силы со значением $|+u_{\max}| = |-u_{\max}| = 1$.

Параметры оптимизации задаём во второй части программы с помощью команды optimset. Оптимизация вектора силы $\mathbf{u}(t)$ выполнена, исходя из требования: в конце переходного процесса все скорости и угол отклонения груза должны быть равны нулю. Для этого в (1) заданная матрица конечного состояния системы $y_{end_soll}(u(t))$ сравнивается с полученной в результате симуляции $y_{end_ist}(u(t))$, и квадрат их разницы минимизируется с заданной точностью.

$$\min_{\mathbf{u}(t)} J(\mathbf{u}(t)) = 10^4 \sum_{t_0}^{t_{end}} (y_{end_soll}(\mathbf{u}(t)) - y_{end_ist}(\mathbf{u}(t)))^2 \quad (1)$$

Моделирование выполнено с исходными данными макета поворотного крана: высота башни – 1,6 м, длина стрелы 0,8 м, масса груза – 5 кг, масса стрелы – 6,9 кг, масса противовеса – 3,5 кг, масса башни – 31,9 кг. На рисунках 2-5 приведены графики изменения скорости и положения тележки, угла отклонения груза, $\mathbf{u}(t)$ (пунктирные кривые – при управлении с одним переключением, сплошные – при оптимизированном $\mathbf{u}(t)$). При оптимальном $\mathbf{u}(t)$ тележка начинает движение от края стрелы и за 4 с перемещается на 0,4 м, в конце движения все скорости и угол отклонения груза равны нулю.

Разработанная программа управления может быть использована для оптимизации угла отклонения груза при повороте башни и подъёме груза, а также при комбинированном движении механизмов крана.

```

%% Инициализация
MAKET;
u = [ ones (1,60) , -ones (1,60) ]'; % Вектор силы
tend = 4; dt = tend / ( length(u) - 1); % Время симуляции и временной такт
t = linspace (0, tend, length(u) ); % Вектор времени
simopt = simset ( 'solver' , 'ode45' , 'FixedStep' , dt ); % Параметры моделирования
[tout, xout, yout] = sim ('MAKET' , [0 tend] , simopt, [t, u] ); % Симуляция модели
figure (1); plot ( tout, yout (:,1) , 'red' ); hold on; grid on; % Построение графиков: положения и скорости тележки
.
.
.
figure (6); plot ( tout, yout (:,6) , 'red' ); hold on; grid on;

%% Оптимизация
options = optimset ( 'Algorithm' , 'active-set' , 'Display' , 'iter' , 'TolX' , 1e-6 , 'TolFun' , 1e-6 , 'MaxFunEvals' , 1e5);
tic
uopt = fminunc ( @gueteMAKET, u, options ); % Программа оптимизации управляющего вектора
toc

%% Моделирование с оптимизированными параметрами
ut = [uopt; zeros (length (uopt) , 1) ]; ut = uopt; % Оптимизированный вектор силы
tend = 4; dt = tend / (length (ut) - 1); % Время симуляции и временной такт
t = linspace (0, tend, length (ut) ); % Вектор времени
simopt = simset ('solver','ode1','FixedStep',dt); % Параметры моделирования
[tout, xout, yout] = sim ('MAKET' , [0 tend] , simopt, [t, ut] ); % Симуляция модели
figure (1); plot ( tout, yout (:,1) , 'black' ); hold on; grid on; % Построение графиков: положения и скорости тележки
.
.
.
figure (7); plot (tout, ut); % Построение графиков: положения и скорости тележки и башни, траектории движения груза при подъеме, Z- и Y-составляющих углов отклонения груза
.
.
.
% Оптимизированный вектор силы

```

Рис.1. Программа оптимального управления движениями механизмов крана

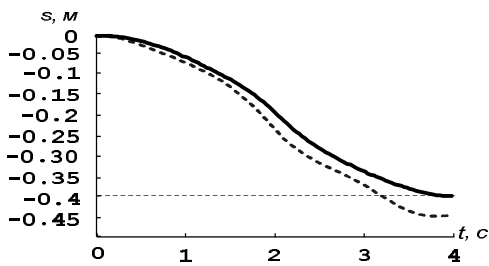


Рис.2. Положение тележки

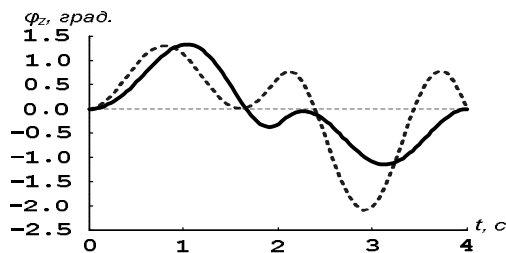


Рис.3. Угол отклонения груза

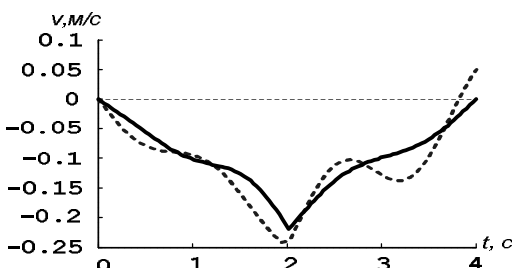


Рис.4. Скорость тележки

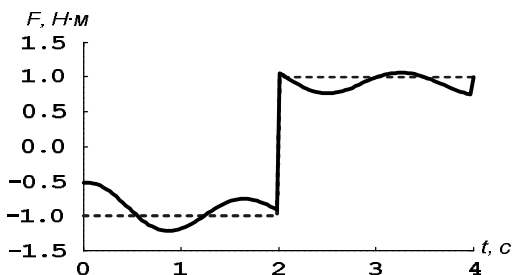


Рис.5. Управляющее воздействие $u(t)$

Список использованной литературы

1. Макаревич Е.В. Математическая модель поворотного крана с использованием SimMechanics (Matlab) / Е.В.Макаревич, В.Н.Шамардина, Ф.Палис, С.Палис // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Вест. НТУ "ХПИ". – 2010. – Вып. 28. –С. 102-103.
2. Matlab. Help. Optimization Toolbox.

Получено 19.07.2011



Макаревич Екатерина Владимировна,
магистр НТУ "ХПИ",
г. Харьков, ул. Фрунзе, 21
katya_makarevych@mail.ru



Шамардина Вера Николаевна,
канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
тел. (057) 7076974
shamardina@kpi.kharkov.ua



Палис Франк,
профессор, д-р инж.
Магдебургск. ун-та Отто фон Герике,
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg
frank.palis@ovgu.de



Палис Стефан,
дипл. инж.
Магдебургск. ун-та Отто фон Герике,
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg
stefan.palis@ovgu.de