

УДК 62.83.52

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА SIMULATION СРЕДЫ LABVIEW

*Майданский И.Я., Козаченко А.В., инженеры, Алтухов Е.И., к.т.н., доц.  
Национальный технический университет Украины "КПИ", г. Киев  
03056, г. Киев, пр. Победы, 37  
E-mail: [ivanmaidansky@gmail.com](mailto:ivanmaidansky@gmail.com)*

У даній статті показано, що комп'ютерне моделювання з використанням пакета Simulation середовища Labview дозволяє досліджувати складні електромеханічні системи, що включають різного роду нелінійності, ланки, що диференціюють, й ланки запізнювання, що є необхідним для синтезу оптимальних за певними критеріями систем керування.

**Ключові слова:** позиційне регулювання, адаптивний регулятор, оптимізація.

In given article it is shown that computer modelling with use of package Simulation of Labview environment allows investigating the difficult electromechanical systems including a different sorts of nonlinearity, differentiating parts and parts of delay that is necessary for synthesis of optimum control systems by the certain criteria.

**Key words:** item regulation, an adaptive regulator, optimization.

**Введение.** Работа направлена на решение проблемы создания энергосберегающей и оптимальной по переходному процессу системы позиционного управления электромеханическими системами с сосредоточенными и распределенными параметрами. Основное внимание уделено использованию блоков запаздывания и дифференцирования для формирования ступенчатого изменения движущего момента в периоды разгона и замедления и компенсации действия момента сил сопротивления движению.

**Анализ предыдущих исследований.** Принцип построения системы оптимального управления со специальным логическим устройством, формирующим ступенчато изменяющийся движущий момент, показан в работе [1], а моделирование электромеханической системы с упругими связями и управляющим устройством на основе нечеткой логики изложено в работе [2].

В первой статье приведена функциональная схема системы управления с задающей моделью, формирующей сигнал задания ускорения во времени без корректировки этого сигнала по реальным выходным переменным (скорости, току). Такие системы, относящиеся к системам с автономной задающей моделью, работают нормально, если нагрузка и параметры звеньев постоянны. Во второй статье использован фаззи-регулятор для оптимизации системы по быстродействию, но для формирования управляющего воздействия использовано устройство, имеющее те же недостатки, что и в предыдущей работе.

В данной статье, с учетом выполненных исследований в указанных выше работах, предложен новый подход к формированию заданного режима функционирования электромеханической системы в режиме позиционирования с использованием специального адаптивного регулятора с изменяющимися

параметрами и блоком запаздывания.

**Цель работы.** Обеспечение эффективности применения адаптивного регулятора со звеном запаздывания в позиционных системах оптимального по динамическим нагрузкам управления и целесообразность использования компьютерного моделирования в пакете Simulation среды Labview для исследования сложных электромеханических систем (ЭМС), а также разработка алгоритмов функционирования отдельных блоков для реализации их на базе микроконтроллера.

**Материал и результаты исследования.** Значительная часть современных электромеханических систем имеют сложную структуру, обусловленную наличием механической трансмиссии с упругими звеньями, полупроводниковых силовых преобразователей, микропроцессорных управляющих устройств. В настоящее время развитие теории автоматического управления позволяет проектировать оптимальные по определенным критериям режимы работы электромеханических систем. Наиболее важными критериями для таких систем следует считать оптимизацию по быстродействию, по потерям энергии и динамическим нагрузкам.

При определенных управляющих воздействиях и параметрах возможно в определенных пределах реализовать режим, удовлетворяющий всем трем критериям оптимальности. Так, если при незначительном увеличении времени переходного процесса, используя ступенчатые изменения движущего момента, исключить упругие колебания динамических нагрузок, то автоматически снизятся и потери энергии. Для позиционных электроприводов важным является также точная остановка рабочего органа в заданном положении. Все указанные режимы должны реализоваться при ограничениях переменных состояния системы. В общем случае процесс будет оп-



Реальные переменные приведены к входному воздействию:  $S_m = K_{\pi} \Phi_m$ ;  $S = K_{\pi} \Phi$ ;  $V = K_c \omega_{cm}$ ;  $V_m = K_c \omega_{cm}$ .

Регулятор тока (РТ), тиристорный преобразователь и якорная цепь двигателя представлены блоком РТ-ТП-ЯД. Использована система подчиненного регулирования с ПИ-регулятором тока. Роль регулятора скорости и положения выполняет адаптивный регулятор, включающий нелинейные элементы и блок запаздывания (БЗ). Период запаздывания  $t_1$  определяется по частоте упругих колебаний  $\omega_y$ :  $t_1 = \pi / \omega_y$ .

Сигнал обратной связи по току и производной скорости, определяемой дифференцирующим звеном ДЗ, компенсирует влияние нагрузки на выходные переменные. В зависимости от величины сигнала заданного перемещения  $S_m$  в блоке адаптации (БА) определяется сигнал оптимальной максимальной скорости  $V_m$ .

Оценка качества отработки заданного расстояния  $S_m$  осуществляется уравнением  $\Delta S_{\pi} = S_m - S_{\pi} - S_a$ , где  $S_a$  - вычисляемое расстояние до конечной точки, которое определяет начало и конец замедления системы:

$$S_a = \begin{cases} 0,5V(V_m + 2V_a) / a_m, S_m > S_{r2}; \\ V^2 / a_m, S_m \leq S_{r2}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $a_m, V_a$  - сигналы, пропорциональные соответственно максимальному ускорению и скорости, при которой ступенчато меняется ускорение от значения  $a_m / 2$  до  $a_m$  и обратно ( $V_a$  реализуется в блоке запаздывания БЗ);  $S_{r1}, S_{r2}$  - граничные значения сигналов заданного перемещения  $S_m$ , определяющие величину максимальной скорости  $V_m$ ;

$S_{r1}$  - значение перемещения  $S_m$ , при котором скорость достигает ограничиваемого значения  $V_{m0}$ , но отсутствует период равномерного движения;  $S_{r2}$  - значение  $S_m$ , при котором максимальная скорость достигает величины  $2V_a$ .

Вычисление сигналов  $S_{r1}, S_{r2}, V_m$  выполняется в блоке адаптации (БА) регулятора по алгоритмам:

$$S_{r1} = V_{m0}(V_{m0} + 2V_a) / a_m, S_{r2} = 8V_a^2 / a_m; \quad (3)$$

$$V_m = \begin{cases} (V_a^2 + a_m S_m)^{1/2} - V_a, S_{r2} < S_m < S_{r1}; \\ V_{m0}, S_m \geq S_{r1}, \end{cases} \quad (4)$$

а сигнал  $S_a$  - в блоке переключения режима (БПР) по зависимости (2).

Сигнал  $a_1$  на выходе адаптивного регулятора принимает значение:

$$a_1 = \begin{cases} 0,5a_m, V_a > V > V_m - V_a; \\ a_m, V_a \leq V \leq V_m - V_a, \end{cases} \quad (5)$$

Коэффициенты обратных связей при принятых управляющих сигналах  $S_m, V_a, a_m, V_{m0}$  и значениях переменных состояния ЭМС находятся из соотношений:

$$K_T = a_m / i_{ям}; K_{\pi} = S_{\pi} / \Phi_{\pi m};$$

$$K_c = V_{m0} / \omega_{cm}; K_d = K_T^{-1} C_d / (J_1 + J_2).$$

Компенсация действия момента сопротивления

$M_c$  реализуется сигналом  $U_c = i_{я} K_T - K_d \frac{d\omega}{dt}$ .

Цифровая модель системы позиционного регулирования с адаптивным регулятором, составленная согласно структурной схеме рис. 1, для реализации компьютерного моделирования в пакете Simulation среды Labview представлена на рис. 2.

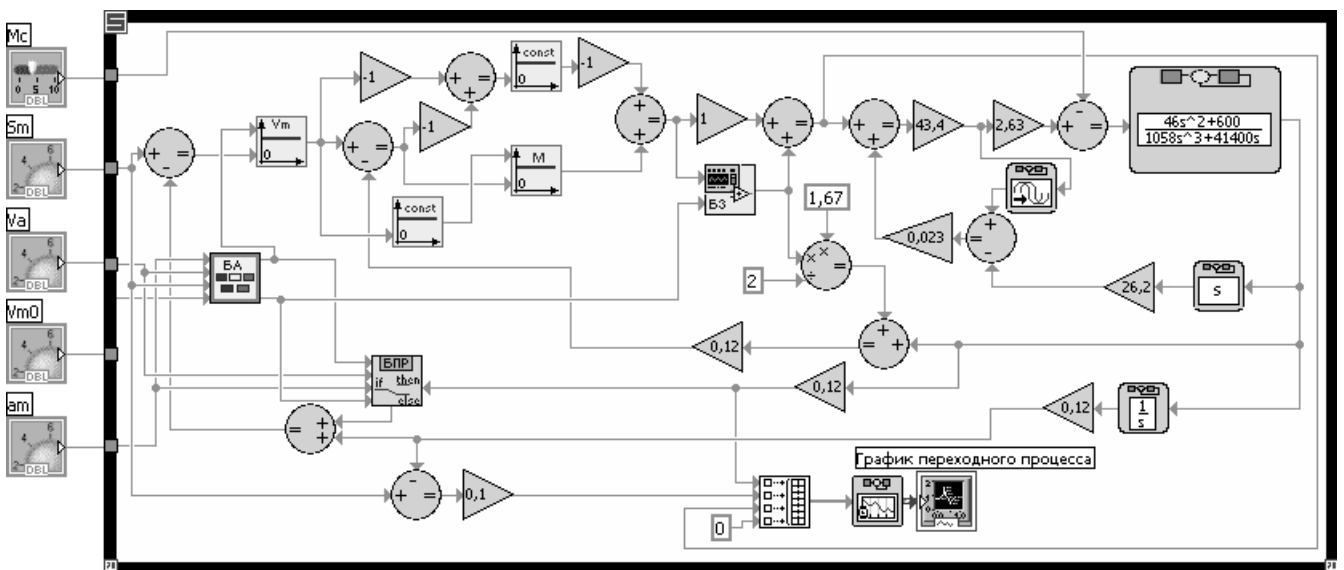


Рисунок 2 – Цифровая модель системы позиционного управления с адаптивным регулятором

Применение Labview позволяет произвести замену макетирования и натурного моделирования математическим моделированием, использованием эффективных методов многовариантного проектирования и оптимизации. Labview – среда разработки прикладных программ, в которой используется язык графического программирования. Среда Labview дает возможности, как для вычислительных работ, так и для построения приборов, проводить измерения физических величин в реальных установках. Особенностью реализации компьютерного моделирования в Labview является то, что сама среда относится к потоковым системам программирования. В связи с этой особенностью возникает необходимость

применения при моделировании сложных динамических систем постоянного шага моделирования и дополнительных звеньев запаздывания с задержкой, равной шагу моделирования.

Блок адаптации (БА), блок переключения режимов (БПР) и блок задержки (БЗ) реализованы в виде подсистем (подприборов), в которых реализованы вышеприведенные математические алгоритмы. Результаты компьютерного моделирования приведены на рис. 3 для двух значений  $S_m$  ( $S_m > S_{r1}$  и  $S_{r1} > S_m > S_{r2}$ ) и различных периодов запаздывания  $t_1$  (оптимальный период  $t_{10} = 0,5$ ;  $t_1 = 0,8 > t_{10}$ ;  $t_1 = 0,4 < t_{10}$ ).

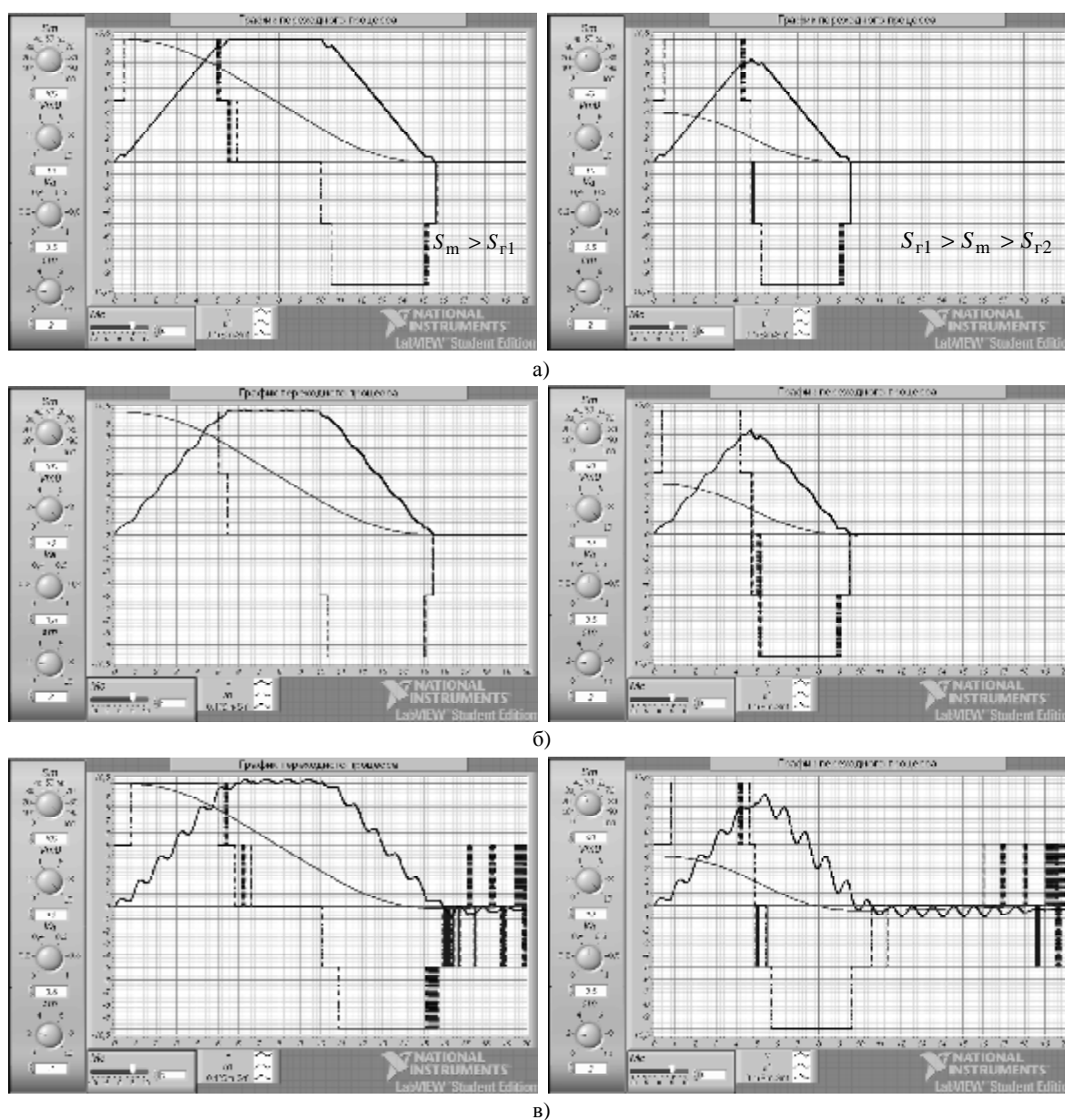


Рисунок 3 – Результаты компьютерного моделирования системы позиционного управления с адаптивным регулятором:

а) -  $t_1 = 0,5$ ; б) -  $t_1 = 0,4$ ; в) -  $t_1 = 0,8$

Работа системы позиционного управления начинается с момента подачи сигнала заданного перемещения  $S_m$  на вход нелинейного элемента 1 (НЭ1), выход которого равен сигналу максимальной скорости  $V_m$ , если  $\Delta S > 0$ , и нулю, если  $\Delta S \leq 0$ . Сигнал  $V_m$  подается сразу на три НЭ (2, 3, 4), причем на их выходах будут сигналы, равные  $0,5a_m$ , если входы положительны и равны нулю, если входы меньше или равны нулю. На выходе НЭ2 с помощью блока запаздывания формируется основной сигнал заданного ускорения  $a_1$ , равный  $0,5a_m$  при  $t < t_1$  и  $a_m$  при  $t > t_1$ .

Период разгона завершается, когда на входе НЭ2 сигнал  $\Delta V = V_m - V - V_a \leq 0$ . С этого момента и до установившейся максимальной скорости сигнал  $a_1 = 0,5a_m$ .

Замедление системы начинается с момента равенства нулю сигнала  $\Delta S$  на входе НЭ1.

В результате выходной сигнал НЭ2 станет равным нулю и за счет НЭ4  $a_1$  поменяет знак, причем, как и при разгоне, вначале  $a_1 = 0,5a_m$ , через время  $t_1$   $a_2 = a_m$ , а при  $V < V_a$  снова  $a_1 = 0,5a_m$ . Если  $S_m < S_{r2}$ , то блок запаздывания отключается и скорость будет изменяться по треугольной диаграмме с ускорением  $a_1 = 0,5a_m$ .

Приведенная методика моделирования может быть применена для ЭМС с разветвленными упругими звеньями с поступательным перемещением рабочих органов, например, для шахтных подъемных установок, в которых уменьшение колебаний концевых грузов имеет существенное значение. Структурная схема механической части таких ЭМС приведена на рис.4 [3].

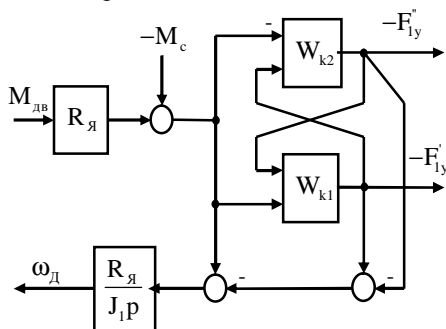


Рисунок 4 – Структурная схема механической части ЭМС с разветвленными упругими звеньями

На схеме рис. 4 приняты обозначения:  $R_{ш}$  - радиус канатопроводящего шкива,  $J_1$  - приведенный момент инерции электродвигателя с жестко присоединенными звеньями системы;  $W_{k1}$ ,  $W_{k2}$  - передаточные функции упругой системы:

$$W_{k1} = \frac{K_{m.л}(T_{п2}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1)}{T_{o2}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1};$$

$$W_{k2} = \frac{K_{m.o}(T_{o2}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1)}{T_{o1}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1},$$

где  $T_{п1}$ ,  $T_{п2}$ ,  $T_{o1}$ ,  $T_{o2}$  - постоянные времени упругих механических колебаний;

$$K_{мп} = \frac{\alpha_{11}(1 + \alpha_{12})}{\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{11}\alpha_{12}}; K_{мо} = \frac{\alpha_{21}(-1 + \alpha_{23})}{\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{11}\alpha_{12}},$$

$K_{мп}$ ,  $K_{мо}$  - коэффициенты динамических нагрузок;  $\omega_d$  - частота вращения двигателя.

#### Выводы.

1. Применение пакета Simulation среды Labview позволяет моделировать сложные ЭМС.

2. В системе управления с адаптивным нелинейным регулятором за счет автоматического определения оптимальных ограничений управляющих сигналов и блока запаздывания реализуются оптимальные режимы позиционирования.

3. Рассмотренная система управления справедлива для любого типа электропривода, так как переключающие сигналы пропорциональны только управляемым координатам (скорости, положению).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Чермалых В.М., Чермалых Т.В., Яценко О.Я. Оптимизация по динамическим нагрузкам электро-механических систем с задающей моделью // Сб. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: - 1996. – С. 79-80.

2. Чермалых В.М., Чермалых А.В., Данилин А.В. Фаззи-управление сложными электро-механическими системами с задающей моделью // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематический вып. 10. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – С. 418-420.

3. Чермалых В.М., Родькин Д.И., Каневский В.В. Системы электропривода и автоматики рудничных стационарных машин и установок. – М.: Недра, 1976. – 398 с.

4. Пейч Л.И., Точилин Д.А., Поллак Б.П. Labview для новичков и специалистов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 384 с.: ил.

5. Загидуллин Р.Ш. Labview в исследованиях и разработках. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 352 с.

Стаття надійшла 15.04.2007 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.