

2. Киншт Н. В., Герасимова Г. Н., Кац М. А. Диагностика электрических цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 192 с.
3. Влах И., Сингхал К. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем. – М.: Радио и связь, 1988. – 560 с.

The method of localization of defective subsystems of electronic devices, which is offered it is founded on principle of decomposition. It is shown, that by verification definitely of the formed hypotheses in relation to being of component parts of electronic devices (essence of analysis of their descriptions), and it is possible to select defective of subsystem. Efficiency of methods of localization is led to at diagnostics of electronic devices.

**Key words:** *diagnostics, localization of defective subsystem, principle of decomposition.*

Отримано: 05.06.2008

УДК 621.771.06

**А. А. Пушкин, А. В. Тимошенко**

*Донбасская государственная машиностроительная академия,  
г. Краматорск*

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОКАТНОГО СТАНА**

В работе производится исследование электромеханического взаимодействия электрической и механической подсистем в составе двухмассовой электромеханической системы прокатного стана на основе компьютерного моделирования в пакетах прикладных программ MathCAD и MATLAB Simulink.

**Ключевые слова:** *электромеханическая система, демпфирование, упругие связи, математическое моделирование, переходные процессы.*

**Введение.** Преодоление кризисных явлений в экономике Украины сопровождаются ограничением энергетических и материальных ресурсов, увеличением количества потребления энергии, усложнением требований технологических процессов, в связи с этим возникла необходимость более полного учета взаимодействия электропривода с приводными механизмами, которые содержат упругие связи.

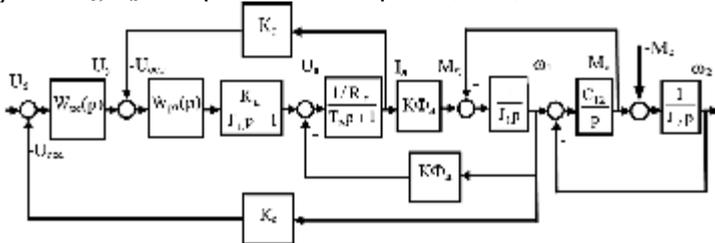
На сегодня, наиболее перспективным и рациональным способом подавления упругих колебаний является электротехнический, так как он прост в осуществлении, легко может использоваться для автоматизации любой электромеханической системы [1-2].

**Постановка задачи исследования.** Целью работы является исследование электромеханического взаимодействия парциальных

электрической (ЭП) и механической подсистем (МП) в составе двух-массовой электромеханической системы (ЭМС) прокатного стана с помощью пакетов прикладных программ.

**Материалы исследования.** Объектом исследования является прокатный стан с двигателем постоянного тока (ДПТ) и системой подчиненного регулирования (СПР) с паспортными данными:  $P_n=85\text{кВт}$ ;  $U_n=220\text{В}$ ;  $I_n=440\text{А}$ ;  $n_n=540\text{об/мин}$ ;  $J_1=8,25\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $T_3=0,084\text{с}$ ;  $U_d=460\text{В}$ ;  $T_n=0,005\text{с}$ . Структурная схема СПР приведена на *рис. 1*.

На *рисунке* приняты следующие обозначения:  $\omega_1, \omega_2$  – скорость двигателя и механизма;  $U_3$  – напряжения задания;  $I_a$  – ток якоря двигателя;  $M_d$  – момент развиваемый двигателем;  $M_c$  – момент статического сопротивления на валу двигателя;  $M_y$  – момент упругих колебаний;  $T_3$  – электромагнитная постоянная времени;  $K_T, K_c$  – коэффициенты обратных связей по току и скорости;  $K_n$  – коэффициент передачи преобразователя;  $K\Phi_n$  – коэффициент пропорциональности ЭДС скорости  $\omega_1$ ;  $R_y$  – сопротивление якорной цепи двигателя.



*Рис. 1. Структурная схема электропривода прокатного стана*

На основании структурной схемы, исследование динамики переходных процессов производим на основе передаточной функции по управляющему воздействию, знаменатель которой, характеристический полином, определяет демпфирующие свойства электропривода:

$$Q(p) = \frac{T_c T_m}{\Omega_{12}^2} p^4 + \frac{T_c}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma + T_c T_m \Omega_{12}^2}{\Omega_{12}^2} p^2 + T_c p + 1. \quad (1)$$

Вид корней характеристического уравнения определяет характер переходных процессов, который зависит от параметров:  $\gamma, \Omega_{12}, T_c, T_T$ .

Для выявления закономерностей электромеханического демпфирования более удобно пользоваться нормированной записью характеристического уравнения (1), что дает возможность определить наилучшие параметры ЭМС с предельным демпфированием [3; 4]:

$$Q(p) = K_e T_y^4 p^4 + 2\sqrt{K_e} \xi_0 T_y^3 p^3 + (K_e + \gamma) T_y^2 p^2 + 2\sqrt{K_e} \xi_0 T_y p + 1 = 0 \quad (2)$$

$$K_e^{opt} = 1, \quad \xi_0^{opt} = \sqrt{\gamma - 1}, \quad (3)$$

где  $K_e^{opt}, \xi_0^{opt}$  – оптимальные коэффициенты электромеханического взаимодействия и демпфирования соответственно.

Перейдем от обобщенных показателей ЭМС (3) к оптимальным значениям некомпенсированных постоянных времени контура тока и скорости:  $T_T^{opt}$ ,  $T_c^{opt}$  (4), при которых будет достигаться максимальное подавление упругих механических колебаний:

$$T_m^{onm} = \sqrt{K_g^{onm}} \frac{T_y}{2\xi_{\delta}^{onm}} = \frac{1}{2\sqrt{\gamma-1}\Omega_{12}}, T_c^{onm} = 2\sqrt{K_g^{onm}} \xi_{\delta}^{onm} T_y = \frac{2\sqrt{\gamma-1}}{\Omega_{12}}. \quad (4)$$

Для подтверждения полученных соотношений (4) произведем расчет на электронно-вычислительной машины (ЭВМ) корней характеристического уравнения в среде пакета прикладных программ MathCAD с помощью функции polyroots (V), где V – вектор-столбец коэффициентов полинома и построим переходный процесс в электромеханической системе прокатного стана координаты  $i_{\alpha}=f(t)$ , форма которого определяется расположением корней характеристического уравнения на комплексной плоскости (рис. 2). Как мы видим, полученные корни являются комплексно-сопряженными кратными, т.е. в ЭМС достигается максимальное электромеханическое взаимодействие с предельным демпфированием упругих механических колебаний и минимальной длительностью переходного процесса.

$$\gamma := 2 \quad \Omega_{12} := 9425 \quad T_T := 2 \cdot \frac{\sqrt{\gamma-1}}{\Omega_{12}} \quad T_c = 0.0212 \quad T_t := \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\gamma-1} \cdot \Omega_{12}} \quad T_t = 5.305 \times 10^{-3}$$

$$\text{polyroots} \left( \begin{pmatrix} 1 \\ T_c \\ \gamma + T_c \cdot T_t \cdot \Omega_{12}^2 \\ \Omega_{12}^2 \\ T_c \\ \Omega_{12}^2 \\ T_c \cdot T_t \\ \Omega_{12}^2 \end{pmatrix} \right) = \begin{pmatrix} -47.139 + 81.631i \\ -47.136 - 81.618i \\ -47.114 - 81.627i \\ -47.111 + 81.615i \end{pmatrix} \quad W(p) := \frac{\frac{1}{K_c}}{\frac{T_c \cdot T_t}{\Omega_{12}^2} p^4 + \frac{T_c}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma + T_c \cdot T_t \cdot \Omega_{12}^2}{\Omega_{12}^2} p^2 + T_c \cdot p + 1}$$

$$H(s) := \frac{1 \cdot W(s)}{s}$$

$$H(s) \begin{cases} \text{invlaplace, s} \\ \text{simplify} \end{cases} \rightarrow 440.0 + 1398 \cdot \exp(-48.69 \cdot t) \cdot \cos(83.23 \cdot t) + \dots - 6260 \cdot \exp(-45.56 \cdot t) \cdot \sin(80.12 \cdot t)$$

$$h2(t) := 440.0 + 1398 \cdot \exp(-48.69 \cdot t) \cdot \cos(83.23 \cdot t) + \dots - 6260 \cdot \exp(-45.56 \cdot t) \cdot \sin(80.12 \cdot t)$$

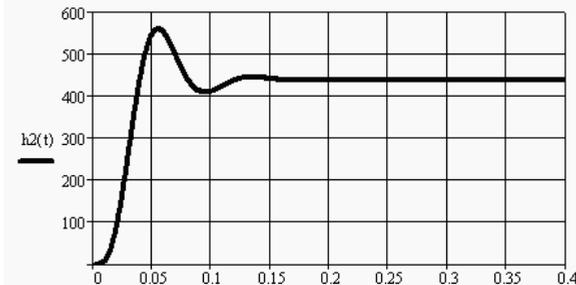


Рис. 2. Расчет корней характеристического уравнения и построение переходных процессов в среде пакета MathCAD

Исследовать динамические режимы наиболее целесообразным на математической модели с использованием такого пакета моделирования, которым является MATLAB. Наиболее известные области его применения являются: математика и вычисления; разработка алгоритмов; вычислительный эксперимент, имитационное моделирование, макетирование; анализ данных, исследование и визуализация результатов; научная и инженерная графика; разработка приложений, включая графический интерфейс пользователя.

Приложение Simulink, как составная часть MATLAB для обработки сигналов, позволяет быстро проецировать, моделировать и тестировать системы электропривода, используя интерактивно-визуальное моделирование. Это позволяет анализировать работу уже на самых ранних стадиях разработки проекта. Модель электропривода постоянного тока с системой подчиненного регулирования представим в виде типовых динамических звеньев системы (рис. 3), которые связаны между собой в соответствии с параметрами реальной схемы ЭМС прокатного стана (рис. 1). Схема модели в терминах пакета Simulink представлена следующими элементами: регулятор скорости, обеспечивающий поддержание скорости с заданной точностью; регулятор тока в составе контура тока способствует линеаризации нелинейных характеристик преобразователя при ограничении тока якоря в заданных пределах; управляемый преобразователь, предназначен для выпрямления входного напряжения; электродвигатель постоянного тока, являющийся объектом регулирования; отрицательные обратные связи по току и скорости, контролирующие фактические значения переменных.

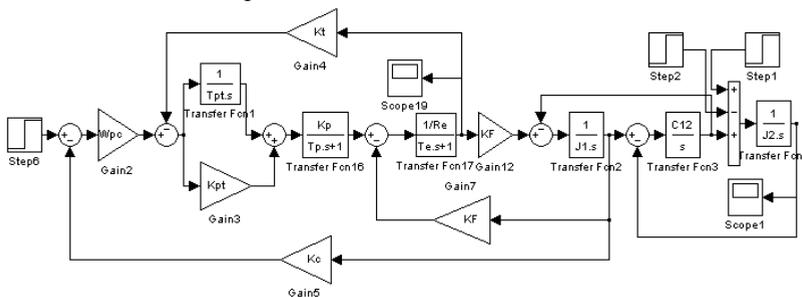


Рис. 3. Математическая модель электропривода в среде Matlab

На основе математической модели промоделируем замкнутый цикл работы электропривода прокатного стана с СПР и приведем графики переходных процессов для основных координат ЭМС при рекомендуемых настройках (4) (рис. 4).

На основании полученных графиков установим важные динамические показатели работы электропривода прокатного стана: логарифмический декремент затухания  $\lambda$ ; степень устойчивости ЭМС  $\eta$ ;

колебательность  $\mu$ ; перерегулирование  $\sigma$ ; время переходного процесса  $t_{пр}$ ; статическое  $\Delta\omega_c$  и динамическое  $\Delta\omega_d$  падение скорости; коэффициент динамичности  $K_d$  (табл. 1).

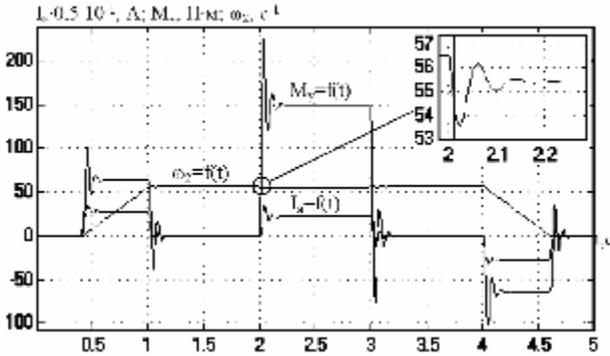


Рис. 4. Графики переходных процессов  $I_a=f(t)$ ,  $\omega_2=f(t)$  и  $M_y=f(t)$

Таблица 1

Динамические показатели качества работы ДПТ с СПР

| Показатели качества | $\lambda$ | $\eta$ | $\mu$ | $\sigma, \%$ | $t_{пр}, c$ | $\Delta\omega_c, \%$ | $\Delta\omega_d, \%$ | $K_d$ |
|---------------------|-----------|--------|-------|--------------|-------------|----------------------|----------------------|-------|
| ДПТ с СПР           | 5,06      | 34,4   | 1,24  | 42,8         | 0,18        | 2,2                  | 5,4                  | 1,42  |

Из вида переходных процессов можно сказать, что предельное демпфирование упругих механических колебаний с оптимальными динамическими показателями достигается при максимальном электромеханическом взаимодействии, т.е. при выполнении условий (4).

**Выводы.** На основе пакетов прикладных программ MathCAD и MATLAB Simulink исследованы электромеханические процессы в двухмассовой ЭМС прокатного стана с упругими механическими звеньями, установлены важные динамические показатели качества работы системы.

**Список использованной литературы:**

1. Земляков В. Д., Задорожний Н. А. О демпфировании электроприводом постоянного тока упругих электромеханических колебаний // Изв. вузов. Электромеханика. – 1984. – №5. – С.92-98.
2. Пушкин А. А. Исследование влияния параметров системы автоматического управления на демпфирование упругих колебаний в электроприводе // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск “Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика”. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С.573-574.
3. Пушкин А. А. Определение путей достижения минимума колебательности в электроприводе с упругими связями // Электротехника и электромеханика: материалы Всеукраинской научно-технической конференции

студентов, аспирантов, молодых ученых с международным участием. – Николаев: НУК, 2007. – С.77-82.

4. Тимошенко А. В., Пушкин А. А. Влияние параметров оптимизации системы подчиненного регулирования на демпфирующую способность электропривода // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика". – Випуск №7(128). – Донецьк, 2007. – С.107-112.

In work research of electromechanical interaction of electric and mechanical subsystems is made in structure of two-mass electromechanical system on the basis of computer modelling in a package of applied programs MathCAD and MATLAB Simulink.

**Key words:** *electromechanical system, damping, elastic connections, mathematical modelling, transients.*

Отримано: 11.04.2008

УДК 001.5:65.011.03

**К. Г. Романчук, Д. В. Стефанишин**

*Міжнародний економіко-гуманітарний університет  
ім. Степана Дем'янука, м. Рівне*

### **ВИКОРИСТАННЯ БАЙЄСІВСЬКОГО ПІДХОДУ ПРИ УПРАВЛІННІ РИЗИКАМИ АВАРІЙ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ**

Пропонується метод оцінки та управління ризиками аварій в складних системах з використанням байєсівського перетворення ймовірностей в рамках системної теорії надійності. Метод дозволяє оцінювати повний ризик аварій в складній системі як суму ризиків від відмов окремих підсистем з врахуванням особливостей структурної функції надійності системи, та ідентифікувати події, з якими пов'язуються визначальні ризики як складові повного ризику системних аварій. Поставлена задача оптимізації структури системи й мінімізації сумарного ризику аварій в системі за умов дефіциту ресурсів, що направляються на цілі забезпечення її надійності та безпеки.

**Ключові слова:** *байєсівський підхід, відмова, невизначеність, ризик аварій, складна система, структурна функція надійності.*

**Вступ.** Розвиток складних систем відбувається під впливом настільки великої кількості факторів, а допустимі стани системи визначаються настільки значною кількістю параметрів, що всі вони принципово не можуть бути врахованими в рамках класичних динамічних моделей. Кількість таких факторів і параметрів, що мають враховуватися, може бути практично необмеженою.