

УДК 621. 3.01

**Б.И. КУЗНЕЦОВ** (д-р техн. наук, проф), **В.В. КОЛОМИЕЦ** (канд. техн. наук, доц),  
**Т.Б. НИКИТИНА** (канд. техн. наук, доц), **И.В. БОВДУЙ**, **А.В. ВОЛОШКО**,  
**Е.В. ВИНИЧЕНКО**

Украинская инженерно-педагогическая академия  
 Научно-технический центр магнетизма технических объектов НАН Украины  
 bikuznetsov@mail.ru

## СРАВНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВЫХ РОБАСТНЫХ И ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ С СИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ЧЕРЕЗ ПРОКАТЫВАЕМЫЙ МЕТАЛЛ

*Разработана методика синтеза цифрового робастного управления главными приводами прокатных станов с синхронными двигателями в виде двухмассовой электромеханической системы для короткой линии и трехмассовой электромеханической системы для длинной линии с учетом взаимного влияния прокатных валков друг на друга в ходе прокатки через прокатываемый металл. Приведен пример сравнения динамических характеристик синтезированной системы робастного управления с системой с типовыми регуляторами.*

**Прокатный стан, главный привод, система цифрового робастного управления.**

**Введение.** Главные электроприводы вновь строящихся и реконструируемых прокатных станов комплектуются синхронными двигателями с частотными преобразователями [1-2]. В частности, на главных приводах Алчевского металлургического комбината установлены синхронные приводы переменного тока. Все зарубежные фирмы при модернизации прокатных станов также выполняют замену двигателей постоянного тока на двигатели переменного тока.

**Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами.** Мощные прокатные станы, как правило, выполняют с индивидуальным приводом без шестерённых клетей и с общим приводом, а вращение валкам передаётся посредством шпинделей от шестеренной клетки [3-5]. На прокатных станах с индивидуальными приводами коэффициенты динамичности верхней и нижней приводных линий различны: в менее жесткой верхней линии коэффициент динамичности больше, чем в нижней. Крутящие моменты в шпинделях, как правило, распределяются неравномерно вследствие разности скоростей вращения валков, различных условий трения на контактных поверхностях между подкатом и валками, различной температуры верхних и нижней поверхностей подката и др.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В работах [3-5] рассмотрены вопросы синтеза систем управления главными приводами с двигателями постоянного тока для математических моделей в виде двух и трехмассовых электромеханических систем. Однако современные главные приводы комплектуются синхронными двигателями с частотными преобразователями [2]. В работах [5-6] рассмотрены вопросы синтеза систем непрерывного управления главными приводами для математических моделей в виде двух и трехмассовых электромеханических систем при непрерывном управлении. Однако, все современные системы управления электроприводами строятся на цифровой элементной базе.

**Цель работы.** Целью данной работы является разработка методики синтеза цифрового робастного управления главными приводами прокатных станов с синхронными двигателями переменного тока и с учетом их взаимного влияния через прокатываемый металл и сравнение динамических характеристик робастного управления с типовыми регуляторами.

**Изложение материала исследования и полученных результатов.**

При векторном управлении синхронными приводами в большинстве систем управления реализован алгоритм прямого управления моментом двигателя [2]. Введем вектор состояния этой системы следуя работе [6], компонентами которой являются

$$\vec{X}(t) = \left\{ \begin{array}{l} \omega_{v1}(t), M_{y12}(t), \omega_p(t), M_{y11}(t), \omega_{d1}(t), \\ \omega_{v2}(t), M_{y2}(t), \omega_{d2}(t), M_c(t) \end{array} \right\}^T.$$

Введем вектор управления, компонентами которого являются моменты первого и второго двигателей  $M_{d1}$  и  $M_{d2}$ , а также момент сопротивления  $M_c$ , так, что вектор управления примет следующий вид

$$\vec{U}(t) = \{M_{d1}, M_{d2}, M_c\}^T.$$



$$\vec{X}(t) = \left\{ \begin{array}{l} \omega_{B1}, M_{y12}, \omega_p, M_{y11}, \omega_{d1}, M_{d1}, \\ Z_1, \omega_{B2}, M_{y2}, \omega_{d2}, M_{d2}, Z_2, M_c \end{array} \right\}^T.$$

Тогда матрицы состояния, управления и возмущения примут следующий вид

$$A = \begin{array}{|ccccc|} \hline A_{11} & B_{11} & & A_{12} & & A_{13} \\ \hline & & & & & \\ \hline -C_1 & & 1 & & & \\ \hline A_{21} & & & A_{22} & B_{22} & A_{23} \\ \hline & & & & 1 & \\ \hline & & & -C_2 & & 1 \\ \hline & & & & & A_{33} \\ \hline \end{array} \quad B = \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline \\ \hline \\ \hline 1 \\ \hline \\ \hline \end{array} \quad B_3 = \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline 1 \\ \hline \\ \hline \\ \hline 1 \\ \hline \\ \hline \end{array} \quad F = \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline B_{33} \\ \hline \end{array}.$$

Здесь матрицы выхода по скорости вращения двигателя верхнего вала равна

$$C_1 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

и по скорости вращения двигателя нижнего вала равна

$$C_2 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & & 1 \\ \hline \end{array}.$$

Следует заметить, что при синтезе системы используется матрица управления  $B$ , когда компонентами вектора управления являются задания на регуляторы моментов первого и второго двигателя. После синтеза робастных регуляторов для исследования динамических характеристик синтезированной системы используется матрица управления  $B_3$ , у которой компонентами вектора управления являются задающие воздействия на регуляторы скорости вращения верхнего и нижнего валков. Для исследования динамических характеристик синтезированной системы по возмущающему воздействию используется матрица возмущения  $F$ , у которой возмущением является момент сопротивления.

Для нахождения цифрового робастного регулятора необходимо решить два уравнения Риккати по управлению и по наблюдению.

**Результаты моделирования.** В качестве примера на рис. 1 показаны переходные процессы переменных состояния трехмассовой электромеханической системы верхнего вала, а на рис. 2, 3 показаны переходные процессы переменных состояния двухмассовой электромеханической системы нижнего вала в системе управления индивидуальными приводами с синхронными двигателями с учетом взаимного влияния приводов через прокатываемый металл в цифровой системе с П регулятором – пунктирная линия и с робастным регулятором – сплошная линия. Выполнено сравнение динамических характеристик синтезированных систем с робастными и типовыми регуляторами. Как видно из этих графиков, переходные процессы в системе с П регулятором имеют большую колебательность по сравнению с переходными процессами в системе с робастными регуляторами.

**Выводы из приведенного исследования, перспективы этого направления.** Разработана методика синтеза цифрового робастного управления скоростями вращения верхнего и нижнего валков прокатного стана с синхронными двигателями.

В системе учитывается взаимное влияние валков друг на друга через прокатываемый металл. Система является двухканальной, так как имеет два задающих воздействия по скорости вращения верхнего и нижнего валков. Применение робастных регуляторов состояния позволяет уменьшить колебательность переходных процессов при практически том же быстродействии системы и одновременно уменьшить чувствительность синтезированной системы к изменению параметров модели объекта управления.

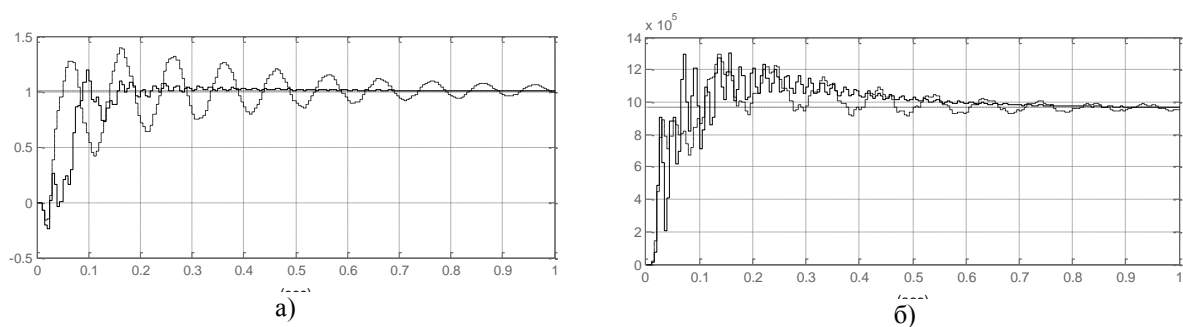


Рисунок 1 - Переходные процессы: а) скорости вращения верхнего вала  $\omega_{B1}$ ; б) момента упругости в тихоходном валу  $M_{y12}$ ;

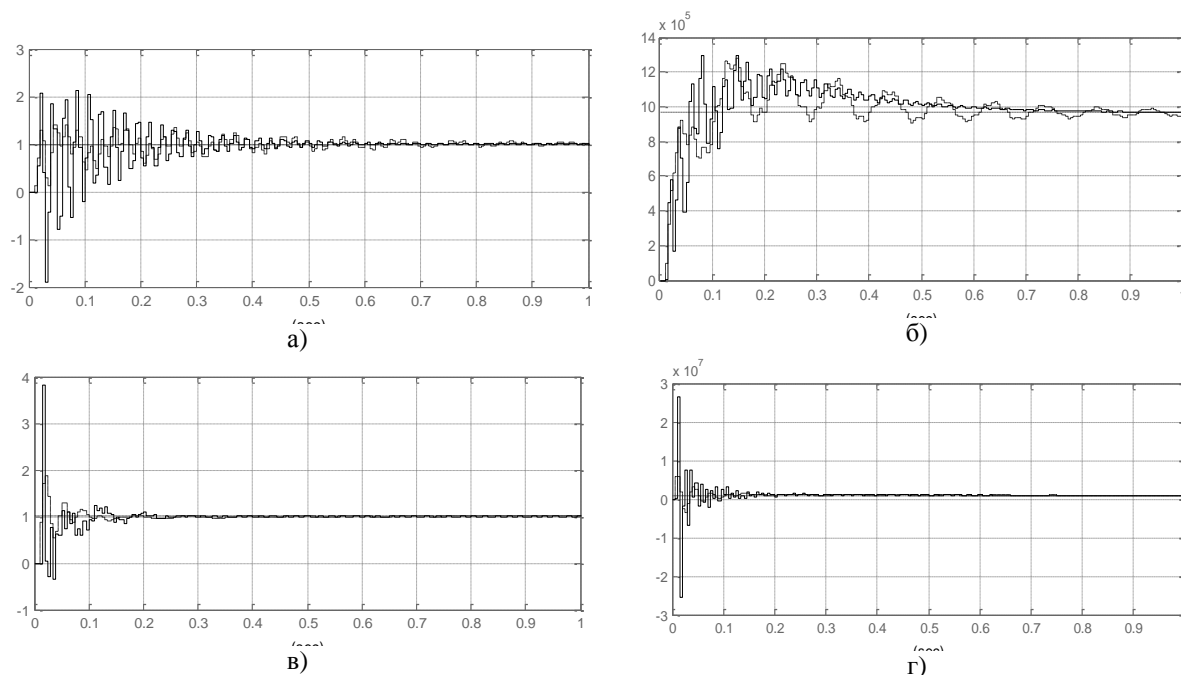


Рисунок 2 - Переходные процессы: а) скорости вращения редуктора верхнего валка  $\omega_p$ ; б) момента упругости в быстроходном валу  $M_{y11}$ ; в) скорости вращения двигателя верхнего валка  $\omega_{d1}$ ; г) момента двигателя верхнего валка  $M_{d1}$  в цифровых системах

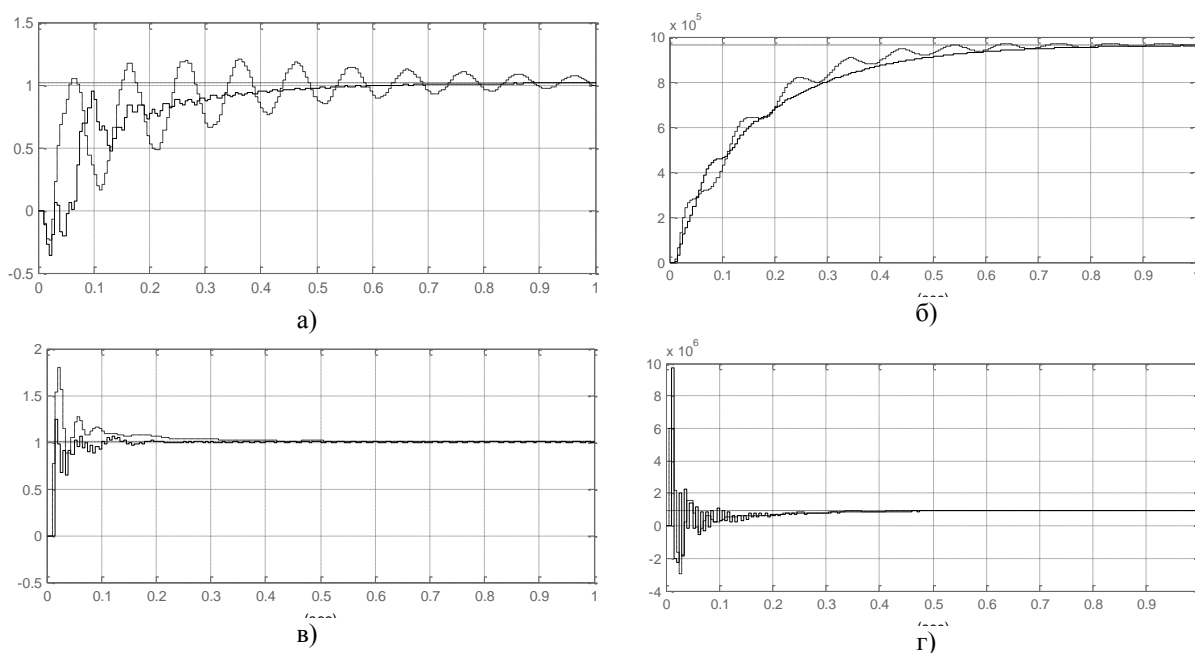


Рисунок 3 - Переходные процессы: а) скорости вращения нижнего валка  $\omega_{b2}$ ; б) момента упругости вала нижнего валка  $M_{y2}$ ; в) скорости вращения двигателя нижнего валка  $\omega_{d2}$ ; г) момента двигателя нижнего валка  $M_{d2}$  в цифровых системах

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айгнер Х. Модернизация приводов широкополосного стана горячей прокатки фирмы Voestalpine Stahl / Айгнер Х., Фухс А. // Черные металлы. – 2006. – С. 45-47.
2. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока / Перельмутер В.М. – Харьков: Основа, 2004. – 210 с.
3. Кузнецов Б.И. Проектирование многоканальных систем оптимального управления / Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Богаенко И.Н. – К.: Техника, 1993. – 242 с.

4. Кузнецов Б.И. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями / Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. – Харьков, УИПА.2005. – 511 с.

5. Кузнецов Б.И. Оптимальное управление главным приводом блюминга в режиме пробуксовки валков / Кузнецов Б.И., Осичев А.В., Чаусов А.О. // Техническая электродинамика. – 2000. – Ч.6. – С. 23-28.

6. Математическая модель индивидуальных главных электроприводов прокатных станов с синхронными двигателями и с учетом их взаимного влияния через прокатываемый металл / [Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Бовдуй И.В., Волошко А.В., Виниченко Е.В.] // Технічна електродинаміка. – 2010. – Ч.2. – С. 207-212.

Надійшла до редколегії 24.03.2011

Рецензент: С.Ф.Артюх

Б.И. КУЗНЕЦОВ, В.В. КОЛОМИЕЦ,  
Т.Б. НИКИТИНА, И.В. БОВДУЙ, А.В. ВОЛОШКО,  
Е.В. ВИНИЧЕНКО

Українська інженерно-педагогічна академія  
Науково-технічний центр магнетизму технічних  
об'єктів НАН України

B. KUZNETSOV, V. KOLOMIETS,  
I. BOVDYJ, A. VOLOSHKO,  
E. VINICHENKO

National Academy of Scientific and Technical Center of  
Magnetism of Technical Objects

**Порівняння динамічних характеристик цифрових типових і робастних регуляторів головних приводів прокатних станів з синхронними двигунами з урахуванням їх взаємного впливу через прокатуваний метал.** Розроблено методику синтезу цифрового робастного керування головними приводами прокатних станів із синхронними двигунами у вигляді двомасової електромеханічної системи для короткої лінії та тримасової електромеханічної системи для довгої лінії з урахуванням взаємного впливу прокатних валків один на одного у ході прокатки через метал, що прокатується. Наведено приклад динамічних характеристик синтезованої системи.

**Прокатний стан, головний привід, система цифрового робастного управління.**

**Comparing of Dynamic Descriptions of Digital Typical and Robust Regulators of Main Drives of Flattening Mills to the Synchronous Motor Taking Into Account Their Cross-Coupling Through the Rolled Metal.** The method of digital robust control synthesis by main drives of flattening mills as a two-mass electro mechanics system for the short line and as a three-mass electro mechanics system for the long line taking into account the resilient elements in transmissions boundary path by the executive motors, reducing gears and rental felling by the mutual influencing of rental rollers on each other during rolling through the rolled metal are developed. The example of dynamic characteristics for such system is given.

**Rolling mills, main drives, digital robust control system.**