

University], 2011, no. 2, pp. 59-64.

5. Mugalimov R.G., Mugalimova A.R., Mugalimova M.R. Prospects for the use induction motors with individual reactive power compensation in industrial motor drives. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta* [Bulletin of the Ivanovo State Power University], 2012, issue 6, pp. 114-118.

6. Mugalimov R.G., Mugalimova A.R. Definition of the capacity of the compensating capacitor induction motor with individual reactive power compensation. *Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of the TulGU. Technical sciences], 2010, issue 3, part 4, pp. 115-120.

7. Mugalimov R.G. Induction motors with individual compensation of reactive power and electric drives based on them [Asinkhronnyye dvigateli s individual'noy kompensatsiyey reaktivnoy moshchnosti i elektroprivody na ikh osnove]. Magnitogorsk: NMSTU, 2011. 250 p.

8. Korn G., Korn T. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers [*Spravochnik po matematike dlja nauchnykh rabotnikov i inzhenerov*]. Moscow: Nauka, 1970. 720 p.

9. Mugalimov R.G., Mugalimova A.R. For the design of energy-efficient induction motor with individual compensation of reactive power. *Elektromechanicheskie i electromagnitnie preobrazovateli energii i upravlyaemie energomechanicheskie sistemy* [Electromechanical and electromagnetic energy converters the managed energy-mechanical systems]: proceedings of the III International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg: Ural State Technical University, 2007, pp. 77-80.

10. Mugalimov R.G., Mugalimova A.R. Technology for reconstruction of traditional induction motors to energy saving variants. *Mashinostroenie* [Electronic Journal «Engineering»]. 2013, no.1, pp. 56-61.

УДК 621.31

Шохин В.В., Пермьякова О.В., Кисель Е.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ

Проводится моделирование электромеханической системы реверсивной клетки прокатного стана с учетом зазоров в механических передачах и упругих связей.

Ключевые слова: моделирование электропривода, прокатный стан, система автоматического регулирования скорости, структурная схема.

ВВЕДЕНИЕ

Динамические режимы работы реверсивных клетей прокатных станов оказывают существенное влияние на надежность и долговечность электрического и механического оборудования, так как наличие зазоров и упругих связей в механических передачах приводит к появлению значительных динамических моментов. Проводится исследование работы реверсивной клетки листового стана горячей прокатки 2500 ОАО «ММК». Привод валков клетки индивидуальный. Каждый валок приводится во вращение двигателем постоянного тока, который питается от реверсивного тиристорного преобразователя. Система автоматического регулирования скорости (САРС) двухзонная с зависимым ослаблением поля в функции ЭДС якоря двигателя (рис. 1). САРС электроприводов нижнего и верхнего валков одинаковы.

Системы регулирования выполнены с использованием принципа подчиненного регулирования координат [1]. Настройка контуров регулирования проведена по модульному оптимуму, при этом в контурах скорости и ЭДС применены корректирующие устройства для сохранения настройки этих контуров неизменными при ослаблении потока возбуждения двигателя. В модели учтена нелинейность кривой намагничивания двигателя.

Передача крутящего момента на верхний валок осуществляется через вал, упругость которого учитывается при моделировании работы клетки [2]. Нижний валок связан с двигателем через редуктор, при этом также рассматриваются упругие свойства механической передачи. При моделировании учитываются возможные зазоры в элементах механических передач.

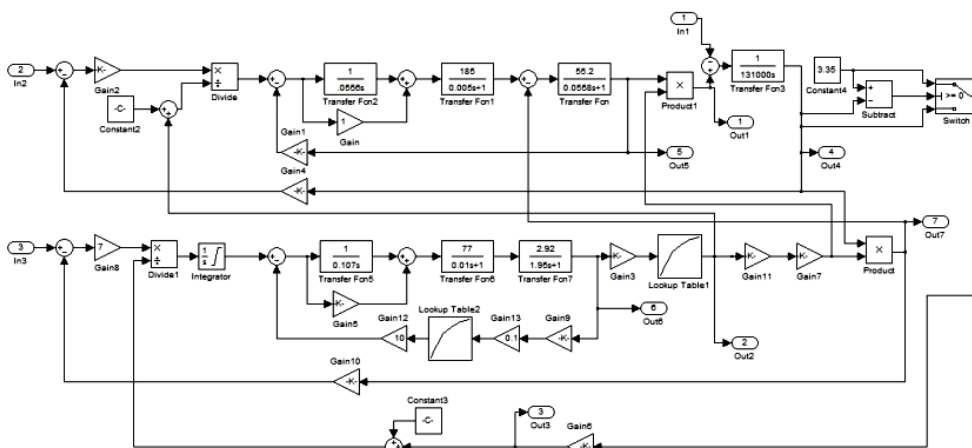


Рис. 1. Модель электропривода валка

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование работы электропривода осуществляется с помощью пакета *SIMULINK* программной среды *MATLAB* [3]. Составлена модель двухзонной САРС (см. **рис. 1**), которая в дальнейшем представляется в виде подсистемы общей структуры электромеханической системы.

Настройка электропривода характеризуется осциллограммой (**рис. 2**), на которой показаны ток (1), скорость (2), ЭДС (3), магнитный поток (4) и момент (5) электродвигателя при его разгоне до скорости выше номинальной и набросе нагрузки.

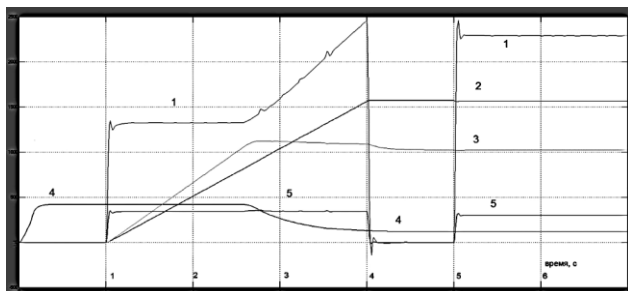


Рис. 2. Осциллограммы к модели электропривода валка

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки адекватности составленной модели электромеханической системы клетки проводился расчет переходных процессов в различных режимах работы, при этом параметры механической части выбирались таким образом, чтобы проявилась наглядность действия исследуемых факторов – упругости вала и зазора в механической передаче. Исследовались переходные процессы в электромеханической системе при скачкообразном увеличении и снижении (через 0,5 с) сигнала задания скорости валка, а также при увеличении и снижении (через 1 с) момента нагрузки на валок.

С целью сравнения результатов моделирования проведено исследование работы электромеханической системы верхнего и нижнего валков при их жесткой связи между собой. Структурная схема для этого случая представлена на **рис. 3**, а осциллограммы момента и скорости двигателей – на **рис. 4**. На осциллограммах сверху вниз показаны скорость верхнего валка, скорость нижнего валка, момент двигателя верхнего валка, момент двигателя нижнего валка.

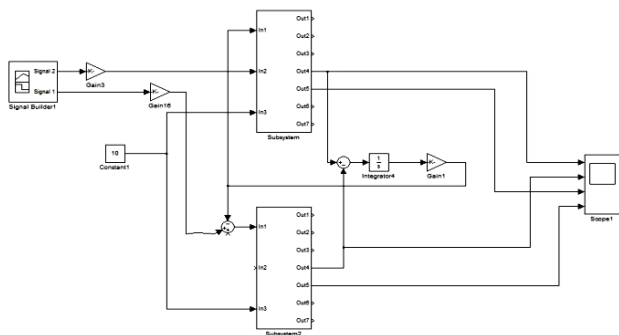


Рис. 3. Модель жесткой связи валков

Из осциллограмм видно, что при увеличении задания скорости на верхний валок нижний валок также вращается, при этом момент двигателя нижнего валка отрицательный, а режим работы двигателя – рекупера-

тивный. При набросе нагрузки на нижний валок отклонения скорости двигателей отрицательные, т.е. скорости одновременно снижаются. Моменты двигателей верхнего и нижнего валков при этом возрастают.

Осциллограммы на **рис. 6** показывают работу электропривода одного валка при наличии упругой связи и зазора в механической передаче между двигателем и валком. На осциллограмме изображены (сверху вниз) скорость вращения двигателя, скорость вращения валка и момент двигателя. Структурная схема для этого случая представлена на **рис. 5**.

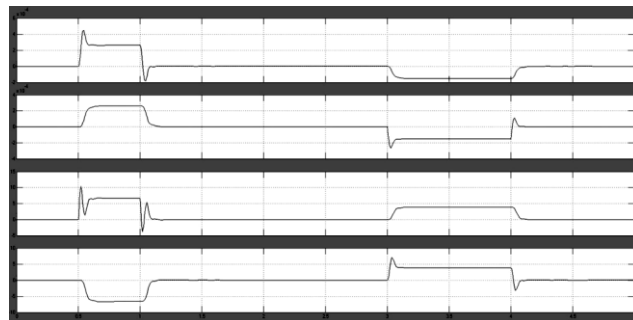


Рис. 4. Работа клетки при жесткой связи валков

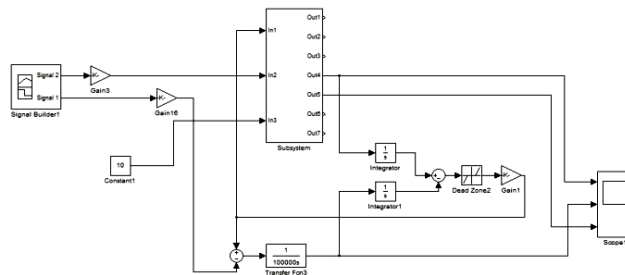


Рис. 5. Модель электропривода валка с упругостью и зазором

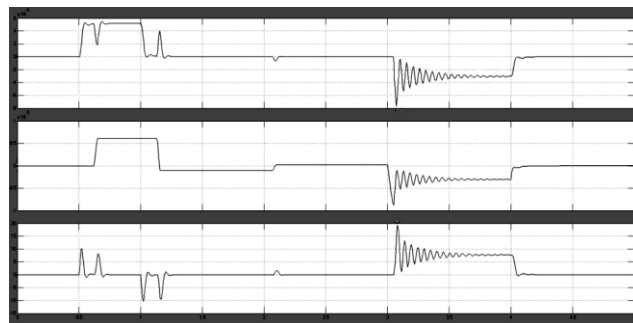


Рис. 6. Работа электропривода валка с упругостью и зазором

Рассматриваются переходные процессы момента и скорости двухмассовой электромеханической системы при набросе нагрузки со стороны валка. Видно, что при увеличении скорости двигателя из-за зазора в механической передаче валок начинает вращаться через некоторый промежуток времени. В момент закрытия зазора происходит ударное увеличение момента на валу двигателя и скорость его снижается, но затем под действием работы САРС и увеличения тока двигателя скорость восстанавливается, происходит вращение валка. После снятия сигнала задания скорости двигатель останавливается, но остановка валка происходит через некоторое время, при этом также происходит удар в механической передаче, что приводит к кратковременному возрастанию скорости двигателя и отри-

цательного момента. Некоторое время валок еще вращается с отрицательной скоростью, при этом двигатель не вращается, но после закрытия зазора система приходит в начальное состояние.

При набросе нагрузки на валок его скорость сразу же начинает снижаться, а через некоторое время снижается скорость двигателя и возрастает его момент, при этом для заданных параметров механической части электромеханической системы и параметров электропривода наблюдается колебательный переходный процесс.

Общая модель электромеханической системы верхнего и нижнего валков прокатной клетки с учетом зазоров и упругостей механических передач и жесткой связи верхнего и нижнего валков показана на **рис. 7**.

Рассмотрены переходные процессы в этой системе (**рис. 8**) при разгоне и торможении привода и набросе и сбросе нагрузки. Порядок переменных на осциллограммах (сверху вниз): скорость вращения двигателя верхнего валка, скорость вращения верхнего валка, задание момента статического на оба валка, угол поворота вала двигателя, угол поворота верхнего валка, скорость двигателя нижнего валка, скорость нижнего валка, момент двигателя нижнего валка, угол поворота вала двигателя нижнего валка, угол поворота нижнего валка.

полнена настройка контура скорости по модульному оптимуму. При набросе нагрузки переходный процесс колебательный.

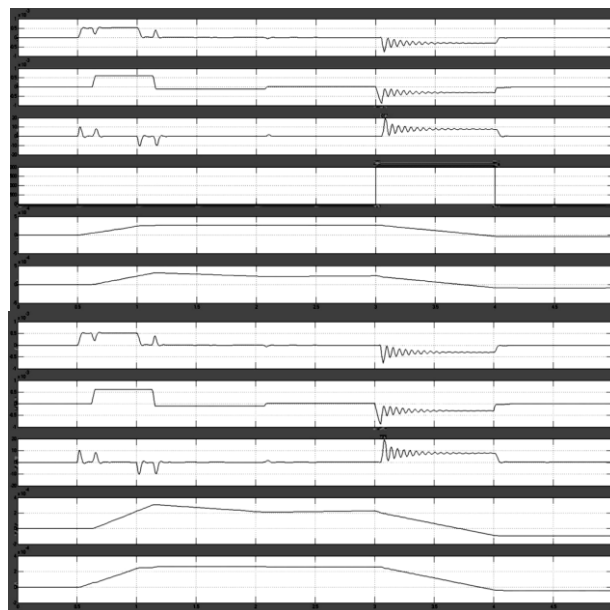


Рис. 8. Осциллограммы работы клетки

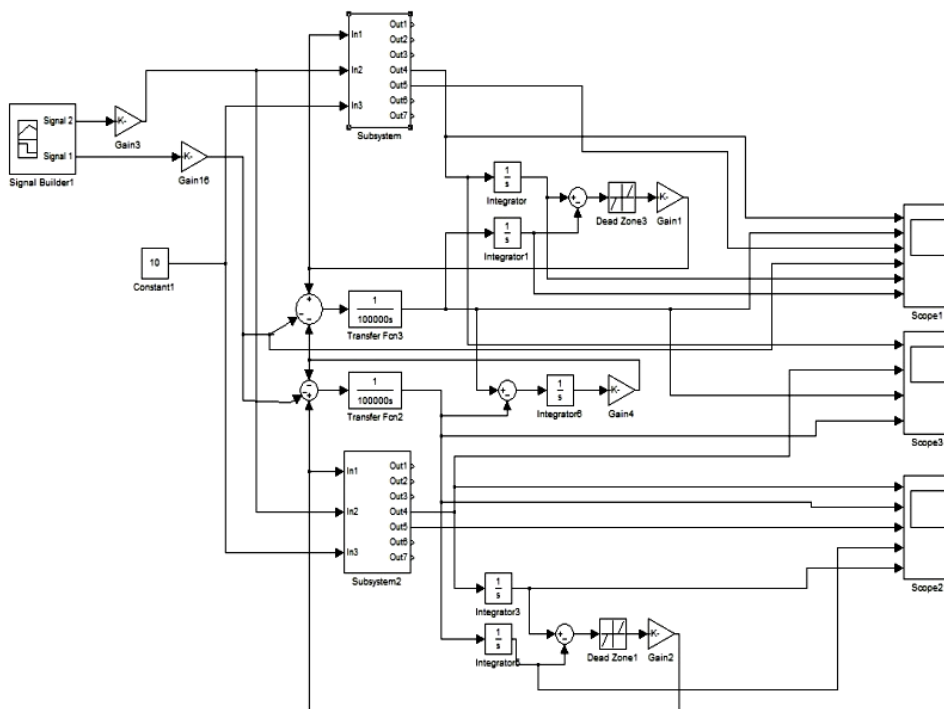


Рис. 7. Модель электропривода клетки

На осциллограммах видно, что изменение скорости валков происходит после закрытия зазоров в механических передачах, при этом из-за резкого изменения нагрузки в электроприводах валков наблюдаются броски тока, свидетельствующие об ударах в механических передачах. При набросе нагрузки со стороны валков происходит снижение их скоростей, но после закрытия зазоров возрастают токи двигателей, наблюдается просадка скорости в электроприводе, так как вы-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ представленных предварительных результатов моделирования показывает, что разработанные модели адекватно описывают процессы в рассматриваемой электромеханической системе и позволяют провести широкие исследования работы электромеханической системы реверсивной прокатной клетки с учетом упругих связей и зазоров в механической передаче.

С помощью моделей можно проанализировать влияние параметров механической части электромеханической системы и параметров настройки электроприводов клеток на работу прокатной клетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы управления электроприводов: учебник для вузов / В.М.Терехов, О.И.Осипов; под ред.В.М.Терехова. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 304 с.
2. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода: учеб. пособие для вузов. М.: Энергия, 1979. 616 с.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystem* и *Simulink*. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.

INFORMATION IN ENGLISH

RESEARCH OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF ROLL STAND

Shokhin V.V., Permyakova O.V., Kisel E.S.

Simulation of electromechanical system of reversing rolling stand with regard to gaps in mechanical transmissions and elastic links is carried out.

Keywords: electric drive modeling, rolling mill, system of automatic speed control, block diagram.

REFERENCES

1. Terekhov V.M., Osipov O.I. *Sistemy upravleniya elektroprivodov* [Electric drive control system]. Textbook for University students. Under the editorship of V.M. Terekhov.

Moscow: Publishing centre «Academy», 2005. 304 p.

2. Chilikin M.G., Klyuchev V.I., Sandler A.S. *Teoriya avtomatizirovannogo elektroprivoda* [Theory of automatic electric drive]. Textbook for Universities. Moscow: Energy, 1979. 616 p.

3. Chernykh I.V. *Modelirovanie elektrotehnicheskikh ustroystv v MATLAB, SimPowerSystem i Simulink* [Modeling of electrical facilities in MATLAB, SimPowersystem and Simulink]. Moscow: DMK Press; St. Petersburg: Piter, 2008. 288 p.