

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ ПРОКАТНОГО СТАНА

Шохин Валерий Владимирович, к.т.н., доцент, МГТУ им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел: +7(3519) 43-12-56, e-mail: shww@mgn.ru

Храмшин Вадим Рифхатович, д.т.н., профессор, МГТУ им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел: +7(3519) 43-12-56, e-mail: hvrnmg@gmail.com, ORCID 0000-0003-0972-2803

Пермякова Ольга Валерьевна, ст. преподаватель, МГТУ им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел: +7(3519) 43-12-56

Храмшин Рифхат Рамазанович, к.т.н., доцент, МГТУ им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел: +7(3519) 43-12-56, e-mail: hramshinrr@mail.ru

Аннотация. Авторами статьи предложена методика снятия частотных характеристик для взаимосвязанных мехатронных систем непрерывного прокатного стана, с помощью которой определяются амплитудная характеристика как отношение амплитуд входного и выходного синусоидальных сигналов и фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами (фазовая характеристика) при различных значениях частот входного сигнала. Предлагаемая методика использована для определения частотных характеристик взаимосвязанных электроприводов непрерывного прокатного стана, в котором свойства полосы в межклетьевом промежутке зависят от скорости прокатки. Проведенные исследования показали, что свойства исследуемого прокатного стана определяются в основном свойствами полосы в межклетьевом промежутке и существенно зависят от скорости прокатки. Полученные результаты могут быть использованы при синтезе регуляторов натяжения на непрерывных прокатных станах. Моделирование выполнено в программной среде Matlab, приложения Simulink.

Ключевые слова: прокатный стан, мехатронные системы, регулирование межклетьевого натяжения, частотные характеристики, синтез регуляторов, моделирование.

USE OF FREQUENCY CHARACTERISTICS FOR ANALYSIS OF THE WORK OF MECHATRONIC SYSTEMS OF THE ROLLING MILL

Shokhin Valery Vladimirovich, Ph.D., Associate Professor, MSTU. G.I. Nosova, Russia, 455000, Magnitogorsk, 38 Lenin Ave. Tel: +7 (3519) 43-12-56, e-mail: shww@mgn.ru

Khramshin Vadim Rifkhatovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, MSTU G.I. Nosova, Russia, 455000, Magnitogorsk, 38 Lenin Ave. Tel: +7 (3519) 43-12-56, e-mail: hvrnmg@gmail.com, ORCID 0000-0003-0972-2803

Permyakova Olga Valeryevna, Art. Lecturer, MSTU G.I. Nosova, Russia, 455000, Magnitogorsk, 38 Lenin Ave. Tel: +7 (3519) 43-12-56

Khramshin Rifkhat Ramazanovich, Ph.D., Associate Professor, MSTU. G.I. Nosova, Russia, 455000, Magnitogorsk, 38 Lenin Ave. Tel: +7 (3519) 43-12-56, e-mail: hramshinrr@mail.ru

Annotation. The authors of the article proposed a method for taking frequency characteristics for interconnected mechatronic systems of a continuous rolling mill, with the help of which the amplitude characteristic is determined as the ratio of the amplitudes of the input and output sinusoidal signals and the phase shift between the input and output signals (phase characteristic) at various frequencies of the input signal. The proposed technique was used to determine the frequency characteristics of interconnected electric drives of a continuous rolling mill, in which the strip properties in the inter-stand gap depend on the rolling speed. Studies have shown that the properties of the investigated rolling mill are determined mainly by the properties of the strip in the interstand space and substantially depend on the rolling speed. The results can be used in the synthesis of tension regulators on continuous rolling mills. The simulation was performed in the Matlab software environment, the Simulink application.

Key words: rolling mill, mechatronic systems, regulation of intercellular tension, frequency characteristics, synthesis of regulators, modeling.

Введение

В черновых клетях непрерывных станов горячей прокатки для регулирования натяжения используют системы косвенного регулирования, в которых стабилизируют момент прокатного двигателя [1-11]. В таких системах точность регулирования натяжения зависит от изменений технологических параметров при прокатке в клети [12-15]. Частота таких изменений зависит от условий прокатки, от скорости прокатываемого металла [16-17]. Указанные системы регулирования могут способствовать выравниванию размеров проката [15-18]. С тем, чтобы выяснить возможности таких систем с точки зрения точности регулирования натяжения и способности выравнивания размеров проката, необходимо определить динамические свойства прокатного стана с взаимосвязанными системами автоматизированного электропривода клетей. Для этого удобно воспользоваться частотными характеристиками.

Использование возможностей программной среды Matlab [14] по определению частотных характеристик для исследования взаимосвязанных электроприводов непрерывного прокатного стана ограничено, так как свойства прокатного стана зависят от режима работы, в частности от скорости. В приложении Simulink можно рассчитать частотные характеристики систем с неизменными свойствами, поэтому в данном случае оно не применимо. В рассматриваемом случае снятие частотных характеристик должно заключаться в первоначальной установке режима работы, а затем подаче синусоидального сигнала на вход исследуемой системы и фиксации амплитуд и сдвига фаз входного и выходного сигналов. Затем изменяется частота входного сигнала и работа повторяется. В связи с большой трудоемкостью этих исследований целесообразно создать программу, которая позволяла бы в некоторой степени автоматизировать эту работу, которая сводилась бы только к установке параметров входного сигнала, а все остальные операции выполнялись бы по разработанной программе.

Разработка программы снятия частотных характеристик

Частотные характеристики описывают реакцию системы на типовой входной синусоидальный сигнал [19], при этом определяются амплитудная характеристика как отношение амплитуд входного и выходного сигналов и фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами (фазовая характеристика) при различных значениях частот входного сигнала (рис. 1). Функциональная схема программы снятия частотных характеристик показана на рис. 2.

В этой программе амплитуда сигнала определяется для положительных значений в момент времени, когда изменяется знак производной сигнала с положительного на отрицательное значение. Значения амплитуд входного и выходного сигналов запоминаются и далее обрабатываются по соответствующим формулам для определения амплитудных

характеристик. Фазовый сдвиг двух синусоидальных сигналов определяется по точкам перехода синусоид через нулевые значения при положительных производных этих сигналов.

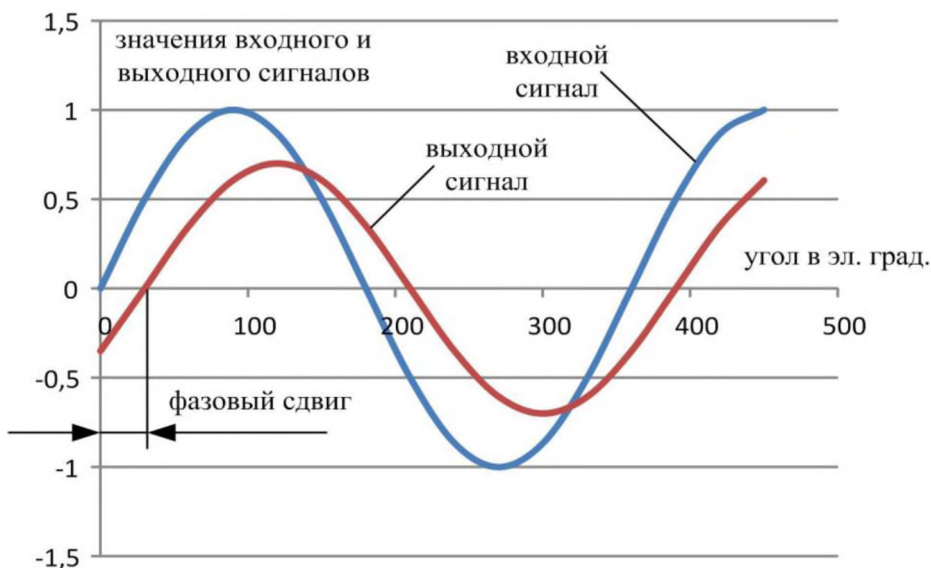


Рис. 1. К определению частотных характеристик

В схему введен интегратор, который начинает интегрирование входного сигнала при переходе через нуль первой синусоиды, и заканчивает интегрирование при переходе через нуль второй синусоиды. На вход интегратора подается сигнал, численно равный частоте входного сигнала в радианах в секунду, а постоянная интегрирования задается равной одной секунде. В этом случае на выходе интегратора получается сигнал, численной равный фазовому сдвигу в радианах.

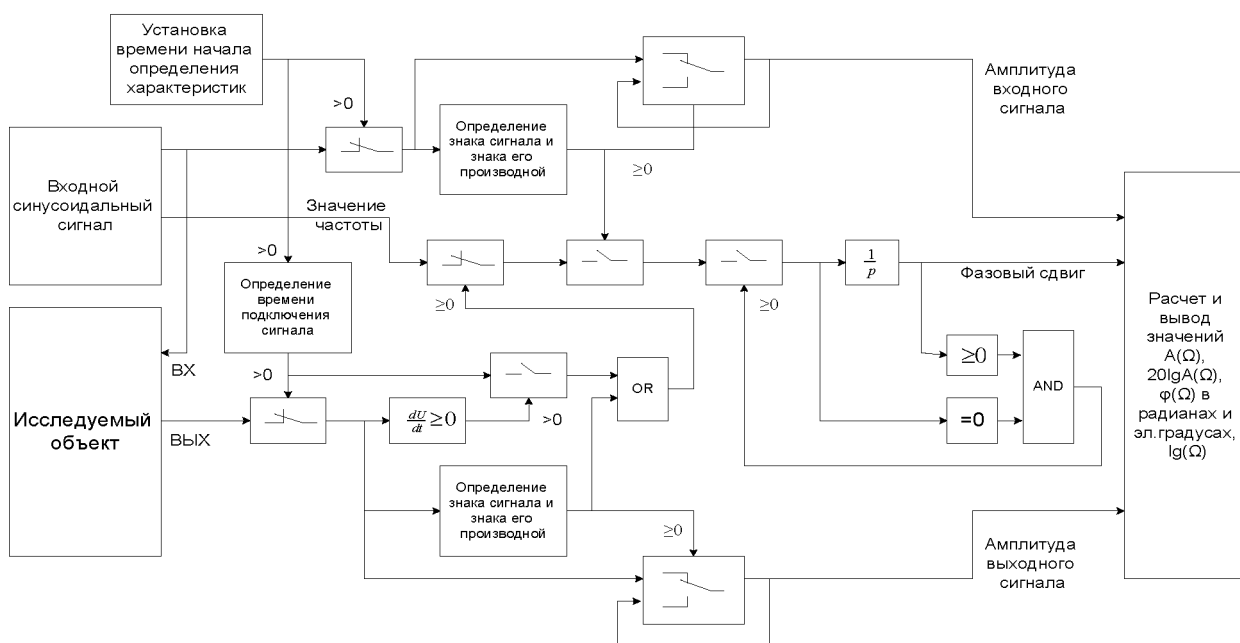


Рис. 2. Функциональная схема программы для определения частотных характеристик

На рис. 3 показана структурная схема программы, реализующая указанный алгоритм.

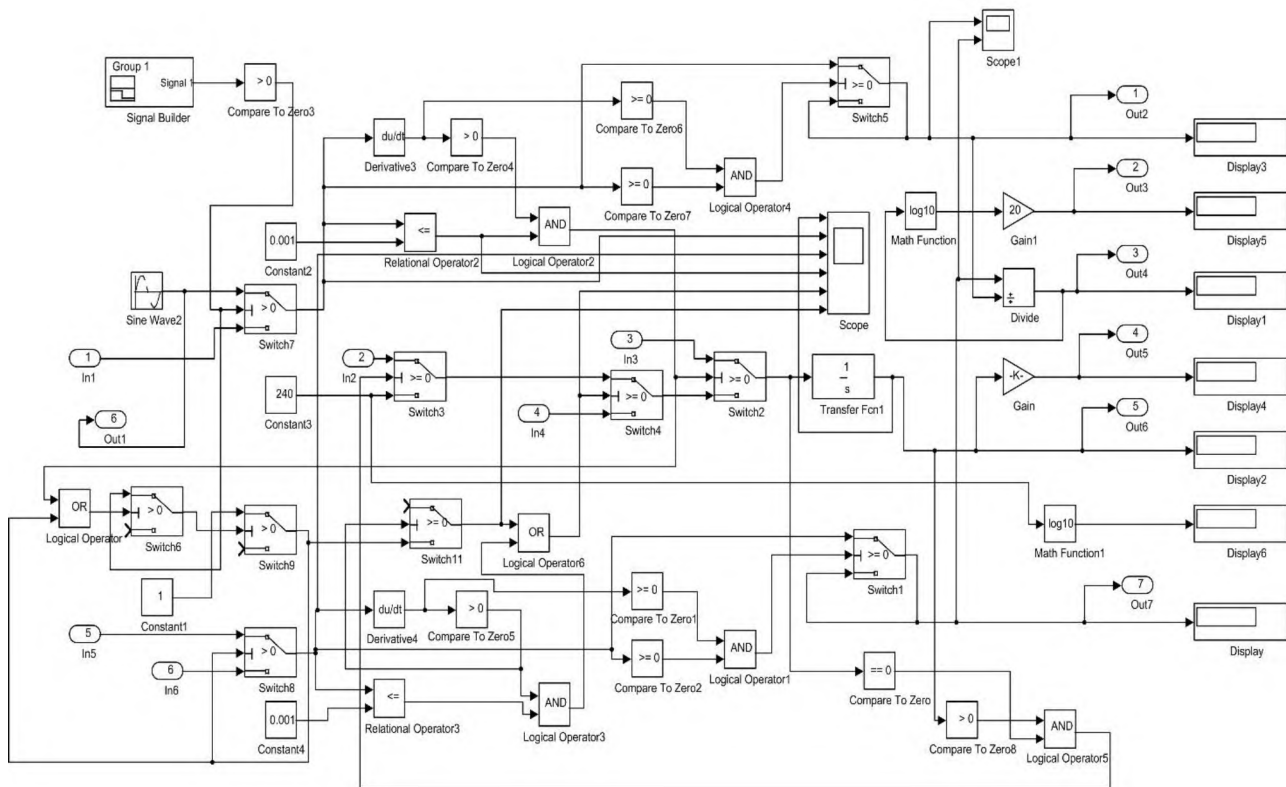


Рис. 3. Функциональная схема модели для определения частотных характеристик

Частотные характеристики определялись с использованием модели, созданной в приложении Simulink [20]. Эта модель предназначена для объектов, параметры которых изменяются в зависимости от режима работы. Для расчета необходимо задать амплитуду и частоту входного сигнала в задающем генераторе, частоту в дополнительном элементе, с помощью которого определяется фазовый сдвиг. Для каждого значения заданной частоты определяются амплитуды входного и выходного сигналов, отношение выходного сигнала к входному (коэффициент передачи или значение амплитудной характеристики), фазовый сдвиг в радианах и градусах, а также значение логарифмической амплитудной частотной характеристики.

Исследование непрерывного прокатного стана

Для оценки динамических свойств непрерывного прокатного стана определялись частотные характеристики трехклетьевого прокатного стана, модель которого представлена в [21-24]. На рис. 4 приведены частотные характеристики, связывающие изменения натяжения в межклетьевых промежутках с изменениями сигнала задания скорости первой клетки при разных скоростях прокатки. Анализ характеристик показывает, что основное влияние на полосу пропускания частот в рассматриваемом случае оказывают динамические свойства полосы. В работе [12] отмечено, что при изменении скорости прокатки коэффициент передачи полосы и ее постоянная времени в межклетьевом промежутке значительно меняются. Это подтверждается и на приведенных графиках. В данном случае рассматривается трехклетевой непрерывный прокатный стан, а в этом случае взаимосвязи усложняются из-за влияния на полосу соседних межклетьевых промежутков. Коэффициенты, связывающие изменения

скорости в первой клетке и межклетевые натяжения, имеют большие значения при низких скоростях.

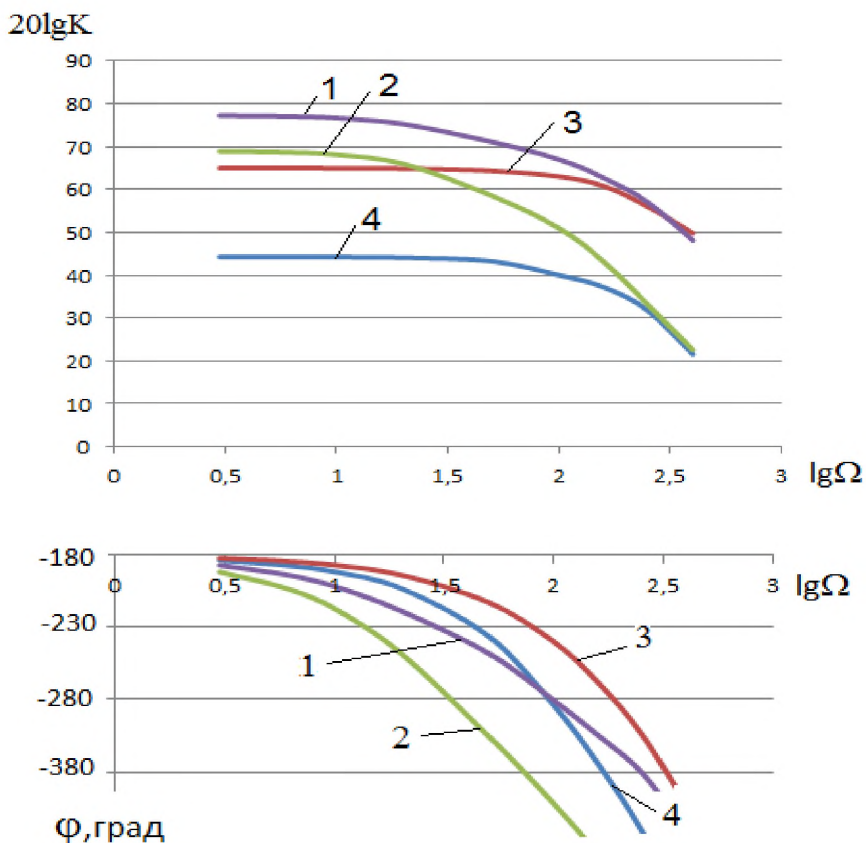


Рис. 4. Частотные характеристики прокатного стана при изменении задания скорости первой клетки (1, 2-для скорости прокатки 1,78 м/с; 3,4-для скорости прокатки 17,8м/с; 1, 3-для первого межклетьевого промежутка; 2, 4- для второго межклетьевого промежутка)

При изменении скорости в первой клетке в большей происходит изменение натяжения в первом межклетьевом промежутке, чем во втором. Это объясняется влиянием второй (промежуточной) клетки, которая в данном случае является своеобразным демпфером. Анализ фазовых сдвигов входных и выходных сигналов указывает на то, что при некоторой частоте изменения межклетьевых натяжений происходят однонаправленно с изменениями входного сигнала, хотя при низких частотах и в статике увеличение скорости первой клетки приводит к уменьшению межклетьевых натяжений. Фазовые сдвиги при низких частотах из-за влияния свойств полосы смещаются в сторону более низких частот. Полученные частотные характеристики свидетельствуют о том, что при синтезе регуляторов натяжения или регуляторов, действие которых приводит к изменениям натяжений на стане, следует учитывать изменения коэффициентов передачи в зависимости от скорости прокатки, так как это влияние существенно.

Полученные частотные характеристики свидетельствуют о том, что при использовании системы стабилизации момента двигателя за счет изменения скорости последующей клетки прокатный стан будет обладать наилучшей выравнивающей способностью при меньших скоростях, и при увеличении скорости выравнивание размеров будет происходить в меньшей степени. Но в этом случае при изменении технологических условий прокатки при высоких скоростях в меньшей степени будет происходить изменение натяжений, что также положительно скажется на работе прокатного стана.

Для сохранения динамических свойств системы регулирования при изменении скорости прокатки необходимо учитывать существенное изменение коэффициентов передачи, связывающих задание на скорость клетей и величины межклетевых натяжений [22].

Заключение

1. Создана модель процесса снятия частотных характеристик мехатронных объектов, параметры которых зависят от режима работы.

2. Предлагаемая методика позволяет исследовать частотные характеристики непрерывного прокатного стана при изменении технологических условий и определять свойства стана для различных режимов работы.

3. Проведенные исследования показали, что свойства исследуемого прокатного стана определяются в основном свойствами полосы в межклетевом промежутке и существенно зависят от скорости прокатки.

5. При высоких скоростях выравнивающая способность снижается, но при этом в меньшей степени изменяются межклетевые натяжения при изменении условий прокатки, что благоприятно сказывается на режиме прокатки.

5. Полученные результаты могут быть использованы при синтезе регуляторов натяжения полосы в межклетевых промежутках.

Список литературы

1. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод станков для производства стальной проволоки. / А.А.Радионов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 311 с.

2. Гутерман К.Д. Электропривод со свойствами источника момента / К.Д.Гутерман, Н.Ф.Ильинский, В.В.Михайлов, В.К.Цацепник // Автоматизированный электропривод в народном хозяйстве. – М.: Энергия, 1971. - Т.1. - С.190-192.

3. Шохин В.В., Карандаев А.С., Косенков А.В. и др. Устройство регулирования натяжения полосы в межклетевых промежутках непрерывного прокатного стана // Авторское свидетельство на изобретение СССР №1519806. 1989. Бюл. №41.

4. Поляков М.Г., Селиванов И.А., Шохин В.В. и др. Способ регулирования размеров проката на непрерывном сорто-проволочном стане // Авторское свидетельство на изобретение СССР №555928. 1977. Бюл. №16.

5. Селиванов И.А., Шохин В.В., Кузнецов Ю.И. и др. Устройство регулирования размеров проката // Авторское свидетельство на изобретение СССР №900901. 1982. Бюл. №4.

6. Бычков В.П., Селиванов И.А., Шохин В.В. и др. Устройство регулирования размеров проката // Авторское свидетельство на изобретение СССР №942839. 1982. Бюл. №26.

7. Селиванов И.А., Шохин В.В., Кузнецов Ю.И., Никифоров Б.А., Ткаченко А.П. Устройство регулирования размеров проката // Авторское свидетельство на изобретение СССР №839638. 1981. Бюл. №23.

8. Поляков М.Г., Селиванов И.А., Шохин В.В. и др. Устройство регулирования размеров готового проката на непрерывном сорто-проволочном стане // Авторское свидетельство на изобретение СССР №555929. 1977. Бюл. №16.

9. John Pittner, Marwan A. Simaan, Nicholas S. Samaras, "A Novel Approach for Optimal Control of Continuous Tandem Cold Metal Rolling", Industry Applications Conference, 42nd IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2007 IEEE, 2007, pp. 374 - 381, DOI: 10.1109/07IAS.2007.63.

10.Zhang Jinzhi, "Analysis and summarization of load distribution method for hot continuous rolling mill", Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2002, vol. 1, pp. 10-15. DOI 10.1109/WCICA.2002.1022059.

11.Zhang Ruicheng, Chen Zhikun, "Design of Active Disturbance Rejection Controller for Main Drive System of Rolling Mill with Uncertainty Parameters", Proceedings of the 2011

International Conference on Informatics, Cybernetics, and Computer Engineering (ICCE2011), Melbourne, Australia, 2011, vol. 1, pp. 385-394. DOI 10.1007/978-3-642-25185-6_50.

12.Шохин В.В., Пермякова О.В. Исследование силового взаимодействия электроприводов непрерывного прокатного стана. – Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференция по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 : в 2 т. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – Т. 2. С. 342-347.

13.Шохин В.В., Пермякова О.В. Исследование влияния взаимодействия электроприводов прокатного стана на выравнивание размеров проката. Автоматизированный электропривод и автоматика: сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2014. – 75 с.

14.Шохин В.В., Пермякова О.В. Исследование систем регулирования межклетевых натяжений при стабилизации моментов прокатных двигателей. - Пром-Инжиниринг: труды международной научно-технической конференции. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. С. 200-206.

15.Shokhin V.V., Permyakova O.V. The study of continuous rolling mill inter-stand tension inferential control systems Nosov Magnitogorsk State Technical University Magnitogorsk, Russia. Peer-review under responsibility of the organizing committee of the International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2015). Procedia Engineering 129 (2015) 231 – 238.

16.Радионов А.А., Пермякова О.В., Шохин В.В. Повышение точности прокатки при стабилизации момента прокатного двигателя. – Электротехнические системы и комплексы, 2010, №1. С. 116.

17.Никифоров Б.А., Шохин В.В., Скороходов Н.Е., Поляков М.Г., Селиванов И.А. Продольная разнотолщинность при холодной прокатке в многовалковых калибрах. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. №9. С. 113-116.

18.Поляков М.Г. Эффективность способов регулирования размеров проволоки на непрерывных прокатных станах с многовалковыми калибрами / М.Г.Поляков, И.А.Селиванов, В.А.Ткаченко и др. // Теория и практика производства метизов. – Свердловск: УПИ, 1985. – С. 33-43.

19.Терехов В.М. Системы управления электроприводов : учеб. для вузов / В.М.Терехов, О.И.Осипов; под ред. В.М.Терехова – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.

20.Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink / И.В.Черных. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.

21.Шохин В.В., Пермякова О.В., Короткова Е.В. Моделирование взаимосвязанного частотно-регулируемого электропривода прокатного стана. – Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. трудов. – Вып. 21. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. - С. 70-75.

22.Селиванов И.А. Расчет параметров косвенного регулятора размеров для непрерывных сортовых и проволочных станов / И.А. Селиванов, В.В. Шохин // Электрооборудование промышленных предприятий. – Чебоксары: Чуваш. ун-т, 1982. – С. 92-97.

23.V.R. Khramshin , V.M. Salganik , V.A. Zhilina , I.M. Yachikov, “Mathematical Model of Electromechanical Systems of Wide-strip Hot-rolling Mill Continuous Train”, Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 2015 7 p. DOI 10.1109/MEACS.2015.7414892.

24.V.R. Khramshin, A.S. Evdokimov, G.P. Kornilov, A.A. Radionov, A.S. Karandaev, “System for Speed Mode Control of the Electric Drives of the Continuous Train of the Hot-Rolling Mill”, Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 2015, 6 p. DOI 10.1109/SIBCON.2015.7147264.