

УДК 62-83:004

Разработка и внедрение автоматизированных электроприводов и систем регулирования технологических параметров широкополосного стана горячей прокатки

В.Р. Храмшин

ФГБОУВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Российская Федерация

E-mail: hvr_mgn@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Вопросам совершенствования систем регулирования технологических параметров широкополосных станов, в том числе систем автоматического регулирования скорости, натяжения и толщины, уделяется достаточное внимание. Однако в связи с внедрением на отечественных металлургических предприятиях зарубежного оборудования разработки, направленные на совершенствование автоматизированных электроприводов и систем управления, отечественными организациями в настоящее время выполняются в ограниченном объеме. В связи с этим, а также в связи с внедрением промышленных контроллеров вопросы исследования скоростных режимов электропривода становятся актуальными.

Материалы и методы: Используются методы математического моделирования взаимосвязанных электромеханических систем и результаты опытных испытаний на действующем стане.

Результаты: Рассмотрен комплекс разработанных и внедренных научно-технических решений по совершенствованию автоматизированных электроприводов и систем регулирования технологических параметров широкополосных станов горячей прокатки при расширении сортамента прокатываемых полос, в том числе алгоритмы и системы управления взаимосвязанными электромеханическими системами широкополосного стана горячей прокатки.

Выводы: Предлагаемые разработки обеспечивают повышение точности регулирования толщины и натяжения полосы, а также способствуют уменьшению потерь электрической энергии без применения компенсирующих устройств. Внедрение полученных разработок в листопрокатное производство расширяет возможности действующих и вновь создаваемых листопрокатных агрегатов, способствует повышению экономической эффективности производства, его ресурсо- и энергосбережению, повышению конкурентоспособности продукции.

Ключевые слова: прокатный стан, электромеханические системы, технологические параметры, системы регулирования, энергосберегающий электропривод.

Development and Implementation of Automated Electric Drives and Control Systems of Technological Parameters of Hot Rolling Broad-strip Mill

V.R. Khramshin,

Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

E-mail: hvr_mgn@mail.ru

Abstract

Background: The author pays special attention to the problems of control systems improvement of technological parameters of broad-strip mill, as well as automated control systems of speed, tension and thickness. However, because of the implementation of foreign – made equipment at iron and steel plants, the products to improve the automated electric drives and control systems at the Russian enterprises are developed limitedly. Another factor is the implementation of industrial controllers. The mentioned factors cause the importance of studying speed modes of electric drives.

Materials and methods: Methods of mathematical modeling of the interconnected electromechanical systems and experience trial on an acting mill are used.

Results: The complex of the developed and introduced scientific and technical solutions to the problem of perfection of automatic electric drives and regulating systems of technological parameters of broad-strip mills of a hot rolling is observed at gauge spreading rolling strips. Scientifically well-founded power saving up automatic electric drives, algorithms and management systems of the interconnected electromechanical systems of the broad-strip mill of hot rolling are developed.

Conclusions: The offered products provide accuracy raising of thickness regulation and strip tension, as well as stimulate the decrease of the losses of electric energy without application of any compensating arrangements. The flat rolled products manufacturing extends the opportunities of the present and new-build flat rolled devices, increases the economic production efficiency, its resources and energy savings, increase competitive ability.

Key words: rolling mill, electromechanical systems, technological parameters, control system, energy saving electric drive.

За прошедшее десятилетие существенно изменились потребности рынка в продукции

прокатного производства. С одной стороны, общемировой тенденцией является переход на

производство тонкой горячекатаной полосы толщиной 1,2–2 мм, которая является конечной рыночной продукцией. С другой стороны, по заключению ведущих мировых экспертов, высокопроизводительные широкополосные станы горячей прокатки в перспективе будут использоваться в основном для прокатки толстых полос из труднодеформируемых марок стали.

Названные тенденции, связанные с изменением сортамента широкополосного стана горячей прокатки, в полной мере характерны для ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). В связи с возрастающим спросом на трубную заготовку разработаны технологии производства полос толщиной до 18 мм из труднодеформируемых марок на стане 2000. В то же время постоянно проводится реконструкция стана 2500, направленная на обеспечение производства тонких полос.

В рамках научно-исследовательских работ, финансируемых за счет средств Министерства образования и науки РФ (ГК 16.740.11.0072) и хозяйственных работ с ОАО «ММК», выполнен комплекс научно обоснованных, технически исполненных и внедренных разработок по совершенствованию электромеханических систем регулирования технологических параметров широкополосных станов горячей прокатки, включающий:

1. Разработку и реализацию систем и алгоритмов управления скоростными режимами взаимосвязанных электроприводов непрерывной группы широкополосного стана горячей прокатки, обеспечивающих повышение устойчивости технологического процесса и точности регулирования натяжения и толщины полосы при расширении сортамента прокатываемых полос.

2. Разработку и реализацию усовершенствованной системы автоматического регулирования натяжения и петли широкополосного стана горячей прокатки, обеспечивающей повышение точности регулирования натяжения и толщины полосы в динамических режимах.

3. Разработку и промышленное внедрение энергосберегающих автоматизированных электроприводов прокатных станов, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии за счет уменьшения потребления реактивной мощности.

Совершенствование системы управления скоростными режимами электроприводов непрерывной группы широкополосного стана горячей прокатки. Вопросам совершенствования систем регулирования технологических параметров широкополосных станов, в том числе систем автоматического регулирования скорости, натяжения и толщины, уделяется достаточное внимание [1]. Однако в связи с внедрением на отечественных металлургических предприятиях зарубежного оборудования разработки, направленные на совершенствование автоматизированных

электроприводов и систем управления, отечественными организациями в настоящее время выполняются в ограниченном объеме.

Вопросы исследования скоростных режимов электропривода становятся актуальными также в связи с внедрением промышленных контроллеров. Так, в 2005 году завершена реконструкция главных электроприводов и АСУ ТП чистовой группы стана 2500. Это предопределило техническую возможность совершенствования алгоритмов управления скоростными и нагрузочными режимами на современном цифровом уровне.

Экспериментальные исследования скоростных и нагрузочных режимов электроприводов стана 2000 показали, что при прокатке трубной заготовки на низких скоростях возникают снижения скоростей валков, достигающие 15 % установившейся скорости. Снижение скорости валков ниже допустимой приводит к возникновению на их поверхности сетки разгара и ухудшению качества полосы. Остановка рабочих валков в условиях непрерывной прокатки приводит к аварийной остановке стана. Для устранения названной проблемы обоснована целесообразность кратковременного интенсивного подрагана валков клетей перед захватом либо в процессе захвата полосы.

Кроме того, были проведены экспериментальные исследования скоростных и нагрузочных режимов электроприводов чистовой группы стана 2500. На основании проведенных исследований уточнены требования к системам регулирования технологических параметров при прокатке полос толщиной менее 2 мм. Согласно требованиям, на стане 2500 разнотолщинность полосы по длине не должна превышать 5% при повышении скорости на выходе чистовой группы до 20 м/с. Выполнение этих требований может быть обеспечено только путем повышения точности согласования скоростей взаимосвязанных клетей чистовой группы.

Таким образом, основными и принципиально важными требованиями, предъявляемыми к системам управления электроприводами чистовой группы широкополосного стана при прокатке полос расширенного сортамента (1,2–2 мм и 18–25 мм), являются:

– ограничение недопустимых снижений скорости при захвате полосы, возникающих при прокатке толстых полос из труднодеформируемых марок стали;

– обеспечение высокой точности поддержания заданного натяжения при прокатке тонких полос за счет автоматической коррекции скоростей электроприводов клетей чистовой группы при возмущающих и управляющих воздействиях.

Для компенсации статических отклонений скорости при захвате полосы предложен общий принцип управления скоростными режимами при применении пропорциональных

регуляторов скорости [2]. Согласно данному принципу, перед захватом металла осуществляется подрагон валков клетки на величину расчетной просадки скорости, которая определяется по экспериментальным данным для полос различного сортамента. На основании предложенного принципа разработаны два способа и, соответственно, две системы автоматической коррекции скорости.

Согласно первому разработанному способу, в установившемся режиме прокатки предыдущей полосы запоминаются статические просадки скорости для электропривода каждой клетки. Повышение скорости электропривода последующей клетки осуществляется при прокатке следующей полосы на величину запомненной статической просадки скорости в момент захвата полосы валками предыдущей клетки. При этом момент захвата полосы определяется по возникновению статической составляющей тока электропривода предыдущей клетки. Дополнительно при прокатке каждой последующей полосы осуществляется коррекция скорости по запомненной последней скорости для оптимального приема следующей полосы. Отличие второго разработанного способа управления скоростным режимом от рассмотренного заключается в том, что сигнал на ускорение подается не на все клетки, а на каждую клетку в момент входа в нее полосы. Это обеспечивает возможность более точной коррекции скоростей электроприводов непосредственно в процессе прокатки.

Для реализации разработанных систем предложен способ построения узла компенсации статической просадки скорости на основе двух контуров: замкнутого, обеспечивающего непосредственно снижение величины просадки; и разомкнутого, обеспечивающего уменьшение влияния замкнутого контура на процесс образования петли при захвате полосы.

Для ограничения высоты петли в межклетевом промежутке разработаны система и алгоритм каскадной коррекции скоростей предыдущих клеток чистовой группы. Суть заключается в том, что корректирующие воздействия складываются и передаются «против хода прокатки». В качестве опорной клетки используется последняя катающая клетка, корректирующие воздействия на нее отсутствуют. Это обусловлено требованиями к постоянству скорости полосы на выходе стана.

Разработана функциональная схема системы управления скоростными режимами при ручной коррекции скорости оператором. Система обеспечивает устранение разницы между заданной и фактической длинами полосы в межклетевом промежутке путем воздействия на задание скорости предыдущей клетки.

Разработанная усовершенствованная система внедрена в промышленную эксплуатацию в АСУ ТП чистовой группы стана 2500 ОАО «ММК». Экспериментально подтверждено

среднее снижение разнотолщинности головного участка в 1,3–2 раза, в зависимости от толщины полосы. Кроме того, разработанная система, обеспечивающая режим подгона электроприводов клеток, сдана в опытно-промышленную эксплуатацию на стане 2000 ОАО «ММК». Результатами являются снижение внеплановых простоев за счет улучшения условий захвата при прокатке трубной заготовки. Суммарный экономический эффект составляет более 3 млн руб/год.

Совершенствование электромеханической системы автоматического регулирования натяжения и петли полосы широкополосного стана горячей прокатки. К системам регулирования натяжения и петли полосы современных широкополосных станов горячей прокатки предъявляются жесткие требования, направленные на обеспечение непрерывного контроля и поддержание точности регулирования натяжения как в установившихся, так и в динамических режимах. При прокатке тонких полос в непрерывной группе стана возникает значительное взаимное влияние натяжения и толщины полосы. Существующие системы, выполненные по принципу косвенного регулирования натяжения, не обеспечивают возросших требований по разнотолщинности при переходе на производство тонкой горячекатаной полосы толщиной от 1 до 2 мм. Упрощенные алгоритмы задания и регулирования натяжения, реализованные в аналоговых системах, приводят к появлению значительных погрешностей, которые при повышении требований к точности регулирования геометрических размеров являются не допустимыми. Это требует совершенствования алгоритмов вычисления и регулирования параметров, влияющих на натяжение, которые можно реализовать при переходе на цифровое управление в системах, выполненных на базе промышленных контроллеров.

Вместе с тем только за счет повышения точности вычисления и регулирования технологических параметров не обеспечивается выполнение возросших требований к динамическим показателям. Возникла задача повышения быстродействия регулирования за счет максимального использования ресурса канала регулирования толщины, выполненная на базе гидравлических нажимных устройств. Наиболее целесообразным является построение системы взаимосвязанного регулирования натяжения и толщины подобно тому, как это делается на станах холодной прокатки. Однако принципиальным отличием широкополосных станов является наличие петледержателей в межклетевых промежутках чистовой группы.

Основными результатами исследований являются [2]:

1. Алгоритм вычисления задания момента электропривода петледержателя и анали-

тические зависимости для вычисления составляющих момента, обеспечивающие наиболее высокую точность задания и регулирования натяжения по сравнению с известными аналогичными системами.

2. Способ и система косвенного взаимосвязанного регулирования натяжения и толщины полосы, отличительным признаком которых является дополнительное корректирующее воздействие на гидравлическое нажимное устройство предыдущей клетки межклетевого промежутка, подаваемое одновременно с корректирующим воздействием на скорость двигателя этой клетки.

3. Теоретические и экспериментальные исследования, которые показали, что применение быстродействующего контура с воздействием на гидравлическое нажимное устройство позволяет увеличить быстродействие системы регулирования натяжения и петли полосы во всех динамических режимах и тем самым обеспечить требуемые отклонения толщины полосы в пределах $\pm 5\%$.

Полученные технические результаты наглядно представлены в виде диаграмм на рис. 1. Полноценное промышленное внедрение разработанной усовершенствованной системы ориентировано на проводимую на стане 2500 ОАО «ММК» реконструкцию. В ходе реконструкции предусматривается замена установленного механического и силового электрического оборудования клеток и петледержателей, а также перевод электроприводов на цифровое управление.

Основные технические эффекты, обеспечиваемые при внедрении системы:

- снижение расходного коэффициента за счет повышения точности регулирования толщины на концах рулона;
- улучшение условий захвата полосы валками за счет реализации алгоритмов управления, обеспечивающих взаимное согласование работы систем регулирования натяжения и петли полосы и гидро-САРТ в динамических режимах;
- повышение размерной точности полосы при прокатке глоссажных меток за счет быстродействующего взаимосвязанного регулирования натяжения и толщины.

Экономический эффект от внедрения результатов на стане 2500 ОАО «ММК» составляет 4,5 млн руб/год.

Разработка и промышленное внедрение энергосберегающих тиристорных электроприводов с улучшенными энергетическими показателями. Значительный процент экономии может быть получен за счет улучшения энергетических показателей тиристорных электроприводов прокатных станов, как наиболее энергоемких потребителей металлургического производства.

Такие электроприводы выполняются, как правило, с двухзонным регулированием скорости. Основная причина ухудшения энергетических показателей тиристорных электроприводов вызвана потреблением реактивной мощности, связанным с фазовым регулированием выпрямленного напряжения. Уровень потребляемой реактивной мощности находится в прямой зависимости от величины запаса тиристорного преобразователя по ЭДС, т.е. от разности между максимальной выпрямленной ЭДС при нулевом угле управления и фактической ЭДС в установившемся режиме работы под нагрузкой.

Актуальность поставленных задач усиливается в связи с переводом широкополосных станов на производство толстых полос из труднодеформируемых марок стали. Так, прокатка трубной заготовки из сляба 300 мм на стане 2000 ОАО «ММК» осуществляется на низких скоростях при высоких неравномерных обжатиях. Тяжелые режимы приводят к опасности потери управляемости электропривода в связи с размыканием контура регулирования скорости. Кроме того, снижается безопасность инвертирования за счет просадок напряжения и ухудшаются условия коммутации на коллекторе.

В целях обеспечения запаса выпрямленной ЭДС, необходимого для безопасного инвертирования, разработана система двухзонного регулирования скорости с автоматическим регулированием уставки ЭДС в функции напряжения сети, схема которой представлена на рис. 2.

Преимуществом предложенной системы является то, что ее действие эффективно при работе как в первой, так и во второй зонах регулирования. Это наиболее ценно при прокатке полос «тяжелого» сортамента на низких скоростях.

В целях улучшения энергетических показателей разработана комбинированная система двухзонного регулирования скорости с переключением координаты, регулируемой по цепи возбуждения, и автоматическим изменением задания ЭДС, обеспечивающая уменьшение запаса выпрямленной ЭДС путем ее ограничения на номинальном уровне в течение всего цикла работы под нагрузкой.

В результате исследований, выполненных с помощью разработанной математической модели, а также экспериментальных исследований на созданной лабораторной установке подтверждена целесообразность внедрения предложенных систем двухзонного регулирования в электроприводах стана 2000 ОАО «ММК». Установлено, что показатели основных координат электропривода в динамических режимах за цикл прокатки в существующей и разработанных системах отличаются на 2,5–5%. Следовательно, применение разработанных систем не приведет к отклонению параметров технологического процесса.

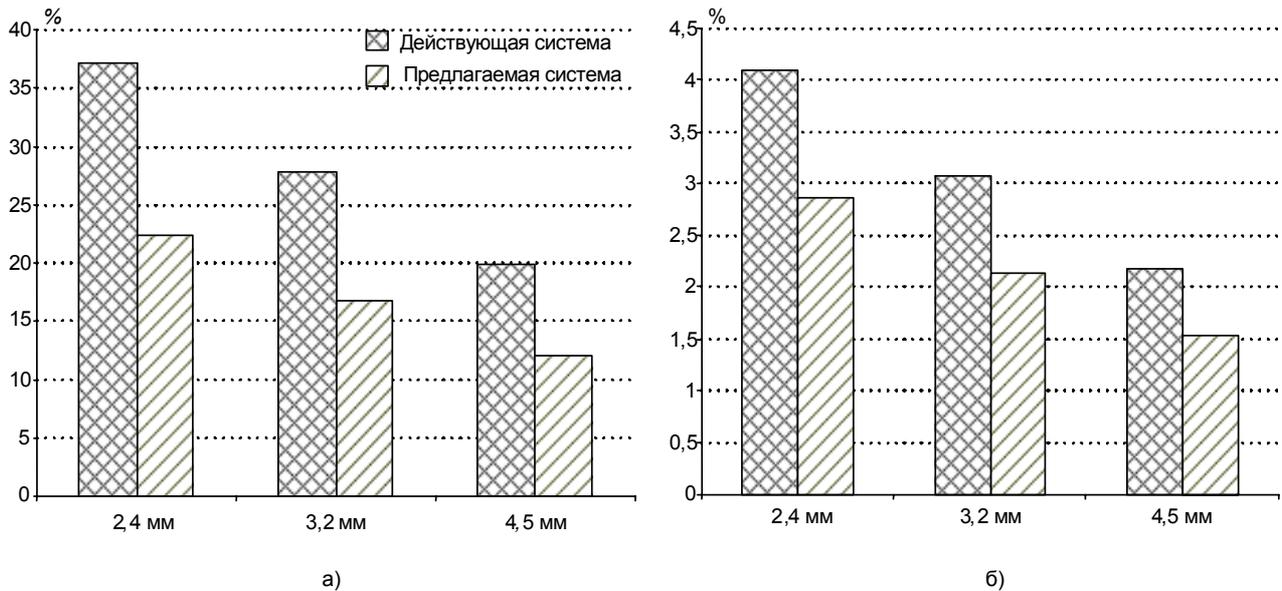


Рис. 1. Диаграммы перерегулирования натяжения (а) и толщины (б) в действующей и предлагаемой системах при прокатке переднего конца полосы для 4-го – 6-го межклетевых промежутков

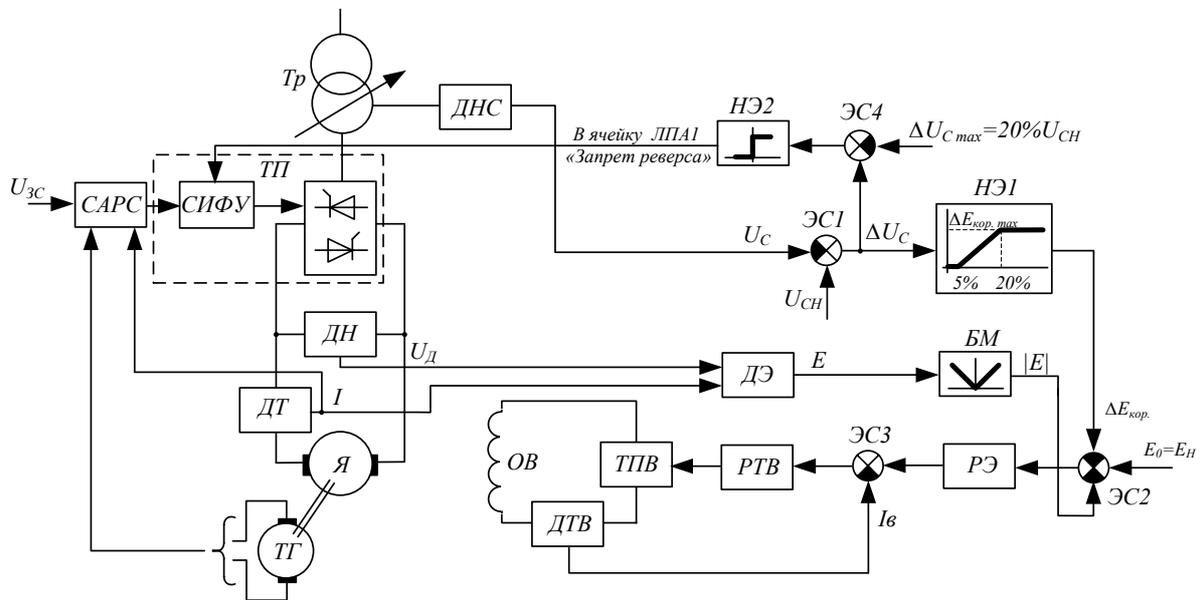


Рис. 2. Функциональная схема системы двухзонного регулирования скорости с автоматическим регулированием уставки ЭДС в функции напряжения сети

Разработанная комбинированная система двухзонного регулирования скорости внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию в чистой группе стана 2000 ЛПЦ-10 ОАО «ММК». В ходе экспериментов, проведенных на стане, подтверждены работоспособность разработанной системы и высокая техническая эффективность ее применения [3]. Показано, что за счет внедрения разработанной системы и проведения мероприятий по снижению запаса выпрямленной ЭДС тиристорных преобразователей экономия электрической энергии составляет 1,87 млн кВт·ч/год. Расчетный экономический эффект в денежном выражении превышает 2,7 млн руб/год.

В результате выполненных исследований разработаны научно обоснованные энергосберегающие автоматизированные электроприводы, алгоритмы и системы управления взаимосвязанными электромеханическими системами широкополосных станов горячей прокатки. Суммарный экономический эффект от внедрения представленных разработок на станах 2000 и 2500 ОАО «ММК» составляет более 11 млн руб/год.

Внедрение полученных результатов в листопрокатное производство расширяет возможности действующих и вновь создаваемых листопрокатных агрегатов, способствует повышению экономической эффективности про-

изводства, его ресурсо- и энергосбережению, повышению конкурентоспособности продукции.

Список литературы

1. **Технологические** схемы управления электроприводами чистой группы широкополосного стана горячей прокатки / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, И.Ю. Андрияшин и др. // Труды VII конгресса прокатчиков. Т.1. – М., 2007. – С. 71–75.

2. **Система** косвенного регулирования натяжения в чистой группе широкополосного стана горячей прокатки / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, П.В. Шильяев и др. // Сб. докл. I Междунар. науч.-практич. конф. «ИНТЕХМЕТ-2008». – СПб., 2008. – С. 122–125.

3. **Экспериментальные** исследования тиристорных электроприводов с двухзонным регулированием скорости с улучшенными энергетическими характеристиками / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, А.А. Лукин и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Энергетика». Вып. 13. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. – № 14(190). – С. 67–72.

1. Karandaev, A.S., Khramshin, V.R., Andryushin, I.Yu. Tekhnologicheskie skhemy upravleniya elektroprivodami chistvoy gruppy shirokopo-losnogo stana goryachey prokatki [Technological Control Schemes of Electric Drives of Hot Rolling Broad-strip Mills]. *Trudy VII kongressa prokatchikov* [Works of the VIIth Rollers Congress]. Moscow, 2007, vol. 1, pp. 71–75.

2. Karandaev, A.S., Khramshin, V.R., Shilyaev, P.V. Sistema kosvennogo regulirovaniya natyazheniya v chistvoy gruppe shirokopolosnogo stana goryachey prokatki [System of Indirect Tension Control in Clean Group of Hot Rolling Broad-strip Mills]. *Sbornik dokladov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «INTEKhMET-2008»* [Reports' Book of the 1st International Scientific and Practical Conference "Intexmet-2008"]. Saint-Petersburg, 2008, pp. 122–125.

3. Karandaev, A.S., Khramshin, V.R., Lukin, A.A. Eksperimental'nye issledovaniya tiristornykh elektroprivodov s dvukhzonnym regulirovaniem skorosti s uluchshennymi energeticheskimi kharakteristikami [Experimental Researches of thyristor drives with two-area speed control and improved characteristics]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Energetika»*, 2010, no. 14(190), vol. 13, pp. 67–72.

References

Храмшин Вадим Рифхатович,
ФГБОУВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»,
кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры электротехники и электротехнических систем,
телефон (3519) 22-17-19,
e-mail: hvr_mgn@mail.ru