

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.111.04,  
созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19.03.2021 г. №2

О присуждении Гасиярову Вадиму Рашитовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Совершенствование электротехнических систем реверсивной клетки толстолистового прокатного стана» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 15 декабря 2020 г., протокол № 5 диссертационным советом Д 212.111.04, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Гасияров Вадим Рашитович, 1984 года рождения, диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук «Разработка системы автоматического регулирования формы раската в плане приводов клетки толстолистового стана горячей прокатки» защитил в 2012 г. в диссертационном совете, созданном на базе ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», работает заведующим кафедрой мехатроники и автоматизации ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре мехатроники и автоматизации ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук Радионов Андрей Александрович ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», проректор по учебной работе.

Официальные оппоненты:

1. Пятибратов Георгий Яковлевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет

(НПИ) имени М.И. Платова», кафедра электроснабжения и электропривода, профессор;

2. Осипов Олег Иванович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра автоматизированного электропривода, профессор;

3. Хакимьянов Марат Ильгизович – доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кафедра электротехники и электрооборудования предприятий, заведующий

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», в своем положительном отзыве, подписанном Зацепиным Евгением Петровичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Электрооборудование», указала, что диссертация Гасиярова В.Р. «Совершенствование электротехнических систем реверсивной клетки толстолистового прокатного стана» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую научно обоснованные, концептуально связанные технические решения, направленные на совершенствование электротехнических систем реверсивной клетки толстолистового прокатного стана и создающие техническую возможность расширения сортамента при обеспечении ресурсосбережения и повышении качества продукции. Работа отвечает критериям п. 9 и соответствует требованиям п. 14 «Положения о присуждении учёных степеней» №842 от 24.09.2013 г. Соискатель Гасияров В.Р. заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Соискатель имеет 169 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 59 работ (36 статей, 19 докладов на конференциях, 1 монография, 1 патент, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ) общим объёмом 38,5 п.л., из них 16 статей в рецензируемых научных изданиях, 29 публикаций в изданиях, входящих в базы цитирования Scopus и WoS.

Авторский вклад соискателя (общим объёмом 15,5 п.л.) состоит в обосновании основной идеи, постановке задачи исследования, определении основных зависимостей; разработке математических моделей и расчёте переходных процессов; обосновании выбора и расчете регулируемых параметров; разработке алгоритмов управления электротехническими системами; проведении экспериментальных исследова-

дований и представлении их результатов; оценке эффективности промышленного внедрения разработок; анализе и обобщении полученных результатов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Гасияров, В.Р. Способ согласования нагрузок электроприводов горизонтальных валков клетки толстолиствого прокатного стана / В.Р. Гасияров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия “Энергетика”. – 2019. – Т. 19. – № 2.– С. 107–117.

2. Гасияров, В.Р. Способ повышения быстродействия системы управления электроприводами горизонтальной клетки прокатного стана в режиме лыжеобразования/ В.Р. Гасияров // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2019. – Т. 62. – № 3.– С. 33–43.

3. Гасияров В.Р. Согласование скоростей электроприводов и гидравлических нажимных устройств при автоматическом контроле профиля раската / В.Р. Гасияров // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – № 4(41). – С. 22–29.

4. Gasiyarov, V.R. Dynamic torque limitation principle in the main line of a mill stand: explanation and rationale for use / V.R. Gasiyarov, V.R. Khramshin, S.S. Voronin, T.A. Lisovskaya, O.A. Gasiyarova // Machines – 2019. – 7(4). –76.

Сведения об опубликованных работах достоверны. Все результаты получены либо автором лично, либо при его непосредственном участии.

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов, все – положительные:

1. Отзыв ФГБОУ ВО «МПУ», г. Москва (д-р техн. наук, проф. Рачков М.Ю.): 1) Обоснованность и достоверность научных положений, не может доказываться выбором направлений исследований, как указано в автореферате. 2) В чем принципиальное отличие регулирования «по массе» от регулирования на постоянство секундного объема? 3) Как влияет на точность восстановления упругого момента наблюдателем угол зазора в шпиндельном соединении?

2. Отзыв ФГБОУ ВО «НГТУ», г. Новосибирск (д-р техн. наук, проф. Брованов С.В.): 1) С какого датчика получен сигнал упругого момента на валу механической передачи, показанный на рис. 21? 2) Переходный процесс момента двигателя (рис. 23) в системе с наблюдателем имеет колебательный характер и по сравнению с монотонным процессом момента на валу он ухудшается. При этом утверждается, что характер процессов удовлетворительный. Нет ли здесь противоречия? 3) Каким образом достигается повышение КПД электроприводов за счет внедрения разработанных алгоритмов (стр. 33)? До какого значения?

3. Отзыв ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», г. Москва (д-р техн. наук, проф. Шевырев Ю.В.): 1) В автореферате следовало бы привести номинальные параметры двигателей, диапазоны регулирования скоростей и уровни ограничений момента. 2) Исследовалось ли снижение быстродействия системы регулирования скорости двигателя при наличии дополнительных внешних контуров регулирования упругого момента?

4. Отзыв ФГБОУ ВО «ПНИПУ», г. Пермь (д-р техн. наук, доц. Петроченков А.Б.): 1) Отсутствует информация о работе приводов в режиме профилированной прокатки листа с автоматическим контролем профиля (ASC) . Какие сложности возникают в этом случае, и как они преодолеваются? 2) Отсутствует расшифровка обозначений блоков в структуре на рис. 5.

5. Отзыв ФГБОУ ВО «КнАГУ», г. Комсомольск-на-Амуре (д-р техн. наук, проф. Соловьев В.А.): 1) Насколько реально можно реализовать алгоритм расчета эквивалентного момента двигателя в режиме прокатки в on-line режиме? 2) Слабая патентная защищенность авторских разработок.

6. Отзыв ФГАОУ ВО «УрФУ», г. Екатеринбург (д-р техн. наук, проф. Метельков В.П., канд. техн. наук, доц. Костылев А.В.): 1) В какой степени использовалось «сглаживание (усреднение) данных» (стр. 18)? Какую величину составляет ошибка расчета при сглаживании? 2) За какое время проводилось усреднение при расчете эквивалентных величин и как оно соотносится с постоянными нагревом? Целесообразно ли судить о нагреве по эквивалентному моменту, определяемому на сравнительно коротком интервале? 3) При построении наблюдателя – как учитывался разброс величин момента сопротивления от прокатки?

7. Отзыв Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, г. Бишкек, респ. Кыргызстан (д-р техн. наук, проф. Бочкарев И.В.): Развивались ли в работе методы автоматического управления, теории прокатки, либо других смежных научных областей? Получили ли развитие математические методы?

8. Отзыв ПАО «ММК», г. Магнитогорск (канд. техн. наук Юдин А.Ю.): Нет сравнения заданных и текущих значений скоростей и нагрузок электроприводов при прокатке полос различного сортамента. Сбор статистической информации был бы полезен для производства и позволил бы дать объективную оценку результатов внедрения.

9. Отзыв ПАО «ЧТПЗ», г. Челябинск (руководитель департамента Губанов Е.В.): 1) Отсутствует функциональная схема электроприводов горизонтальной и вертикальной клетей, выполненных по системе ПЧ-СД с векторным регулированием. 2) Как удалось провести ряд уникальных экспериментов на действующем агрегате? В частности, получить осциллограммы упругого момента на шпинделях верхнего и нижнего валков (стр. 31, рис. 24) или зафиксировать аварийный останов стана при возникновении перекоса зазора валков (стр. 24, рис. 17).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью их научных работ, опубликованных в ведущих научных изданиях, в области разработки и совершенствования электромеханических систем, применяемых в металлургической промышленности.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** методика оценки ограничений, накладываемых электроприводом на технологический процесс толстолиствого стана, включающая аналитические зависимости расчета усилия прокатки в реверсивном режиме с высокими очагами деформации и алгоритм расчета эквивалентных параметров нагрузки двигателей в режиме реального времени; способ управления электроприводами валков горизонтальной и вертикальной клетей в режимах прокатки с регулируемым формоизменением раската, обеспечивающий реализацию принципа «постоянства массы»; способы управления скоростными режимами электроприводов, обеспечивающие согласование режимов формирования «лыжи» и автоматического выравнивания нагрузок в квазиустановившемся режиме прокатки; способ и система ограничения упругого момента в режиме ударного приложения нагрузки в двухмассовой электромеханической системе прокатной клетки на основе разработанного цифрового наблюдателя упругого момента, обеспечивающего восстановление динамических режимов неуправляемой массы (валка) по непрерывно измеряемым параметрам электропривода;

**предложены** уточненные аналитические зависимости для расчета усилий прокатки при высоких очагах деформации, основанные на выражениях акад. А.И. Целикова, отличающиеся учетом влияния толщины на вертикальное напряжение и инерции металла при ускорении, обеспечивающие повышение точности вычисления энергосиловых параметров прокатки толстых листов; алгоритмы задания скоростных режимов электропривода, обеспечивающие снижение составляющих уп-

ругого момента и динамических нагрузок при входе металла в клеть; функциональные схемы электроприводов и систем автоматического регулирования, реализующих разработанные способы управления;

**доказана** принципиальная возможность обеспечения средствами разработанных автоматизированных электроприводов и систем управления: производства высококачественных листов расширенного сортамента; высокой размерной точности по длине и ширине проката; устойчивости технологического процесса прокатки толстых листов из труднодеформируемых марок стали; ресурсосбережения за счёт сокращения брака, а также боковой и торцевой обрезки.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** принципиальная возможность ограничения силового взаимодействия вертикальной и горизонтальной клетей толстолистового стана путем реализации концепции управления электроприводами непрерывного прокатного стана без петлеобразования в межклетевых промежутках, расширяющие представление о принципах управления многосвязными системами;

**применительно к проблематике диссертации** эффективно использован комплекс теоретических исследований, выполненных с использованием методов программирования и имитационного моделирования, и экспериментальных исследований, выполненных в условиях действующих прокатных станов, методом осциллографирования с последующей обработкой результатов;

**изложена идея** ограничения динамических нагрузок электромеханических систем прокатной клетки путем индивидуальной компенсации составляющих динамического момента, обусловленных замыканием углового зазора, упругими свойствами главной линии клетки и настройкой системы автоматического регулирования скорости электропривода;

**уточнены** положения теории взаимосвязанных электротехнических систем прокатных станов, в результате чего получены аналитические выражения, описывающие динамику изменений опережения и отставания при перемещении нажимных устройств, обеспечивающие наиболее точное равенство секундных объемов металла на входе и выходе очага деформации;

**установлены закономерности**, уточняющие и корректирующие представления о взаимном влиянии технологических параметров прокатки толстых листов, позволяющие определить ограничения, накладываемые электроприводом на технологический процесс;

**изучены** особенности взаимосвязи гидравлических нажимных устройств, расположенных на приводной и неприводной сторонах горизонтальной клетки, в результате чего **раскрыты** причины недопустимого перекоса зазора валков, обусловленные его наследственной асимметрией, возникающей после каждого прохода, и текущей асимметрией, возникающей непосредственно в процессе прокатки;

**научно обоснован** принцип перераспределения регулирующих воздействий на гидравлические нажимные устройства, расположенные на приводной и неприводной сторонах горизонтальной клетки, на основе которого разработан способ ограничения дефекта «серповидность» путем предиктивного регулирования наследственного перекоса зазора валков и быстродействующей компенсации текущей асимметрии поперечного профиля раската;

**доказано**, что комплексное применение разработанных технических решений обеспечивает согласование моментов двигателей горизонтальных валков, снижение динамических нагрузок в режиме захвата металла валками, повышение точности формирования изгиба переднего конца раската («лыжи») и снижение аварийности за счет ограничения осевого смещения раската на входе в клетку и его серповидности на выходе клетки.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены новые знания о взаимосвязанном регулировании координат электроприводов и систем автоматического регулирования технологических параметров, вносящие существенный вклад в развитие теории электротехнических систем прокатных станов.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что** их внедрение в прокатное производство способствует повышению конкурентоспособности продукции отечественных металлургических предприятий;

**внедрены и находятся в эксплуатации** на станах 5000 и 2000 ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»):

– алгоритмы согласования режимов регулятора деления нагрузок и системы лыжеобразования; компенсации асимметрии зазора валков за счет автоматического регулирования положений нажимных устройств, расположенных на приводной и неприводной сторонах горизонтальной клетки стана 5000; регулирования межклетевых натяжений и согласования нагрузок электроприводов в квазиустановившемся режиме прокатки полос в непрерывной подгруппе стана 2000;

– комплекс разработок, обеспечивающих ограничение динамических нагрузок в режиме захвата металла валками горизонтальной клетки стана 5000.

Разработанная методика расчета усилий прокатки при высоких очагах деформации и нагрузочных режимах электроприводов и программы на её основе переданы ПАО «ММК», где используются при освоении новых сортов проката.

**Определены** основные технические эффекты от внедрения разработок на двух станах: экономия металла в объеме 4,7 тыс. т/год, увеличение срока эксплуатации оборудования главной линии клетки стана 5000 от 3 до 8 лет, снижение затрат на замену шпинделя на 5,76 млн руб./год. Суммарный годовой экономический эффект – 12,7 млн руб.

**Представлены рекомендации** по расширенному внедрению разработанных способов и алгоритмов управления на толстолистовых и широкополосных станах горячей прокатки; программа расчета нагрузочных режимов рекомендуется для применения при освоении новых сортов трубной заготовки из труднодеформируемых марок стали.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** теоретические исследования выполнены с использованием технических характеристик действующего оборудования при правомерных исходных положениях и обоснованных допущениях; адекватность результатов математического моделирования экспериментальным данным, полученных на толстолистовом и широкополосном прокатных станах; воспроизводимость результатов исследований разработанных алгоритмов при прокатке листов и полос различного сортамента; успешную эксплуатацию внедренных алгоритмов и систем управления электроприводами в течение длительного времени;

**теория** базируется на известных положениях автоматизированного электропривода и автоматического управления, теоретические исследования проводились с использованием аппарата передаточных функций, методов преобразования структурных схем, логарифмических амплитудно-частотных характеристик; выводы и рекомендации подтверждены результатами промышленного внедрения;

**идея базируется** на анализе существующих решений по управлению электроприводами, автоматическому регулированию параметров прокатки на толстолистовых и широкополосных станах, ограничению динамических нагрузок и силового взаимодействия через металл электромеханических систем валков горизонтальной и вертикальной клетей;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

результаты получены на действующих прокатных станах, оснащенных сертифицированными контрольно-измерительными приборами и системами;

использованы методы прямого осциллографирования, цифровой обработки сигналов, статистической обработки экспериментальных данных.

**Личный вклад соискателя состоит в:** руководстве и организации научных исследований; обосновании направления, идеи, цели и задач исследований; обосновании новых научных положений; непосредственном участии на всех этапах исследований; организации промышленного внедрения; обработке экспериментальных данных; подготовке публикаций по выполненной работе.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие металлургической отрасли страны.

На заседании 19.03.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Гасиярову Вадиму Рашитовичу учёную степень доктора технических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них - 13 докторов наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 14, «против» - нет.

Председатель

диссертационного совета

Корнилов Геннадий Петрович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Одинцов Константин Эдуардович

19 марта 2021 г.

