

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Хакимьянова Марата Ильгизовича на диссертационную работу
Гасиярова Вадима Рашитовича «Совершенствование электротехнических
систем реверсивной клетки толстолистового прокатного стана»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность работы

Строительство и обслуживание магистральных нефтегазопроводов требует увеличения выпуска сварных труб большого диаметра. Для замены изношенных участков действующих трубопроводов, строительства внутренних разветвленных сетей требуется широкий сортамент толстостенных труб большого диаметра. При этом для трубопроводов в северных широтах требуются трубы из хладостойких сталей.

Заготовкой для производства такой продукции является лист, производимый на толстолистовых прокатных станах. Значимость таких агрегатов в металлургической промышленности существенно возросла после ввода в эксплуатацию трех современных станов 5000, информация о которых приведена в первой главе диссертации. Расширение сортамента, высокие требования потребителей, необходимость соответствия международным стандартам диктуют повышение требований к качеству листовой заготовки. Жесткими требованиями являются уменьшение себестоимости и снижение непроизводственных затрат.

Формирование заданных геометрических размеров листа обеспечивается строгим выполнением технологии прокатки, обеспечиваемой автоматизированными электроприводами и системами автоматизации. В комплексе они представляют собой электротехнические комплексы, взаимосвязанные в технологическом процессе. Поэтому высокие требования к продукции должны обеспечиваться путем совершенствования автоматизированных электротехнических систем. Необходимость решения этой задачи обоснована в диссертации, изложенный материал является убедительным подтверждением важности решения поставленных задач. Приведенные аргументы позволяют сделать вывод об актуальности темы диссертационной работы.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 330 наименований. Работа изложена на 358 страницах, в том числе содержит приложения объемом 28 страниц. Структура диссертации отличается логической последовательностью. Работа хорошо иллюстрирована, содержит 119 рисунков и 44 таблицы, качественно оформлена. Каждый раздел представляет законченную часть и имеет самостоятельное значение для решения поставленных задач.

Во введении рассмотрено современное состояние производства толстолистового проката, дана характеристика стана 5000 ПАО «ММК», обоснованы направления исследований, сформулированы цель и задачи, изложено содержание диссертации по главам.

В первой главе дана характеристика технологии и оборудования стана 5000. Представлены силовые схемы электроприводов горизонтальных валков, рассмотрены функции и структура системы автоматизации реверсивной клетки. Приведены структуры, поясняющие концепцию ROLL-GAP CONTROL и принцип регулирования



толщины и управления положением гидравлических нажимных устройств (НУ). Рассмотрены схемы профилированной прокатки. Экспериментально подтверждены неравномерное распределение нагрузок двигателей верхнего и нижнего валков при существующем алгоритме управления и недопустимые динамические нагрузки при захвате металла валками.

Вторая глава посвящена разработке математических моделей взаимосвязанных электромеханических систем реверсивной клетки. Разработаны модель электропривода, выполненного по системе ПЧ-СД с векторным управлением скоростью, и упрощенная модель двухмассовой электромеханической системы валков. Приведены математическое описание и структурная схема модели очага деформации. Выполнена разработка способа регулирования скоростей по принципу «постоянства массы». Выполнен анализ переходных процессов, подтверждающих компенсацию силового взаимодействия клетей в установившемся режиме прокатки.

Третья глава посвящена разработке методики анализа и прогнозирования эквивалентных нагрузок двигателей электроприводов горизонтальной клетки. Получены уточненные аналитические зависимости для расчета давления металла на валки при высоких очагах деформации. Разработаны алгоритм и программа, выполнен анализ эквивалентных нагрузок двигателей главных приводов верхнего (ВГП) и нижнего (НГП) валков. Представлены результаты анализа моментов двигателей ВГП и НГП за цикл прокатки.

Четвертая глава посвящена вопросам распределения нагрузок двигателей ВГП и НГП за счет разработки усовершенствованных алгоритмов управления. Разработан способ согласования режимов, обеспечивающий формирование заданных параметров «лыжи» и сокращение времени выравнивания нагрузок в установившемся режиме прокатки. Предложен нелинейный регулятор деления нагрузок с переключающейся структурой, обеспечивающий повышение быстродействия при компенсации рассогласования скоростей. Проведены исследования методом математического моделирования и экспериментальные исследования, подтвердившие преимущества разработанных решений.

Пятая глава посвящена совершенствованию системы автоматического регулирования перекаса зазора валков. Обоснован принцип регулирования асимметрии поперечного профиля раската путем перераспределения регулирующих воздействий на гидравлические НУ. Разработаны технические решения, направленные на компенсацию асимметрии межвалкового зазора. В результате математического моделирования и экспериментальных исследований подтверждено снижение разнотолщинности по ширине раската.

В шестой главе обоснована концепция ограничения нагрузок в режиме захвата металла валками, согласно которой осуществляется индивидуальная компенсация динамических составляющих упругого момента шпинделя. Разработаны способы ограничения момента, осуществляющие формирование специальных тахограмм электропривода. Получила развитие теория двухмассовых электромеханических систем. Разработаны наблюдатель и система прямого регулирования скорости валка, обеспечивающая ограничение упругого момента в шпинделе в режиме ударного приложения нагрузки.

Седьмая глава посвящена экспериментальным исследованиям и внедрению разработанных систем управления на станах 5000 и 2000 ПАО «ММК». Рассмотрен способ ограничения динамического момента за счет предразгона и компенсации ошибки регулирования скорости, внедренный на стане 5000. Представлены алгоритмы регулирования межклетевых натяжений в непрерывной подгруппе черновой груп-

пы клеток и согласования скоростей электроприводов вертикальных и горизонтальных валков универсальной клетки стана 2000. Приведены расчеты технико-экономической эффективности внедрения каждого решения и суммарный экономический эффект.

Предложения и рекомендации, сформулированные Гасияровым В.Р., аргументированы и оценены в сравнении с известными методами и положениями создания современных электротехнических систем клеток прокатных станков.

3. Научные результаты работы и их новизна

По мнению официального оппонента научную значимость диссертационной работы определяют следующие результаты:

1. Усовершенствованная методика оценки ограничений, накладываемых электроприводом на технологический процесс, включающая уточненные аналитические зависимости расчета усилия прокатки толстых заготовок и алгоритм автоматизированного расчета эквивалентных параметров нагрузки двигателей.

2. Научно обоснованный способ управления взаимосвязанными электроприводами валков горизонтальной и вертикальной клеток, обеспечивающий реализацию принципа «постоянства массы».

3. Новый принцип перераспределения регулирующих воздействий на исполнительные устройства клетки, на основе которого разработаны системы регулирования асимметрии зазора валков, осуществляющие измерение дифференциального рассогласования усилий в исполнительных устройствах и формирование управляющего воздействия, пропорционального измеренному рассогласованию усилий, на более нагруженное устройство.

4. Научно обоснованные способы автоматического управления скоростными режимами взаимосвязанных электротехнических систем, обеспечивающие устранение дефектов «лыжа» и серповидность раската, в числе которых:

- способ согласования режимов формирования «лыжи» и автоматического выравнивания нагрузок в установившемся режиме прокатки;
- способ устранения наследственной клиновидности заготовки за счет предиктивного регулирования асимметрии зазора валков;
- способ компенсации осевого смещения раската на входе в клетку и серповидности на выходе клетки, обусловленных разницей усилий в гидравлических нажимных устройствах, возникающей во время прокатки.

5. Концепция ограничения нагрузок в режиме захвата металла валками, согласно которой осуществляется компенсация динамических составляющих упругого момента шпинделя. Способы ограничения момента, обеспечивающие реализацию концепции за счет формирования специальных тахограмм электропривода.

6. Развитие теории двухмассовых электромеханических систем с наблюдателями координат, согласно которым разработаны наблюдатель скорости валка, обеспечивающий восстановление переходных процессов по непрерывно измеряемым параметрам электропривода, и система прямого регулирования скорости валка, обеспечивающая ограничение упругого момента в валопроводе клетки в режиме ударного приложения нагрузки.

4. Основные практические результаты

Практическая значимость диссертационной работы определяется исследованиями действующего промышленного объекта – толстолистового прокатного стана, результатами внедрения в эксплуатацию способов и алгоритмов управления, разработанных соискателем, выводами и рекомендациями по расширенному внедрению разработок.

Важными результатами, подтверждающими практическую значимость, являются:

1. Методика расчета усилий при высоких очагах деформации и нагрузочных режимов электроприводов, переданная ПАО «ММК», где используется при освоении новых профилей листового проката.

2. Принцип перераспределения регулирующих воздействий на исполнительные устройства клетки, внедренный на стане 5000 в системах:

– согласования режимов регулятора деления нагрузок и системы лыжеобразования;

– компенсации асимметрии зазора валков в процессе прокатки за счет автоматического регулирования положений нажимных устройств, расположенных на приводной и не приводной сторонах клетки.

3. Комплекс разработок, обеспечивающий снижение аварийности силового электрического и механического оборудования за счет ограничения динамических нагрузок в режиме захвата металла валками.

4. Алгоритмы регулирования межклетевых натяжений и согласования скоростей электроприводов горизонтальной и вертикальной клетей в динамических и установившемся режимах.

Результаты диссертационной работы внедрены в промышленную эксплуатацию на толстолистовом стане 5000 и широкополосном стане 2000 ПАО «ММК», что подтверждено актами внедрения. Подтверждены следующие показатели технико-экономической эффективности: экономия металла в объеме 4,7 тыс. т/год, увеличение срока эксплуатации оборудования клетки от 3 до 8 лет, снижение затрат на замену шпинделя на 5,76 млн руб./год. Суммарный годовой экономический эффект составляет 12,7 млн руб./год.

Разработанные способы и алгоритмы управления рекомендуются для внедрения на толстолистовых и широкополосных прокатных станах. Рекомендовано применение полученных результатов в учебном процессе.

5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций

Соискатель ученой степени Гасияров В.Р. в представленной диссертации корректно использует современные научные методы для обоснования решаемых задач, анализа полученных результатов и их критического сопоставления с известными положениями и разработками.

Обоснованность результатов исследований и положений, выдвинутых на защиту, базируется на комплексном теоретическом анализе, экспериментах, оценке опыта эксплуатации электроприводов стана 5000.

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается использованием современных апробированных методик и средств проведения исследований. Важным показателем, подтверждающим достоверность практических результатов, является эффективная эксплуатация внедренных алгоритмов на станах 5000 и 2000.

6. Апробации и публикации

Научные результаты диссертации опубликованы в 59 научных публикациях, в том числе в 16 рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 29 публикациях в изданиях, входящих в базы WOS и Scopus, патенте РФ на изобретение. Результаты исследований докладывались и обсуждались на 27 конференциях международного уровня. Опубликованные работы соответствуют диссертационной работе и с достаточной полнотой отражают ее содержание.

Основные положения, выводы и результаты соответствуют поставленным задачам и сформулированы автором содержательно. В них убедительно отражена научная новизна и практическая ценность выполненных исследований.

Содержание автореферата соответствует диссертационной работе по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, определениям актуальности, новизны, научной и практической значимости.

7. Соответствие диссертации и автореферата установленным критериям

Диссертационная работа Гасиярова В.Р., представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, полностью отвечает критериям, которые установлены пунктами (9 -14) Положения о присуждении ученых степеней.

Заявленная автором цель работы – развитие теоретических положений и разработка комплекса научно-обоснованных технических решений, направленных на совершенствование автоматизированных электротехнических систем толстолистного прокатного стана, – полностью реализована в проведенных исследованиях и отражена в диссертационной работе, автореферате и научных публикациях.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выносимые на защиту, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными разработками по рассматриваемой теме.

Выводы, сформулированные Гасияровым В.Р. по результатам выполненной работы, достаточно полно отражают научную и практическую ценность проведенных исследований по разработке и реализации способов, обеспечивающих расширение сортамента, снижение материалоемкости и улучшение качества листового проката.

Тема и содержание диссертации Гасиярова В.Р. соответствуют паспорту специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы:

- по направлению исследования, связанному с совершенствованием алгоритмов управления электроприводами толстолистовых прокатных станов как элементами электротехнических комплексов и систем и реализующему получение существенных научно-технических результатов по *«...общим закономерностям ... использования электрической энергии и электротехнической информации, а также принципы и средства управления объектами, ... определяющие функциональные свойства действующих или создаваемых электротехнических комплексов и систем промышленного... назначения»;*

- по объектам изучения – электроприводам реверсивной клетки толстолиствого стана как элементам *«электротехнических комплексов и систем ... электропривода и электрооборудования ... промышленных ... предприятий»*, которые *«... являются неотъемлемыми составными частями систем более высокого уровня... и должны обеспечивать эффективное и безопасное функционирование этих систем в широком диапазоне внешних воздействий»;*

- по области исследования (пункты 1, 3, 4 текста Паспорта).

В диссертации приведены сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов по совершенствованию электротехнических систем реверсивных клеток толстолистовых станов.

Структура диссертации построена в строгой последовательности с решением сформулированных задач. Редакционное оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям, предъявляемым к данным документам. Стиль изложения корректен с научной и технической точек зрения, соискатель ссылается на авторов и источники заимствования материалов или отдельных результатов.

8. Замечания и дискуссионные положения

1. Автор утверждает, что проанализировал опыт эксплуатации трех российских станов 5000. Насколько проблемы стана ПАО «ММК» «перекликаются» с недостатками, обнаруженными на других станах? И наоборот, какие проблемы выявлены на других станах, но не характерны для станов ММК?

2. На осциллограммах, рис. 13 автореферата (он же – рис. 4.3, а диссертации) продемонстрировано размыкание электропривода по скорости из-за ограничения по моменту. На рисунке 1.23 оба электропривода находятся в ограничении. Какие неприятности возникают в таких случаях? Может ли это привести к аварии?

3. Основное внимание в работе уделено обеспечению технологии и исследованию динамических показателей. Почему не исследовались энергетические характеристики, хотя рассматривались методы эквивалентирования и приведен расчет энерго-силовых параметров?

4. При описании модели синхронного двигателя в математических выражениях отсутствует расшифровка некоторых переменных: например, Ω_s и Ω_6 , M_6 , p , P на страницах 81-82. В формуле (2.15) диссертации мощность обозначается буквой «N», как это принято в механике. Но диссертация представлена по специальности «Электротехнические комплексы и системы», поэтому для обозначения мощности следовало бы использовать букву «P».

5. На рисунке 7.6 приведены диаграммы загрузки двигателей клеток при прокатке трубных марок стали. Отсутствуют обозначения осей, столбиков и самих диаграмм. Непонятно, в чем измеряется нагрузка двигателей (по току, мощности, моменту?), чему соответствуют столбики, в чем разница между диаграммами рисунка?

6. На стр. 20 автореферата указано, что для расчета эквивалентного момента по предложенному алгоритму необходимо хранение данных для 108 точек. Не совсем понятно, почему именно 108 точек? Это много или мало? Современные контроллеры позволяют хранить и обрабатывать значительно большие объемы данных. Тут автору следовало бы связать количество точек с качеством получаемых результатов и требованиями к аппаратной части информационно-измерительной системы.

7. На стр. 20 автореферата указано, что в модель подставляются сигналы скорости и момента двигателя в онлайн режиме. Однако не оговариваются допустимые погрешности к датчикам скорости и момента, которые могут вносить большую ошибку в динамических режимах.

9. Заключение

Диссертационная работа Гасиярова Вадима Рашитовича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки по созданию и реализации на практике способов управления электротехническими системами толстолистовых прокатных станов, имеющие существенное значение для развития металлургической отрасли страны.

Представленная диссертационная работа «Совершенствование электротехнических систем реверсивной клетки толстолистового прокатного стана» по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости результатов удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени доктора наук согласно п.п. 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 г. №842 с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. №335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор Гасияров Вадим Рашитович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой электротехники
и электрооборудования предприятий
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»


25.02.2021.

Хакимьянов Марат Ильгизович

Адрес: 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1 тел.: (347) 2420759;
e-mail: hakimyanovmi@gmail.com

Докторская диссертация Хакимьянова М.И. защищена по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Подпись Хакимьянова М.И.
заверяю, проректор по научной
и инновационной работе, к.т.н.



Рабаев Руслан Уралович