

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Феофилова Сергея Владимировича на диссертацию
Гасияровой Ольги Андреевны
«ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КЛЕТИ
ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА ЗА СЧЕТ
ОГРАНИЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК»
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Представленная на отзыв диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 135 наименований, имеет 156 страниц основного текста и четыре приложения объемом 13 страниц, содержит 64 рисунка и 20 таблиц.

Актуальность темы

Металлургические заводы с целью повышения конкурентоспособности своей продукции постоянно работают над совершенствованием технологий прокатки, а также внедряют производство листового металла с новым перечнем свойств. Это приводит к увеличению нагрузок на оборудование и как следствие снижению ресурса их электромеханических систем.

В диссертационной работе объектом исследования является электромеханические системы стана 5000 горячей прокатки ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (далее по тексту стан 5000). Отличительной особенностью горизонтальных клетей станов данного класса является индивидуальный (безредукторный) электропривод, механическое соединение двигателей и валков которого осуществляется с помощью шпинделей выдвигного (слипперного) типа.

Опыт эксплуатации таких станов показывает, что ударное приложение нагрузки при входе раскатов в горизонтальную клеть сопровождается превышением динамического момента на шпинделе над установившимся моментом прокатки в 1,5–2 раза, что соответствует максимальному превышению над номинальным моментом двигателя в 3–3,5 раза. Высокие динамические нагрузки приводят к преждевременному износу оборудования, что приносит предприятиям значительный ущерб. Наиболее часто происходят поломки шпиндельных соединений, причинами которых являются накопление усталостных разрушений, вызванных динамическими перегрузками.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО в ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА	
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	24.03.25
Фамилия регистратора	_____

Исследованию причин высоких динамических нагрузок и разработке способов их ограничения посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей. В них важным фактором, влияющим на динамические нагрузки, определены в том числе упругие свойства вала и угловые зазоры в шпиндельных соединениях. Однако опыт эксплуатации применяемых систем показал недостаточное снижение упругих моментов на шпинделях. Это объясняется недостатками алгоритмов управления электроприводом, а также отсутствием возможности непрерывного контроля (наблюдения) упругого момента.

Не менее важной задачей является расчет ресурса электромеханического оборудования. Несмотря на то, что в литературных источниках этому вопросу уделено достаточно внимания, разработка методики расчета ресурса по реальным нагрузкам, в том числе в on-line режиме без установки специализированных датчиков, используя цифровые наблюдатели, остается серьезной научно-технической задачей.

Обобщая сказанное, можно утверждать, что исследования, выполненные в диссертации Гасияровой О.А, является своевременными и востребованными, тема диссертации является актуальной.

2. Содержание диссертационной работы. Соответствие заявленной специальности

Диссертация посвящена теории и практике совершенствования автоматизированных электромеханических систем толстолистового прокатного стана, обеспечивающих повышение ресурса за счет ограничения динамических нагрузок средствами электропривода.

В первой главе дана характеристика объекта исследований – электромеханической системы горизонтальной клетки стана 5000, рассмотрены особенности режимов работы электроприводов при реверсивной прокатке, в том числе в динамических режимах. Отмечены недопустимые увеличения моментов двигателей и упругих моментов на шпинделях верхнего и нижнего валков. В результате анализа причин, приводящих к увеличению амплитуд динамических моментов, определены замыкание угловых зазоров в шпиндельных соединениях в момент захвата и упругие свойства вала.

Представлены результаты проведенных автором экспериментальных исследований, в том числе приведены осциллограммы скоростей и упругих моментов, полученные в режимах ударного приложения нагрузки и реверса электропривода при одновременном замыкании зазора в его шпиндельных соединениях.

Выполнен анализ достоинств и недостатков известных способов управления электроприводами, обеспечивающих снижение динамических нагрузок в

валопроводах прокатных клетей. Отмечено, что опыт эксплуатации ранее внедренного на стане 5000 усовершенствованного способа ограничения динамического момента с предразгоном и замедлением после захвата, выявил недостатки. Этот способ, обеспечивающий предварительное замыкание углового зазора и частичную компенсацию составляющей динамического момента, обусловленной упругими свойствами вала, из-за неравенства длин участков, прокатанных в режиме технологического ускорения после захвата раската валками, нередко приводит к возникновению силового взаимодействия горизонтальной и вертикальной клетей, в том числе к возникновению подпора. Это требует его совершенствование.

Обоснована актуальность разработки методики расчета ресурса шпинделей электропривода прокатного стана. В результате анализа известных методик расчета ресурса электромеханических систем обоснована необходимость разработки методики расчета ресурса шпинделей на основе линейной гипотезы Пальмгрена-Майнера.

В завершении главы сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлены исследования влияния углового зазора в шпиндельных соединениях на динамические процессы в электроприводе. Описана и реализована в Matlab/Simulink математическая модель электропривода валков как двухмассовой электромеханической системы, с использованием которой выполнен анализ переходных процессов. Показано влияние величины зазора на «запаздывание» и амплитуду момента при реверсе без металла в валках при разных угловых зазорах. Показано, что при изменении углового зазора от 1° до 8° максимальное значение момента двигателя увеличивается в 1,8 раза. Сделан вывод, что амплитуда момента при реверсе наряду с величиной зазора определяется ускорением во время замыкания зазора.

Предложены аналитические зависимости для вычисления ускорения, необходимого для гарантированного замыкания угловых зазоров различной величины в режиме предразгона.

Методом моделирования подтвержден недостаток ранее разработанного способа ограничения динамических нагрузок, заключающийся в различии длин прокатанных участков к моменту выхода на установившуюся скорость прокатки. Для устранения указанного недостатка предложено формирование тахограмм с переменным отрицательным ускорением после захвата. Установлено, что для обеспечения равенства скоростей в момент окончания замедления темп замедления должен быть пропорционален скорости в момент захвата.

В третьей главе разработан усовершенствованный способ управления электроприводами с предразгоном до захвата металла валками и регулируемым темпом торможением двигателя после захвата.

Представлена модель, реализованная в математическом пакете Matlab/Simulink, позволяющая выполнять расчет коэффициента динамичности в зависимости от величины углового зазора. Обоснованы аналитическая зависимость (полином) и алгоритм вычисления оптимального темпа замедления в функции углового зазора. Методом математического моделирования выполнен анализ переходных процессов, показано, что дополнительное торможение двигателя после захвата обеспечивает уменьшение кратности динамического момента в 1,6 раза при угловом зазоре 1° и в 1,46 раза при угловом зазоре 5° . Доказано, что задание темпов замедления как функции скорости двигателей в момент захвата обеспечивает равенство длин участков раската, прокатанных за время технологического ускорения. В результате чего устраняется опасность нарушения силовой взаимосвязи между последовательно расположенными горизонтальной и вертикальной клетями стана.

Четвертая глава посвящена разработке методики расчета усталостного износа и ресурса шпинделей, подвергающихся в процессе прокатки динамическим нагрузкам.

Разработаны система измерения (в том числе в on-line режиме) упругого момента и структура контроллера, предназначенного для подсчета количества случаев превышения упругим моментом заданного значения. Разработан наблюдатель упругого момента, обеспечивающий восстановление последнего по координатам электропривода, измеряемым в on-line режиме. Выполнена проверка адекватности упругих моментов, восстановленных наблюдателем; представлено обобщение результатов, подтвердившее приемлемую точность определения упругого момента.

Разработана методика вычисления ресурса шпинделя, основанная на линейной гипотезе Пальмгрена-Майнера, приведены аналитические зависимости, поясняющие расчет. Представлены результаты автоматизированного расчета ресурса за 1 месяц и за 2 года эксплуатации, полученные по результатам обработки массивов при прокатке реального сортамента.

Пятая глава отражает результаты экспериментальных исследований и внедрений разработанного алгоритма, реализующего предложенный способ управления электроприводами на стане горячей прокатки 5000 ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Экспериментально подтверждена эффективность разработанного способа управления.

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

Исследования, проводимые в рамках диссертационной работы, соответствуют паспорту специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы, а именно:

- пункту 1 – диссертационные исследования направлены на развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, на развитие математического и компьютерного моделирования компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические преобразователи энергии и системы электропривода;

- пункту 2 – диссертационные исследования направлены на разработку научных основ эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов;

- пункту 3 – диссертационные исследования направлены на разработку алгоритмов эффективного управления электротехнических комплексов.

3. Научные результаты и их новизна

1. Разработан способ управления электроприводом, обеспечивающий ограничение динамического момента двигателя и момента на шпинделе, согласно которому обеспечиваются замыкание зазора перед захватом путем предварительного разгона электропривода и торможение после захвата с темпом, пропорциональным значению скорости в момент захвата.

2. Обоснована методика и определены аналитические зависимости для расчета темпа ускорения электропривода в режиме предразгона, достаточного для замыкания угловых зазоров перед захватом при различных их величинах. Обоснованы аналитическая зависимость и алгоритм вычисления оптимального темпа замедления в функции скорости в момент захвата.

3. Разработан наблюдатель упругого момента на валу электропривода, обеспечивающий его восстановление в on-line режиме. Разработана система вычисления ресурса шпинделя электропривода на основе наблюдателя и контроллера, осуществляющего подсчет количества случаев превышения динамическим моментом заданного предельного значения.

4. Разработана методика расчета износа шпинделей электроприводов, обусловленного ударными нагрузками, основанная на гипотезе линейного накопления усталостных разрушений Пальмгрена-Майнера. Получены аналитические выражения для расчета ресурса шпинделей и анализа зависимости выработанного ресурса от величины момента при многократных нагружениях.

4. Основные практические результаты работы

На основе научных положений диссертации усовершенствованы и технически реализованы в электроприводах валков толстолистного прокатного

стана горячей прокатки 5000 ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»:

- разработанный алгоритм ограничения упругого момента за счет предварительного ускорения и торможения с регулируемым темпом после захвата;
- разработанный наблюдатель упругого момента на валу электропривода, реализованный в виде алгоритма в АСУ ТП стана.

Результатом внедрения разработок является увеличение нормативного срока эксплуатации оборудования главной линии клетки от 3-х до 8-и лет.

Кроме того, разработанный наблюдатель упругого момента и способ управления электроприводом рекомендуются для внедрения на прокатных станах с индивидуальным электроприводом валков и на других промышленных агрегатах, для которых характерны упругие связи, угловые зазоры и ударное увеличение нагрузки.

5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций

Соискателем ученой степени Гасияровой О.А. в представленной диссертации корректно использованы 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, а также экспериментальных исследованиях, выполненных в производственных условиях на стане горячей прокатки 5000 ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается использованием современных апробированных методик и средств проведения исследований, верификацией экспериментальных данных, соответствием результатов компьютерного моделирования и экспериментальных данных. Важным показателем, подтверждающим достоверность практических результатов, является положительная оценка итогов длительной эксплуатации внедренных алгоритмов на стане 5000.

6. Замечания и дискуссионные положения

1. В качестве цели работы заявлена «разработка комплекса научно-обоснованных технических решений, обеспечивающих повышение ресурса электромеханических систем реверсивной клетки толстолиствого прокатного

стана ... ». О каком комплексе решений идет речь? Дайте перечень разработанных решений, входящих в этот комплекс. Чем они объединены в рамках комплексного подхода?

2. В тексте диссертации и автореферате декларируется, что «при внедрении разработок использовался подход, основанный на создании виртуальных моделей объекта с последующим переносом отлаженного алгоритма в программное обеспечение управляющих контроллеров». Это достаточно серьезное заявление, которое не раскрыто в тексте диссертации. Данный вопрос требует дополнительного разъяснения.

3. Вызывает удивление заявление автора, сделанное в начале второй главы, о том, что «полноценного исследования влияния величины угловых зазоров на переходные процессы момента двигателя и упругого момента на шпинделе до настоящего времени не проводилось». В литературе этому вопросу уделено большое внимание, в том числе в диссертациях, на которые ссылается автор. Как объяснить это противоречие?

4. Достаточно поверхностно в диссертации рассмотрен вопрос определения углового зазора в шпиндельных соединениях. По сути, сделана ссылка на опубликованную статью. Этот вопрос является важным, поскольку может касаться различных электромеханических систем с зазорами. Почему он не представлен в диссертации?

5. На рисунке 1.11 (стр. 33) показана форма сигнала задания скорости электропривода с предразгоном и торможением после захвата. Не указано, как определяется момент начала предразгона? Как определяется момент времени начала торможения в реальной системе управления? Почему на этом рисунке разгон начинается в разные моменты времени?

6. На рисунке 4.2. (стр. 100) приведена структура разработанной информационной системы мониторинга упругого момента. Какой тип контроллера применен в системе и каковы требования к вычислительным устройствам?

7. В современных научных работах следует уделять больше внимания применению интеллектуальных алгоритмов управления. Например, следовало бы рассмотреть возможность применения нечетких алгоритмов, обучающих систем и других методов. Безусловно, это сложные вопросы, но, по крайней мере, направления их решения следовало бы обозначить. Тем более, что, судя по публикациям автора, наработки в данном направлении есть.

7. Общее заключение по работе

Диссертация Гасияровой О.А. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, обладающей

признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней решается актуальная, сложная научно-практическая задача, направленная на улучшение динамических показателей и увеличение ресурса электроприводов прокатных станов.

В целом представленная диссертационная работа «Повышение ресурса электроприводов клетки толстолистового прокатного стана за счет ограничения динамических нагрузок» по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости результатов удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук согласно п.п. 9-14 «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 Гасиярова Ольга Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, доцент,
заместитель директора передовой
инженерной школы «Тульская
инженерная школа «Интеллектуальные
оборонные системы»



Феофилов Сергей Владимирович

Подпись Феофилова С.В. заверяю:

Подпись Феофилова С.В.
Специалист по кадровой работе
Жукотарева И.В.
"21" 03 2008



ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
300012, г. Тула, пр. Ленина, д.92
Тел.: 8(4872)35-38-35
E-mail: info@tsu.tula.ru