

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента
Сухенко Николая Александровича на диссертационную работу
Гасияровой Ольги Андреевны «Повышение ресурса электроприводов клетки
толстолистового прокатного стана за счет ограничения динамических нагрузок»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность работы

Увеличение интенсивности производства проката на толстолистовых реверсивных станах горячей прокатки, внедрение передовых технологий производства листов с новыми свойствами и из специальных труднодеформируемых марок сталей приводит к увеличению нагрузок на оборудование прокатных клетей, в том числе к увеличению динамических нагрузок их электроприводов, и, как следствие, к снижению ресурса электромеханических систем.

Из опыта эксплуатации прокатных станов известно, что им характерно ударное приложение нагрузки, при котором динамический момент на шпинделе электропривода может достигать 2-х кратного значения и даже более, а при полной загрузке привода это нередко приводит к аварийным ситуациям – поломке шпинделей или даже самих валков.

Все это является причиной повышенных эксплуатационных затрат для металлургических предприятий. Поэтому исследования, направленные на ограничение динамических нагрузок и как следствие на повышение ресурса электроприводов клетки, несомненно являются актуальными.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 135 наименований. Работа изложена на 169 страницах, в том числе содержит приложения объемом 13 страниц. Работа хорошо иллюстрирована, содержит 64 рисунка и 20 таблиц, качественно оформлена.

Структура диссертации отличается логической последовательностью. Каждый раздел представляет законченную часть и имеет самостоятельное значение для решения поставленных 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.

Во введении отмечена актуальность исследования, дан анализ современного состояния направления исследований, сформулированы цель и задачи, изложено краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе дана характеристика электромеханического оборудования стана 5000 ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Рассмотрены известные способы управления электроприводом валков, обеспечивающие снижение моментов при захвате раската валками, приведены результаты их экспериментальных исследований, обобщен опыт эксплуатации и в результате сформулированы недостатки, а также обоснованы конкретные направления необходимых дальнейших исследований.

Вторая глава посвящена исследованию на математических моделях электропривода клетки стана 5000, реализованных автором в среде программирования Matlab. В результате теоретических исследований обоснованы аналитические зависимости для вычисления оптимального темпа замедления в функции зазора в шпинделе электропривода.



Установлено, что для обеспечения равенства скоростей в момент окончания замедления темп замедления должен быть пропорционален скорости в момент захвата.

Третья глава посвящена разработке нового усовершенствованного способа ограничений динамического момента при захвате металла валками. Приведено описание предложенного способа управления электроприводом. 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 в шпинделе 1° и в 1,46 раза при угловом зазоре 5° . Таким образом показано, что при внедрении предложенного алгоритма, реализующего разработанный способ, обеспечивается практически одинаковое снижение динамических нагрузок независимо от величины углового зазора в шпиндельных соединениях. Также доказано, что задание темпов замедления как функции скорости двигателей в момент захвата обеспечивает равенство длин участков раската, прокатанных за время технологического ускорения. В результате устраняется опасность нарушения силовой взаимосвязи между последовательно расположенными горизонтальной и вертикальной клетями стана.

В четвертой главе разработаны система измерения упругого момента, предназначенного для подсчета количества случаев превышения упругим моментом заданного значения. Система может быть применена как для вычислений по сигналам, поступающим в on-line режиме, так и путем обработки предварительно записанных массивов данных. Разработан цифровой наблюдатель упругого момента, обеспечивающий восстановление последнего по координатам электропривода, измеряемым в on-line режиме. Выполнена проверка адекватности его функционирования. Для этого проведено сравнение восстановленных моментов и осциллограмм, полученных на стане. Дано обобщение результатов, подтвердившее приемлемую точность определения упругого момента. Представлена разработанная автором методика вычисления ресурса шпинделя электропривода и результаты расчетов ресурса при прокатке реального сортамента за 1 месяц и за 2 года. Путем экстраполяции показано, что полная выработка ресурса шпинделя произойдет через 3,5-4,5 года.

Пятая глава посвящена экспериментальным исследованиям и внедрению разработанных систем на стане 5000 ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Подтверждена эффективность торможения после захвата как средства ограничения динамического момента на шпинделе. В результате анализа осциллограмм при проектном алгоритме управления и при реализации разработанного способа доказано среднее снижение амплитудных значений моментов двигателей и упругих моментов на шпинделях при захвате в 1,5–2 раза.

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

3. Научные результаты работы и их новизна

К наиболее значимым научным результатам диссертационной работы соискателя можно отнести:

1. Разработанный способ ограничения динамического момента двигателя и момента на шпинделе, обеспечивающий замыкание зазора перед захватом путем предварительного разгона электропривода и торможение после захвата с темпом, пропорциональным значению скорости в момент захвата.

2. Методику и аналитические зависимости для расчета темпа ускорения электропривода в режиме предразгона, достаточного для замыкания угловых зазоров перед за-

хватом при различных их величинах, а также аналитические зависимости и алгоритм вычисления оптимального темпа замедления в функции скорости в момент захвата.

3. Методику расчета износа шпинделей электроприводов, обусловленного ударными нагрузками и аналитические выражения для расчета ресурса шпинделей и анализа зависимости выработанного ресурса от величины момента при многократных нагружениях.

4. Основные практические результаты

В промышленную эксплуатацию на толстолистовом стане 5000 ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» внедрены следующие разработки:

1. Алгоритм ограничения упругого момента в электроприводе клетки за счет предварительного ускорения и торможения с регулируемым темпом после захвата. В результате экспериментальных исследований доказано снижение амплитуды упругого момента в 1,5–2 раза.

2. Система измерения упругого момента на валу электропривода с цифровым наблюдателем, обеспечивающим вычисление (восстановление) координаты упругого момента по координатам электропривода. Дано экспериментальное подтверждение восстановления упругого момента в динамических режимах с погрешностью, не превышающей 5%, что является приемлемым при разработке промышленных систем.

Внедрение подтверждено соответствующим актом.

Разработанный способ управления электроприводом и система измерения упругого момента с наблюдателем рекомендуются для внедрения на прокатных станах с индивидуальным электроприводом валков и на других промышленных агрегатах.

5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций

Соискатель ученой степени Гасиярова О.А. 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 ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается верификацией экспериментальных данных, соответствием результатов компьютерного моделирования и экспериментальных данных, а также положительной оценкой итогов длительной эксплуатации внедренных алгоритмов.

6. Апробации и публикации

Положения, выносимые на защиту, в 2020-2024 годах докладывались на 6-ти международных научных конференциях, по результатам которых опубликовано 6 докладов в изданиях, входящих в базы данных Scopus и Web of Science. По содержанию диссертационной работы опубликовано 17 печатных работ, основные научные результаты опубликованы в 5 статьях в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК и 3 статьях в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, а также в 2 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В целом в опубликованных работах материал диссертации представлен достаточно полно.

7. Соответствие диссертации паспорту специальности

Диссертационная работа О.А. Гасияровой соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы:

- 1) Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, ..., физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические ... преобразователи энергии ..., системы электропривода, ...;
- 2) Разработка научных основ ... эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов;
- 3) Разработка, ..., оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления;
- 4) Разработка эффективного ... и безопасного полного жизненного цикла электротехнических комплексов, включающего создание, эксплуатацию и утилизацию их компонентов.

8. Замечания и дискуссионные положения

1. На рисунке 1.7 показана осциллограмма захвата при разомкнутых зазорах в шпindelных соединениях. Существуют способы, и о них говорится в работе, обеспечивающие предварительное замыкание зазоров перед захватом. Почему в исследуемом случае захват осуществляется на открытый зазор, хотя это приводит к повышенным динамическим нагрузкам? Нельзя ли совсем исключить такой режим?

2. На рисунке 2.2. показана осциллограмма, демонстрирующая колебания скоростей при аварийном отключении электропривода. Не опасно ли проведение такого эксперимента с точки зрения повреждения оборудования?

3. Для достоверного обоснования представления электропривода клетки как двухмассовой системы с упругой связью следовало бы привести соотношение длины и диаметра вала механической передачи. Необходимы пояснения, как рассчитывался коэффициент жесткости упругой связи (его значение приведено в таблице 2.2). Учитываются ли при ее расчете свойства промежуточного вала, длина которого для электромеханических систем верхнего и нижнего валков различна? Соответственно, справедливо ли, что жесткость принята одинаковой?

4. Чем в Вашей работе обусловлено упрощение контура регулирования момента двигателя до инерционного звена на рисунке 2.1? Насколько это корректно и как влияет на точность воспроизведения процессов при моделировании?

5. Как получен график кратности упругого момента на рисунке 3.9? Получено ли аналитическое выражение для этого графика?

6. Почему при расчете экономического эффекта использовались данные по аварии, случившейся в 2012 году, хотя соискатель утверждает, что срок службы шпинделя не превышает 4-х лет? Очевидно, что по истечению 12 лет ценовые показатели изменились, поэтому является ли расчет экономического эффекта корректным?

7. Непонятно, почему автор посвятила свою работу только анализу переходных процессов электропривода в режиме ударного приложения нагрузки. В разделе 2 проведены исследования процессов в режиме реверса без нагрузки, подтвердившие, что замыкания зазоров происходят и в этом случае. Это позволяет предположить, что предложенный способ снижения динамических нагрузок может быть адаптирован и для режимов разгона и торможения. В этом случае можно было бы дать рекомендации по применению полученных результатов, например, на реверсивных станах холодной прокатки.

9. Заключение

Диссертация Гасияровой Ольги Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне на актуальную тему, в которой содержится решение научной задачи по разработке способа повышения ресурса электромеханических систем клеток толстолистового прокатного стана, имеющей значение для развития электротехнической отрасли знаний. В работе представлены новые научные положения и результаты, имеющие практическую ценность, что подтверждается экспериментальными исследованиями и внедрением в эксплуатацию в промышленных условиях.

В целом диссертационная работа «Повышение ресурса электроприводов клетки толстолистового прокатного стана за счет ограничения динамических нагрузок» удовлетворяет требованиям, установленным п.п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор, Гасиярова Ольга Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Электроснабжение
и электропривод» ФГБОУ ВО «Южно-Российский
государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова»

Сухенко Николай Александрович

Подпись Сухенко Н.А. заверяю
Ученый секретарь Совета вуза



Н.Н. Холодкова

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова»
346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132
Тел.: 8 (8635) 25-51-03
E-mail: oktb_start@npi-tu.ru