

## **АННОТАЦИЯ**

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D071800 «Электроэнергетика»

**Кунтуш Елена Викторовна**

### **СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПЕТЛЕВОГО УСТРОЙСТВА ЛИСТОПРОКАТНОГО СТАНА С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ**

Диссертационная работа посвящена исследованию методов и разработке технических решений по демпфированию колебаний в стальной полосе в электромеханической системе горизонтального петлевого устройства агрегата непрерывного горячего алюмоцинкования.

#### **Актуальность работы.**

Горно-металлургическая отрасль представляет собой стратегическую отрасль экономики страны, роль которой состоит в обеспечении сырьем производства высокотехнологичной и наукоемкой конечной продукции (машиностроения, стройиндустрии, авиационной, космической и оборонной промышленности). Горно-металлургическая отрасль - наиболее динамично развивающийся сектор промышленности страны, важнейшая составляющая экономики Казахстана.

На долю металлургической промышленности приходится свыше 35 % всего объема обрабатывающей промышленности.

Опыт комплексной автоматизации предприятий черной и цветной металлургии убедительно доказывает, что эффективное развитие металлургического комплекса, а также значительное повышение конкурентоспособности и качества металлопродукции на мировом рынке требуют глубокого совершенствования автоматизированных и автоматических систем получения и дальнейшей обработки информации о ходе технологических процессов, а современные тенденции развития промышленной автоматизации в металлургии характеризуются широким применением информационных технологий.

В настоящее время в металлургическом производстве широко применяются непрерывные прокатные станы. На них прокатывают основное количество листовой продукции, так как непрерывные листовые станы являются наиболее производительными. Наиболее ярко проявляются достоинства непрерывных станов холодной прокатки при прокатке больших партий полос одного размера.

Упругие деформации звеньев механических конструкций и передач являются одним из факторов, препятствующих повышению эффективности управления электромеханическими объектами и подлежащих подавлению средствами управления. Многостепенные упругие электромеханические

объекты характеризуются тем, что упругие колебания возбуждаются в них при любой попытке реализовать предельное быстродействие, что приводит к снижению качественных показателей объектов, их повышенному износу, поломкам и авариям, тормозит рост их производительности.

Проблемы построения и оптимизации взаимосвязанных электроприводов технологических линий привлекают к себе широкое внимание специалистов. Указанные вопросы решались многими учеными. В трудах Г.М. Иванова, В.Д. Барышникова, Ю.А. Борцова, Н.Н. Дружинина, А.В. Башарина, В.И. Ключева, Л.Н. Рассудова, В.Н. Мядзеля, Л.Г. Лимонова, И.В. Брейдо, Г.А. Сивяковой, О.А. Ющенко и других разработаны вопросы теории взаимосвязанных электромеханических систем с упругими связями, определены основные пути их анализа и синтеза.

В то же время не разработаны адекватные математические модели взаимосвязанных через обрабатываемый металл с изменяющейся упругостью многодвигательных электроприводов подобных агрегатов, в существующих многомассовых моделях не учитывается изменение масс элементов, при построении систем автоматического управления такими приводами не предполагается возможность изменения настройки параметров системы регулирования при изменении свойств полосы. Не установлены также взаимосвязи между технологическими параметрами обработки полосы, ее свойствами и параметрами системы автоматического регулирования электропривода.

Петлевые накопители горизонтального типа являются устройствами, состоящими из поступательно (тележки) и вращательно (барабаны, лебедки) движущихся масс, механическая связь между которыми осуществляется гибкими элементами (полосой, канатами). Динамика такой системы неблагоприятна и проявляется при постоянно повторяющихся режимах подачи и извлечения полосы. Рывки натяжения в параллельных ветвях полосы проявляются особенно в двигательном режиме при наборе полосы в петлевое устройство, а также в режиме задания пониженного натяжения в процессе сварки полосы в головной части агрегата, и являются одними из основных причин ее значительных вертикальных колебаний. Колебания стальной полосы в накопителе вызывают раскачивание печи термохимической обработки, расположенной над накопителем, охладителя и сказываются неблагоприятно на работе всего агрегата в целом. Неблагоприятная динамика полосы отрицательно сказывается на механической прочности элементов агрегата. Значительные колебания могут стать причиной обрыва нагретой полосы в печи термохимической обработки. Опасность обрыва полосы и связанного с ним длительного простоя сдерживают рост величины ускорения полосы и, в конечном счете, рост пропускной способности петлевого устройства, особенно для толстых полос.

Решить существующую проблему можно с помощью адаптивного подхода к совершенствованию автоматизированного электропривода, в связи с чем тема диссертационной работы актуальна и обоснована.

**Целью данной работы является:** повышение производительности листопркатного стана за счет уменьшения динамических нагрузок и колебательности полосы металла в горизонтальном петлевом устройстве с помощью адаптивного электропривода.

**Объектом исследования** в работе является электромеханическая система горизонтального петлевого устройства.

**Идея работы** состоит в разработке адаптивной системы управления электроприводом горизонтального петлевого устройства листопркатного стана, обеспечивающей демпфирование механических колебаний в полосе путем повышения чувствительности системы за счет введения обратной связи по производной скорости промежуточного второго ролика и изменения коэффициента усиления регулятора в функции изменяющегося в процессе работы накопителя момента инерции полосы металла.

**Научная проблема** заключается в необходимости исследования и создания систем управления электроприводами горизонтальных петлевых устройств, учитывающих изменяющийся коэффициент инерции полосы и ее упругие свойства

#### **Решаемые задачи**

1. Анализ основных направлений исследований, способов и методов демпфирования упругих колебаний в электромеханических системах
2. Экспериментальные исследования колебательных процессов в полосе металла в горизонтальном петлевом устройстве
3. Разработка математической и имитационной моделей электромеханической системы горизонтального петлевого устройства
4. Разработка адаптивной системы управления электроприводом горизонтального петлевого устройства
5. Имитационное моделирование электромеханической системы горизонтального петлевого устройства с адаптивной системой демпфирования колебательных процессов в полосе металла

#### **Научная новизна**

1. Разработаны математические модели многомассовой электромеханической системы горизонтального петлевого устройства, учитывающие изменение массы, жесткости, длины и провиса полосы в процессе его работы.
2. Предложена структура системы управления электроприводом горизонтального петлевого устройства, с введением корректирующего устройства и обратной связи по производной скорости второго ролика, обеспечивающая демпфирование колебательных процессов в полосе металла.
3. Предложена структура и осуществлено параметрирование адаптивного регулятора, обеспечивающего автоматическую компенсацию переменной длины полосы и коэффициента инерции за счет изменения его коэффициента усиления.

**Практическая значимость** полученных результатов заключается в:

1. Разработке комплекса технических решений для демпфирования колебаний в стальной полосе
2. Разработке структурной схемы регулятора с переменным коэффициентом усиления

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Математические и имитационные модели электромеханической системы горизонтального петлевого устройства с электроприводом постоянного тока, учитывающие изменяющуюся длину полосы и изменение коэффициента инерции в процессе работы горизонтального петлевого устройства.
2. Структура адаптивной системы регулирования электропривода горизонтального петлевого устройства, содержащей обратную связь по производной скорости промежуточного второго ролика и адаптивный регулятор с изменением его коэффициента усиления в функции длины заполнения горизонтального петлевого устройства.

**Предполагаемое внедрение:**

Рекомендации будут переданы в соответствующие проектные институты металлургической промышленности СНГ. Основные теоретические положения и результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, внедрены в учебный процесс в Карагандинском индустриальном университете на кафедре «Энергетика» факультета «Энергетика, транспорт и системы управления».

**Обоснование и достоверность результатов и выводов.**

Обоснованные и достоверные выводы и результаты диссертации основаны на использовании апробированных методов теории электропривода, механики, имитационного моделирования, применением пакетов прикладных программ Matlab/Simulink. Научные положения, результаты и выводы подтверждены путем сравнения адекватности материалов аналитических исследований и имитационного моделирования с данными промышленных экспериментов.

**Объём и структура диссертации**

Диссертационная работа состоит из содержания, обозначений и сокращений, введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников, 2 приложений. Основной текст работы изложен на 108 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков, 7 таблиц, список использованных источников из 138 наименований.

**Содержание работы.**

Во введении приводится обоснование актуальности решаемой в диссертационной работе проблемы. Сформулированы цели, задачи, научная новизна, практическая значимость работы, научные положения, выносимые на защиту. Приводятся сведения по используемым методам исследования, апробации и внедрению результатов работы, структуре и объёму диссертации.

В первой главе приведено описание объекта исследования. Проведен

обзор конструкций устройств, предназначенных для создания запаса стальной полосы в прокатных станах. Рассмотрены виды электроприводов, применяемых в металлургическом производстве. Произведен анализ способов демпфирования упругих колебаний. Сформулированы задачи исследований.

Во второй главе описано проведение экспериментальных исследований на агрегате непрерывного горячего алюмоцинкования.

В третьей главе разработана математическая модель электропривода постоянного тока горизонтального петлевого устройства. Описаны механические свойства: провис полосы, жесткость каната и полосы для различных сечений, коэффициенты внутреннего вязкого трения, моменты инерции всех элементов. Разработаны математические модели механической системы горизонтального петлевого устройства для различных его положений. Проведены имитационные эксперименты для разработанных моделей. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных. Доказана адекватность разработанных моделей.

В четвертой главе выполнен синтез электропривода горизонтального петлевого устройства с учетом свойств стальной полосы. Разработаны методы управления электроприводом горизонтального петлевого устройства с целью снижения упругих колебаний в электромеханической системе. Проведены имитационные эксперименты на скорректированной модели электропривода горизонтального петлевого устройства с учетом переменной длины стальной полосы.

В заключении приведены результаты исследований.

#### **Методы исследования.**

Для решения поставленных задач в работе использовались методы теории электропривода, механики, математической физики. Математические модели электромеханической системы горизонтального петлевого устройства созданы на базе теоретических разработок Ключева В.И., Сандлера А.С., Башарина А.В., Чиликина М.Г., Шрейнера Р.Т., Зюзева А.М. Имитационные исследования выполнены в пакете прикладных программ Matlab.

#### **Апробация работы.**

Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

1. на научно-техническом совете КарГТУ;
2. на научно-техническом совете кафедры АПП;
3. на международном симпозиуме «Информационные и системные технологии в индустрии, образовании и науке» (г. Караганда, РК, 2006 г.);
4. на международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана» (г. Караганда, РК, 2007 г.);
5. на международном симпозиуме «Информационно-коммуникационные технологии в индустрии, образовании и науке» (г. Караганда, РК, 2012 г.);

6. на Международной научно-практической конференции «Наука и образование – ведущие факторы стратегии «Казахстан – 2052» (Сагиновские чтения №5) (г. Караганда, РК, 2013 г.);

7. на X международной научно-практической конференции «Научная индустрия европейского континента» (г. Прага, Чехия, 2014 г.);

8. на IX Международной научно-практической конференции «Третья модернизация Казахстана – новые концепции и современные решения», посвященной 50-летию юбилею выпуска 1967 года – выпуска Первого Президента Республики Казахстан Нурсултана Абишевича Назарбаева (г. Темиртау, РК, 2017 г.);

9. на Международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения № 10) (г. Караганда, РК, 2018 г.);

10. на X Международной научно-практической конференции «Конкурентоспособность нации - основное условие повышения благосостояния народа», посвященной 55-летию юбилею Карагандинского государственного индустриального университета (г. Темиртау, РК, 2018 г.);

11. на Международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения № 11) (г. Караганда, РК, 2019 г.);

12. на XVI Международной научно-практической конференции «Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2020» (г. Прага, Чехия, 2020 г.).

**Основные научные результаты** докторской диссертации опубликованы в 20 научных трудах, в том числе 2 публикации в изданиях, входящих в информационную базу компании Scopus, 6 публикаций в изданиях, рекомендованных комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, 10 публикаций в международных научно-практических конференциях, в том числе 2 зарубежных. Получено 1 свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 247 от 22.10.2018 г.