

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента**

**доктора технических наук, профессора**

**Кравченко Олега Александровича**

**на диссертационную работу Воронина Станислава Сергеевича**

**«Совершенствование электротехнических систем клетки толстолистового прокатного стана в режиме регулируемого изменения формы раската»,**

**представленной на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук по специальности 05.09.03 –**

**«Электротехнические комплексы и системы»**

### **1. Актуальность работы**

Производство листового проката является одним из ключевых показателей развития тяжелой промышленности. Продукция, выпускаемая толстолистовыми прокатными станами, применяется при производстве труб большого диаметра, что позволяет реализовывать такие проекты как «Сила Сибири», «Северный поток-2», используя продукцию отечественных металлургических заводов. Помимо этого, вариативность толщины производимого листа позволяет использовать последний в таких отраслях как машиностроение, судостроение, нефтегазовая промышленность и атомная энергетика.

В Российской Федерации введены в эксплуатацию и функционируют три толстолистовых прокатных стана, которые обеспечивают потребность страны для реализации вышеупомянутых проектов. Поэтому актуальным направлением развития прокатной отрасли следует считать не только строительство новых производственных линий, но и совершенствование технологии прокатки листов на существующем оборудовании.

На рентабельность производства толстого листа влияют много факторов, среди которых особенно стоит выделить качество исходной заготовки и саму технологию прокатки.

Правильно подобранный режим прокатки, который включает в себя разработку алгоритмов управления подсистемами прокатного стана, а также рассчитанное взаимодействие всех подсистем между собой, дает уменьшение брака продукции и сокращение поломок оборудования – этим вопросам и посвящена диссертационная работа Воронина Станислава Сергеевича.

## 2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация Воронина Станислава Сергеевича состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа выполнена на 150 страницах машинописного текста, включая 53 рисунка и 13 таблиц. Список литературы состоит из 184 наименований, приложение объемом 9 страниц.

Во введении представлена необходимость повышения точности регулирования электротехнических систем прокатного стана с целью сокращения потерь металла.

В первой главе выполнен обзор и проведен анализ технологии прокатки, при этом особое внимание уделено профилированной прокатке – изменения зазора валков по длине листа в момент прохода металла через клеть. Показаны причины образования боковой и торцевой обрести и методы их сокращения. Выполнено сравнение технологий прокатки, используемых на современных зарубежных толстолистовых прокатных станах. Приведена общая концепция автоматического регулирования зазора и толщины листа. Обозначены недостатки существующей системы регулирования, обоснованы направления ее совершенствования.

Вторая глава посвящена разработке способа автоматического регулирования толщины при переменном обжатии. Сформулирован принцип действия системы регулирования с учетом модуля жесткости клетки и полосы. На основе этой концепции разработана структурная схема регулирования толщины листа, учитывая изменяющийся профиль листа в момент прокатки. Разработана имитационная модель взаимосвязанных электроприводов верхнего и нижнего валков и гидравлических нажимных устройств в структуре системы автоматического регулирования толщины, выполнена настройка взаимодействия подсистем клетки в составе системы управления. Результаты моделирования представлены в виде временных диаграмм.

В третьей главе представлен способ взаимодействия между электромеханическими системами горизонтальной и вертикальной клетей толстолиствого стана. Обоснована необходимость согласования скоростей валков клетей в момент прокатки. На основе математических моделей и расчетов выведена зависимость энергосиловых параметров в режиме профилированной прокатки, получены уравнения для среднего контактного напряжения. Выполнен расчет критического угла и опережения металла в валках при нахождении между клетями. Полученные зависимости использованы для разработки модели взаимодействия электроприводов горизонтальной и вертикальной клетей. Приведены результаты моделирования в виде диаграмм, подтверждена их достоверность.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований и внедрения разработанных методик и алгоритмов в условиях стана 5000 ПАО «ММК». Результаты подтвердили повышение точности и увеличение быстродействия регулирования толщины нажимными устройствами в режиме профилированной прокатки, согласование скоростей приводов во время прохода. В диссертации результаты представлены в виде осциллограмм. Способ ограничения динамического момента внедрен на стане 5000 ПАО «ММК».

В заключении представлены основные результаты научных исследований диссертационной работы.

### **3. Научные результаты работы и их новизна**

К наиболее значимым научным результатам диссертационной работы соискателя можно отнести:

1) Разработанную систему автоматического регулирования толщины с предупреждением (упреждающим регулированием), отличающуюся включением положительной связи по производной задания толщины на вход регулятора положения гидравлических нажимных устройств;

2) Разработанный способ ограничения нагрузки на горизонтальную и вертикальную клеть при прокатке с изменяющимся профилем, учитывая при этом скорости приводов клетей и принцип постоянства объема металла между клетями;

3) Разработанную модель подсистем прокатного стана, включая горизонтальную и вертикальную клеть, электромеханические и гидравлические нажимные устройства, а также взаимодействие всех подсистем за счет контуров регулирования положений нажимных устройств.

### **4. Основные практические результаты работы**

Предложенный способ ограничения силового взаимодействия подсистем стана и алгоритм регулирования толщины могут быть рекомендованы для сокращения обрезки металла и снижения аварийных ситуаций, связанных с ударными нагрузками на клеть, на строящихся и действующих толстолистовых и широкополосных станах горячей прокатки.

## **5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждаются использованием современных понятий технологии прокатки и представлений об функционировании оборудования прокатного стана, применением современных методов моделирования, сопоставлением и проверкой результатов моделирования на реальном объекте. Результаты, полученные в диссертации, не противоречат известным теориям и данным. Все положения в работе полностью обоснованы с научной точки зрения.

## **6. Апробация работы и публикации**

По теме исследования опубликовано 15 научных статей, из них четыре в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, девять в научных изданиях и журналах, входящих в базу Scopus и WoS. Имеется патент на изобретение и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Все работы соответствуют тематике диссертации.

Все основные положения по диссертации докладывались на российских и международных научно-технических конференциях.

Автореферат диссертации Воронина Станислава Сергеевича соответствует диссертационной работе по цели, задачам исследования, основным положениям, актуальности, научной и практической значимости, новизне и достоверности и др.

Исследования, приведенные в диссертационной работе Воронина Станислава Сергеевича, соответствуют формуле и области исследования пп. 1, 2, 5, приведенных в паспорте специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

## **7. Замечания и дискуссионные положения**

1. Как известно, при больших и средних обжатиях давление металла на валки оказывает существенное воздействие на последний – валок может изменить свою форму. В диссертации, при разработке модели взаимосвязанных электротехнических систем клетки нет упоминания о подобном. Разве изгиб валков не влияет на конечную геометрию листа при прокатке? Наверное, подобное стоит учитывать при разработке системы

управления. То же самое про износ валка – есть ли его влияние на конечную продукцию?

2. В первой главе диссертации большое внимание уделяется понятию «качества» проката, которые необходимо повышать. На основании каких положений сформированы требования и показатели качества готового листа, откуда взяты численные значения? Кто формирует эти требования?

3. При разработке структурной схемы гидравлического нажимного устройства используется линеаризованное уравнение сервоклапана для малых приращений координат. Имеет ли место использование данного уравнения при моделировании средних и больших перемещений гидроцилиндра, а также с учетом высоких значений усилий прокатки (в работе указано значение 40МН)?

4. Во второй главе диссертации представленные результаты моделирования разработанного алгоритма управления показаны при настройке модели на конкретные параметры. Толстолистовая прокатка осуществляется в несколько проходов с различными параметрами обжата. Изменяются ли результаты моделирования при других значениях задания, изменении обжата?

5. Для согласования скоростей электроприводов вертикальной и горизонтальной клетей в работе выведен ряд зависимостей (расчет опережения, критического угла и т.д.), указано, что целый ряд параметров клетки используются системой управления в виде табличных данных. Как повлияет такой объем расчетов на быстродействие системы управления на реальном объекте? Не приведет ли подобное решение к «запаздыванию» формирования сигналов управления?

6. При проведении экспериментальных исследований в работе большое внимание уделено моменту захвата металла валками и формированию головного участка раската, однако нет упоминаний о моменте выхода металла из клетки. Оказывают ли изменения в системе регулирования толщины и системе согласования скоростей валков, предложенные в диссертации, на хвостовую часть раската? Что будет с приводом при «выбросе» металла из валков?

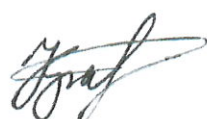
## 8. Общее заключение

Диссертация Воронина Станислава Сергеевича является научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение научной задачи по разработке нового способа взаимодействия механизмов клетей толстолистого прокатного стана при

прокатке с переменным обжатием. В работе представлены новые научные положения и результаты, имеющие практическую ценность, что подтверждается экспериментальными исследованиями и внедрением в эксплуатацию в промышленных условиях.

Работа «Совершенствование электротехнических систем клетки толстолистового прокатного стана в режиме регулируемого изменения формы раскат» удовлетворяет требованиям, установленным п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 №842), а ее автор Воронин Станислав Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент –  
доктор технических наук, профессор,  
и. о. ректора федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Тульский  
государственный университет», г. Тула

 Кравченко  
Олег Александрович

18.01.2022

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула.

Адрес: 300012, Тульская область, г. Тула, проспект Ленина, д. 92

Тел./факс +7 (4872) 35-21-55

E-mail: info@tsu.tula.ru

Сайт: <https://tsu.tula.ru/>

*Судьями Кравченко О.А. заверено  
и.о. начальника*

