

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 212.111.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 01.03.2022 г. № 1

О присуждении Латыпову Олегу Рафиковичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение стойкости рабочих валков широкополосных станов горячей прокатки на основе нейросетевого моделирования теплового состояния системы «полоса-валок»» по специальности 05.02.09 - Технологии и машины обработки давлением принята к защите 16.12.2021 г. (протокол заседания № 14) диссертационным советом Д 212.111.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Латыпов Олег Рафикович, «02» октября 1992 года рождения, в 2021 г. окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по направлению 15.06.01 – «Машиностроение» с профилем образовательной программы «Технологии и машины обработки давлением».

На данный момент работает ассистентом кафедры «Машины и технологии обработки давлением и машиностроения» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Машины и технологии обработки давлением и машиностроения» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Платов Сергей Иосифович, работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», заведующий кафедрой «Машины и технологии обработки давлением и машиностроения».

Официальные оппоненты:

1. ШАТАЛОВ Роман Львович, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», профессор кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии», г. Москва;

2. МУНТИН Александр Вадимович, кандидат технических наук, заместитель директора по научно-исследовательской деятельности Инженерно-технологического центра, АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, в своем положительном отзыве, подписанном Выдриным Александром Владимировичем, доктором технических наук, профессором, исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Процессы и машины обработки металлов давлением», указала, что диссертация Латыпова Олега Рафиковича, является законченной научно-квалификационной работой. В работе на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технологические и технические решения, направленные на повышение стойкости рабочих валков, заключающиеся в определении рациональных режимов охлаждения валков и совершенствовании конструкции коллекторов их охлаждения на основе результатов исследования их теплового состояния с помощью методов регрессионного, математического и нейросетевого моделирования. Полученные автором научные выводы и результаты вносят существенный вклад в развитие технологии производства широкополосного горячекатаного проката. Диссертационная работа Латыпова Олега Рафиковича и автореферат

соответствуют требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" (№ 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.09 – Машины и технологии обработки давлением.

Соискатель имеет 78 опубликованных работ. Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 15-и работах, из них 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 3 статьи в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах Scopus и Web of Science, 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах. Авторский вклад соискателя объемом 1,4 п.л. в опубликованных работах общим объемом 5,1 п.л. состоит в формировании основных идей и их научном обосновании, анализе и обобщении полученных в результате исследований данных, личном участии в промышленных испытаниях, подготовке научных работ к публикации.

К наиболее значимым публикациям относятся:

1. Платов, С.И. Исследование влияния температурно-скоростных режимов горячей прокатки на процесс окалинообразования / С.И. Платов, Р.Р. Дёма, О.Р. Латыпов, В.С. Банщиков, В.А. Мустафин, М.В. Харченко, Д.В. Терентьев // Технология металлов. – 2020. – № 12. – С. 36-40.
2. Дёма, Р.Р. Компьютерное моделирование и исследование процесса горячей прокатки на базе программного комплекса Deform-3D / Р.Р. Дёма, С.И. Платов, А.В. Козлов, О.Р. Латыпов и др. // Производство проката. – 2018. – № 11. – С. 36-40.
3. Дёма, Р.Р. Определение текущей величины износа рабочих валков при широкополосной горячей прокатке / Р.Р. Дёма, С.И. Платов, А.В. Козлов, О.Р. Латыпов и др. // Сталь. – 2018. – № 10. – С. 30-34.
4. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021665573. Расчет теплового состояния валков четырехвалковых клетей «кварто» с учетом технологии листовой горячей прокатки / Р.Н. Амиров, В.С. Банщиков, Р.Р. Дёма, О.Р. Латыпов, Т.А. Мурзабаев, А.А. Николаев, С.И. Платов, М.В. Харченко. Заявл. 8.10.2021, опубл. 12.10.2021.

На диссертацию поступили отзывы (все положительные):

1. АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, д.т.н. Болдырев Д.А.;
2. ГНУ «Институт технической акустики Национальной академии Беларуси», г. Витебск, д.т.н. Рубаник В.В.;

3. ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, д.т.н. Фастыковский А.Р.;
4. ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, д.т.н. Черняев А.В.;
5. ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк, к.т.н. Братковский Е.В.;
6. АО «МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ», г. Магнитогорск, к.т.н. Старушко А.А.;
7. АО АХК «ВНИИМЕТМАШ» имени академика Целикова, г. Москва, к.т.н. Сивак Б.А.;
8. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, д.т.н. Мишин В.В., к.т.н. Шишов И.А.;
9. ФГБУН «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН», г. Екатеринбург, д.т.н. Коробов Ю.С.;
10. ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», г. Москва, д.т.н. Горбатюк С.М.;
11. АО «Уральская Сталь», г. Новотроицк, д.т.н. Куницын Г.А.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания.

- Соискателем предложены технологические и технические решения, позволяющие повысить эксплуатационную стойкость рабочих валков. Не совсем понятно, возможно ли использовать предложенный подход на других металлургических предприятиях?
- В алгоритме (рисунок 2) определяется толщина полосы перед чистовой группой клетей. В какой степени обоснована необходимость в определении данного параметра, так как, как правило, он является заданной величиной при прокатке на широкополосных станах горячей прокатки?
- На графике (рис. 8, а) показано снижение средней температуры рабочих валков после прокатки 66 полосы. Чем объясняется данное снижение?
- Из текста автореферата не ясно, к какому диапазону температур обработки применима разработанная автором методика прогнозирования основных технологических параметров процесса широкополосной горячей прокатки.
- На рисунке 8Б перепад средней температуры валка по ширине бочки достигает весьма заметной величины - 50 °С. Чем обусловлен температурный перепад?
- На рисунке 8(а) на графике по оси абсцисс номера полос сливаются.
- Не ясно, в каких местах стана измерялся перепад температуры по ширине полосы тепловизором для составления уравнений 5, 6?
- В качестве замечания следует отметить, что автор неоднократно

ссылается на экспериментальные исследования, однако их сути и методик в автореферате не раскрывает. Следовало бы более подробно раскрыть методику эксперимента.

– В автореферате малое внимание уделено анализу точности использованных нейросетевых моделей. В частности, неясно, выборки каких размеров были использованы автором для обучения и тестирования разработанных моделей. К примеру, на стр. 9 автором указано «Средняя относительная ошибка ИНС составила 4,7 %». Эта средняя ошибка соответствует обучающей или проверочной выборке?

– Из автореферата неясно, чем руководствовался автор, выбирая конфигурации нейросетей. Известно, что с увеличением количества нейронов и скрытых слоев возрастает склонность модели к переобучению. Как автор убедился в том, что созданные модели именно обучились (т.е. обнаружили скрытые взаимосвязи между входящими в нее параметрами), а не просто запомнили входные данные?

– Из автореферата следует, что автором были предложены предсказательные модели как в виде регрессии, так и в виде нейросетей. При этом из автореферата неясно, чем руководствовался автор, выбирая метод построения предсказательной модели. Возможно, более простые модели показали бы сопоставимые по точности результаты с нейросетями. Оценивали ли автор точность нейросетевых моделей по сравнению с более простыми моделями (например, линейной регрессией)?

– Исходя из условий работы валка, представленных на рис. 6, условия теплоотдачи различны в зоне контакта и на участке, не контактирующем с лентой. Соответственно, различается и температура в этих областях. Необходимо указать, какая температура принимается за рабочую температуру валка в модели.

– Необходимо уточнить, что является выходным параметром модели, представленной автором. В главе 3 указано, что это коэффициент теплоотдачи, а в главе 4 – это изменение температуры.

– Автором указано, что «Погрешность разработанной математической модели оценивали сравнением значений температур рабочих валков, рассчитанных по данным цехового учета, и значениями температур, измеренных после вывалки». Автору желательно оценить точность прогноза по нейросетевой модели в сравнении с экспериментальными данными.

– При описании предлагаемого коллектора охлаждения указано, что

«коллектор поделен на центральную зону, промежуточные и крайние зоны». На рис. 10 автореферата коллектор содержит лишь три зоны по ширине.

– Следует обратить внимание на то, что должно быть пояснено, регулируется ли положение предлагаемой «перегородки» в зависимости от текущей ширины полосы (или позиции в программе прокатки).

– На рисунке 8 на графике показано снижение температуры валков примерно после 60-й полосы, однако объяснение данному явлению в автореферате нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широко известными исследованиями в области технологий и машин обработки давлением, в том числе математического и физического моделирования процессов широкополосной горячей прокатки, износа и повышения стойкости рабочих валков и деталей прокатного оборудования, результаты которых представлены в ведущих рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработан** научно-обоснованный подход повышения стойкости рабочих валков чистовой группы клетей широкополосных станов горячей прокатки путем стабилизации теплового состояния валков в результате использования коллекторов для их охлаждения с усовершенствованной конструкцией и вновь созданных рациональных режимов охлаждения;

– **предложен** оригинальный подход для определения коэффициентов теплопередачи (от полосы рабочему валку и от рабочего валка охладителю) с применением нейросетевого моделирования, отличающийся от известных подходов тем, что при определении коэффициентов учитывается средняя пауза прокатки и суммарное количество полос в программе прокатки;

– **доказана** перспективность совместного использования подходов статистического и нейросетевого моделирования деформационных режимов и тепловых процессов в системе «полоса-валок» чистовой группы широкополосных станов горячей прокатки.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

– **доказано** методом корреляционного анализа, что среди множества технологических факторов следует установить указанный далее порядок приоритетности их влияния на тепловое состояние рабочих валков: пауза между прокатываемыми полосами, обжатия в клетях, скорость прокатки, геометрические параметры прокатываемых полос, число задействованных

клетей в чистовой группе стана. Влияние остальных факторов следует признать слабо значимым для решения рассматриваемых в диссертации задач;

– **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс методов статистического анализа экспериментальных данных и нейросетевого моделирования, а также метод независимых потоков при моделировании теплового состояния рабочих валков;

– **изложен** способ адаптации математической модели теплового состояния рабочих валков к действующим условиям производства, в котором по предложенному алгоритму необходимо обучить составленную нейронную сеть с целью подбора коэффициентов теплопередачи в системе «полоса-валок»;

– **изучено** изменение теплового состояния рабочих валков в процессе прокатки, при этом аналитически установлено, что средняя температура рабочих валков во время исполнения различных программ прокатки значительно (на 25...35 %) превышает рекомендуемые значения, а градиент между средними значениями температуры в центральной части бочки валка и на ее крае составляет 80...90 °С;

– **раскрыты** вопросы нарушения теплового режима рабочих валков при прокатной компании и вследствие этого снижения стойкости рабочих валков;

– **проведена модернизация** существующей математической модели расчета теплового состояния системы «полоса-валок» с целью учета градиента температуры по ширине прокатываемой полосы в очаге деформации и уточнения результатов прогноза теплового состояния рабочих валков в процессе прокатки.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– **разработаны и внедрены** рациональные режимы подачи охладителя на поверхность рабочих валков и изменения в конструкцию коллекторов охлаждения в чистовой группе клеток широкополосного стана горячей прокатки 2000 ПАО «ММК», позволившие стабилизировать тепловое состояние рабочих валков и дополнительно повысить срок их службы на 7...10 эксплуатационных часов работы (7...10 %);

– **создана** система практических рекомендаций по назначению рациональных режимов охлаждения рабочих валков в чистовой группе клеток широкополосного стана горячей прокатки 2000 ПАО «ММК», реализованная в виде комплекса программ для ЭВМ №2020661646 и №2021665573;

– **представлена** методика, позволяющая рекомендовать технологические режимы процесса прокатки в чистовой группе клетей широкополосного стана горячей прокатки на основе применения полученных нейросетевых моделей и регрессионных уравнений, реализованных в виде программы для ЭВМ 2021665583.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **эксперименты** проведены на широкополосном стане горячей прокатки 2000 ПАО «ММК», обработка и оценка результатов исследования проведена в соответствии со стандартными методиками, полученные результаты согласуются с опубликованными данными других исследователей;

– **теория** построена на известных теоретических положениях и не противоречит основным законам физики, механики, трибологии, теплофизики и теории обработки металлов давлением;

– **идеи базируются** на обобщении отечественного и зарубежного передового опыта по совершенствованию технологии и оборудования охлаждения рабочих валков широкополосных станов горячей прокатки;

– **установлено**, что результаты прогнозирования теплового состояния в системе «полоса-валок» в чистовой группе клетей широкополосного стана горячей прокатки не противоречат результатам, представленным в независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в разработке математической модели теплового состояния системы «полоса-валок», проведении и непосредственном участии в теоретических и экспериментальных исследованиях, обработке и анализе полученных результатов, формулировке основных положений и выводов, внедрении в производство разработанных новых технологических и технических решений. Все результаты исследований, приведенные в диссертации, получены автором лично или при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Почему автор использует метод нейросетевого моделирования в диссертационной работе вместо других известных методов статистики?

– **в отзыве ведущей организации:**

Нет четкого обоснования, почему автор использует метод нейросетевого моделирования в диссертационной работе вместо других известных методов статистики?

– **в отзыве официального оппонента** Мунтина Александра Вадимовича:

В п.1.5, на стр. 33 «предлагается разработать и использовать ИНС, так как их применение по сравнению с другими методами статистической обработки данных позволяет эффективно работать с большими объёмами данных». Автором не даётся достаточное обоснование необходимости применения именно ИНС, тогда как для задач прокатного производства часто успешно используются интерпретируемые методы, например, линейная регрессия. Также для больших объёмов данных могут быть использованы деревья решений.

– **в отзыве на автореферат диссертации** Мишина Василия Викторовича и Шишова Ивана Александровича:

Из автореферата следует, что автором были предложены предсказательные модели как в виде регрессии, так и в виде нейросетей. При этом из автореферата неясно, чем руководствовался автор, выбирая метод построения предсказательной модели. Возможно, более простые модели показали бы сопоставимые по точности результаты с нейросетями. Оценивал ли автор точность нейросетевых моделей по сравнению с более простыми моделями (например, линейной регрессией)?

2. Какими физическими явлениями объясняется снижение средней температуры рабочих валков после прокатки 66 полосы на рисунке 8, а в автореферате?

– **в отзыве на автореферат диссертации** Рубаника Василия Васильевича:

На графике (рис. 8, а) показано снижение средней температуры рабочих валков после прокатки 66 полосы. Чем объясняется данное снижение?

– **в отзыве на автореферат диссертации** Куницына Глеба Александровича (АО «Уральская Сталь», г. Новотроицк):

На рисунке 8 на графике показано снижение температуры валков примерно после 60-й полосы, однако объяснение данному явлению в автореферате нет.

3. Автор не учитывает контакт между рабочим и опорным валками, хотя в процессе прокатки опорный валок оказывает влияние на изменение температуры бочки рабочего валка.

– **в отзыве ведущей организации:**

При определении факторов, влияющих на тепловое состояние рабочих валков (стр. 38-42) автор не учитывает контакт между рабочим и опорным валками, хотя в процессе прокатки опорный валок оказывает влияние на изменение температуры бочки рабочего валка.

Соискатель Латыпов Олег Рафикович ответил на замечания, задаваемые ему в ходе заседания, и привел собственную аргументацию:

1. Нейронные сети является рациональным инструментом при обработке больших массивов данных. Так, при прокатке за один месяц работы стана 2000 г.п. ПАО «ММК» и фиксации технологических параметров набирается от 2 млн. значений различных параметров. Также использование нейросетевых моделей увеличивает точность прогноза. Эти преимущества отмечены в работах Мазура И.П., Денисова С.П., Сеницкого О.В., на часть из которых сделаны ссылки в диссертации.

Помимо использования нейронных сетей для обработки больших объемов данных, использование нейросетевых моделей может увеличить точность прогноза, в данном случае средняя ошибка расчетов (толщина проката перед чистовой группой клетей и обжатия в клетях) по сравнению стандартными регрессионными моделями снизилась на 3-5%.

Метод построения предсказательной модели выбран исходя из сравнения средних ошибок полученных нейросетевых и регрессионных моделей. Нейросетевые модели при определении толщины перед чистовой группой клетей и обжатий в чистовой группе стана, показали увеличение точности на 3...4% по сравнению с существующими регрессионными моделями.

2. Данное снижение объясняется изменением геометрических параметров полос и паузами прокатки. Длина полос уменьшается, а паузы прокатки увеличиваются к концу программы прокатки.

3. В диссертационной работе при моделировании теплового состояния рабочих валков принято допущение: теплопередачи между опорным и рабочим валками нет. Доля тепла, передаваемая между данными валками незначительная, и, согласно литературным источникам, не превышает 5% (согласно работам Гарбера Э.А., Хлопонина М.В., Приходько И.Ю.).

Диссертационная работа Латыпова Олега Рафиковича соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013г. № 842, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 01.03.2022 г. диссертационный совет Д 212.111.03 принял решение за разработку научно-обоснованных технологических и технических решений, позволяющих повысить стойкость рабочих валков чистовой группы клетей широкополосных станов горячей прокатки путем применения полученных рациональных режимов охлаждения валков и усовершенствованной конструкции коллекторов охлаждения, присудить Латыпову Олегу Рафиковичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них докторов по специальности 02.05.09 – Технологии и машины обработки давлением, участвующих в заседании 12, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19; против 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Моллер Александр Борисович

Ученый секретарь
диссертационного совета



Терентьев Дмитрий Вячеславович

01.03.2022