

ОТЗЫВ

на диссертационную работу **Черномырдина Василия Игорьевича** на тему *«Исследование и разработка технологических режимов для стабилизации толщины холоднокатаных полос на концевых участках при прокатке электротехнических сталей»*, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.4. «Обработка металлов давлением»

Тема диссертационной работы является безусловно актуальной. Проблема утолщенных концов полосы известна со времен запуска первых непрерывных прокатных станов сортовой, трубной и листовой прокатки, и не потеряла своей актуальности и по сей день. При сортовой прокатке это проблема может быть решается обеспечением условий прокатки без межклетьевого натяжения полосы, при трубной прокатке – специальной подготовкой концов трубы на предыдущих технологических операциях. Но при листовой прокатке на непрерывных станах именно за счет межклетьевого натяжения во многом обеспечивают геометрическое качество производимого листа, а это, без специальной подготовки заготовки, неизбежно приводит к возникновению утолщенных концов раскатов. И чем выше заявляемый класс точности готового листа, тем выше потери металла. При производстве электротехнической стали, по данным автора работы, концевые участки полос выходят за допуски на длинах до 60–100 м при общей длине рулона порядка 5000 м.

Положения работы, заявленные как "**Научная новизна**", с некоторыми оговорками, рассмотренными отдельно ниже, наверное, являются таковыми.

В диссертации встречаются некоторые ошибки, неточности и неопределенности, например.

С. 27. "... в результате чего (увеличения скорости прокатки) происходит всплытие шеек рабочих валков относительно посадочных мест. Данное смещение приводит к увеличению межвалкового зазора...". Все наоборот.

С. 65-67. Произведен расчет ряда значений линейных коэффициентов парной корреляции Пирсона между экспериментально измеренными толщиной проката и толщиной исходного горячекатаного подката. Полученные довольно большие значения этого показателя объявлены "статистически значимыми", но проверки этой гипотезы (или данных для проверки) не приведено. Такие же "недосказанности" есть и в других местах при использовании статистических методов.

С. 93. "... с целью анализа влияния размеров полос на изменение толщины, построены совместные (общие) уравнения регрессии для данных измерений для ЭИС и ЭАС без разделения на отдельные размеры (h и B)." Как такое понимать?

С. 121. "... продольные (растягивающие) напряжения, ... , способствуя снижению сопротивления деформации полосы ...". А как же быть с общепринятой "гипотезой единой кривой", говорящей о независимости сопротивления деформации от схемы напряженного состояния?

Есть и другие неточности и недоработки.

Наиболее **сомнительные** положения диссертации.

1. 6 страниц диссертации, со с. 62 по с. 67, посвящено установлению давно и хорошо известной зависимости изменчивости толщины холоднокатанного листа при изменчивости толщины горячекатанного подката (используют даже спец. термин "наследование свойств"). Кроме того, ранее проведенный корреляционный анализ (таблица 2.3) показал, что степень влияния исходной толщины подката H на отклик (как на h_1 , так и на h_4), в среднем, является наивысшей и для головной и для хвостовой частей раската. Почему этот легко экспериментально определяемый фактор (есть датчик на входе в 1-ю клетку) в выводах, да и при дальнейшем рассмотрении, алгоритмизации и составлении режимов прокатки, никак не учитывается, в диссертации не объяснено.

2. В выводы к главе 2. (с. 80)." 2. Анализ результатов корреляционных исследований... . Зафиксированы статистически значимые коэффициенты корреляции (по модулю — от 0,41 до 0,89) между толщиной и такими параметрами процесса, как усилие, удельное натяжение и скорость прокатки." Т.е. в выводах по 2- главе, одна из главных целей которой — выявить наиболее значимые факторы, влияющие на конечную продольную разнотолщинность, факт влияние исходной толщины подката H (или связанных с ней разнотолщинности, величины обжатия, степени деформации и т.п.) на промежуточную и конечную толщину проката почему-то проигнорирован. И именно эти выводы положены в основу всей последующей "теории".

3. В качестве основы для достижения поставленной в диссертации цели — снижение длины некондиционных концов раскатов используются полученные в диссертации линейные уравнения регрессии для 1-й и 4-й клетке вида, соответственно

$$h_1 = \alpha_{01}^i + \alpha_{11}^i \sigma_{1-2} + \alpha_{21}^i V_1 + \alpha_{31}^i P_1; \quad (3.17)$$

$$h_4 = \alpha_{04}^i + \alpha_{14}^i \sigma_{3-4} + \alpha_{24}^i V_4 + \alpha_{34}^i P_4, \quad (3.18)$$

Т.е. используются зависимости толщины h_i только от трех факторов: межклетевых натяжений σ_{1-2} и σ_{3-4} , скорости прокатки V_1 и V_4 , и сил прокатки P_1 и P_4 .

Понятно, что исходная толщина подката H для рассматриваемого частного случая прокатки толщины 0,5 мм из 2,5 мм, "зарыта" в свободных членах уравнений (3.17) и (3.18), например, свободные члены можно представит так $\alpha_{0j}^i = k_j^i * H$, где k_j^i — постоянные коэффициенты влияния исходной толщины H . Но при такой структуре уравнений, H учитывается лишь "в среднем", отдельно для головного и хвостового участков для номинала 2,5 мм. Но судя по графикам на рисунках 2.13 – 2.16 и точкам на рисунках 2.17 – 2.20, H изменяется на концевых участках весьма существенно (до 0,3-0,4 мм), максимальная по краям, и приближаясь к номиналу в центре длины раската. А, значит, и ошибка прогноза по уравнениям (3.17) и (3.18) будет переходить из отрицательной в положительную и наоборот на каждом из этих участков (но "в среднем по больнице – 36,6").

4. Еще одним аспектом критики уравнений (3.17) и (3.18) является использование в них физически связанных, факторов, о чем автор совершенно правильно пишет при рассмотрении теоретических положений в разделе 1 (сила прокатки P зависит и от скорости прокатки V , так называемый "эффект скорости", и от межклетевых натя-

жений полосы σ в силу условия пластичности). Но если между факторами есть физическая связь, то они, безусловно, коррелированы, т.е. "стохастически зависимы". А это нарушение одного из важнейших ограничений применимости регрессионного анализа, абсолютно правильно приведенного автором на с. 92. Как-то не очень научно обоснованно все это. Да и случай сугубо частный – катаем только лист 0.5 мм из 2.5 мм из 4 разных сталей, и все. Это 8 частных расчетов коэффициентов уравнения регрессии для одних и тех же условий, с изменением всего лишь одного параметра – сопротивления деформации. Не уверен, что это можно назвать "научной новизной"?

5. Для выявления величины временной задержки от момента фиксации значений факторов прокатки до момента срабатывания систем регулирования вновь использован выборочный коэффициент парной корреляции Пирсона r_{ij}^{ξ} (2.2) (зачем-то названный в диссертации "оценкой нормированной взаимокорреляционной функции") между толщиной выходящего из клетки раската и значениями рассматриваемых трех факторов σ , P и V . Смещая массивы данных по длине полосы на различную "величину ξ , близкую к $\tau \cdot v$ " (какое значение v принимали, не пояснено, а v меняется), рассчитывали соответствующее значение r_{ij}^{ξ} и строили графики зависимости r_{ij}^{ξ} от τ , показанные на рисунках 2.28 – 2.31. На полученных графиках определяли величину задержки τ_0 как время, соответствующее максимальному значению r_{ij}^{ξ} по модулю. Для каждого из трех факторов σ , P и V получили разные значения τ_{0i} и для головного и для хвостового участков.

Весьма оригинальный, неординарный и внешне привлекательный подход.

Но, (опуская ряд сомнений относительно выбранной методики, связанных с указанным выше отсутствием учета H , коррелированности факторов σ , P и V , и другие аспекты статистического анализа), рассмотрим процедуру получения r_{ij}^{ξ} , которая, видимо, была примерно следующей (в диссертации подробно не написано, но не трудно догадаться).

В исходном массиве данных для прокатанной толщины h и технологических факторов σ , P и V "информация ... соответствовала одним и тем же участкам (поперечным сечениям) по длине исследуемых полос", с. 42 диссертации. Далее, "Для оценки величины задержки τ реализации процесса формирования толщины $h_i(x)$ смещали по длине полосы относительно реализаций процесса изменений технологических величин $T_j(x)$ на величину ξ , близкую к $\tau \cdot v$ ", с. 76 диссертации. И после этого для такого "частично смещенного массива" рассчитывали числовое значение r_{ij}^{ξ} при конкретном числовом значении $\tau = \xi/v$. И так, последовательно, смещая части (отдельные строки или столбцы) общего массива на следующую величину ξ , построили графики, показанные на рисунках 2.28 – 2.32, из которых и определили τ_0 . Но, такое смещение на величину ξ приводит к тому, что разрывается физическая связь между откликом h и рассматриваемым фактором (σ или P или V) – отклик измерен в одном поперечном сечении полосы, а факторы – совершенно в другом, расположенном на расстоянии ξ от исходного. Представляется, что это принципиально неправильно, принципиально противоречит всем идеям корреляционного анализа, да и простой житейской логике – ищем связь

между молотом где-то в Африке и наковальней где-то в Липецке, причем в одно и то же время.

Кроме того, вся идеология работы направлена на отыскание и использование связи между одномоментными значениями факторов σ , P и V и откликов h в текущем очага деформации, при текущей поперечном сечении заготовки H . При этом σ , P и V можно измерить при нахождении рассматриваемого поперечного сечения через очаг деформации, а h – только позже, при прохождении этим сечением датчика или за 1-й или за 4-й клетью. И зачем тогда знание задержки τ_0 ? Где ее использовать?

На с. 93-94 написано, что *"При формировании базы данных измерений (матрицы исходных данных) функции отклика и факторов, ... учитывали величины временных задержек (τ) ..."*, но как производился этот учет и зачем, непонятно и не описано. Кроме того, ни в алгоритме, описанном на с. 100 – 105, ни на блок-схеме этого алгоритма, приведенной на рисунке 4.1, следов использования "времени задержки" не обнаружено.

Наверное, при управлении параметрами прокатки с использованием датчика толщины подката, расположенного перед 1-й клетью, знание времени задержки очень важно и актуально, но это уже другой, по сравнению с рассмотренным в диссертации, метод задания режима прокатки и управления станом, совсем "другая песня".

6. Еще одним аспектом работы, рассмотренным в главах 3 и 4 является сопоставление применимости аналитического (инженерного) метода расчета в виде методики расчета силы прокатки Стоуна, регрессионной модели и модели, построенной на базе МКЭ в среде QForm. При этом при использовании инженерного метода расчет производился с использованием сугубо литературных данных по значениям коэффициента трения и сопротивления деформации. Для регрессионной модели использован большой массив опытных данных. А при использовании QForm *"Фактор трения для пар «валок – полоса» задавали в диапазоне 0,05–0,09 таким образом, чтобы расчётное значение давления соответствовало измеренному [6, 64]"*, с. 118. При такой постановке неудивительно, что результаты расчетов по этим моделям существенно различны: отклонения опытных данных от расчетных для аналитического метода расчета, где опытные данные вообще не использованы, превышали 20%, а для регрессионной модели и QForm расчеты были близки к тем же опытным данным, по которым они или получены, или настроены. И на основании таких совершенно разных условий использования: 1) сделан вывод о низкой точности аналитических методов, с. 97, и, 2) высоком уровне адекватности регрессионной модели, с. 97, и модели МКЭ QForm. Это, как мне кажется, несправедливо. Любой аналитический метод так же можно "настроить" по опытным данным и использовать не менее эффективно чем другие, куда как более затратные методы.

Практическая нацеленность и **"Практическая значимость работы"** являются бесспорными. Разработанные алгоритмы и режимы деформирования металла на нестационарных участках прокатки являются вполне реалистичными, и при их опробовании на стане 1400, дали ожидаемый результат по сокращению некондиционных участков проката, причем как по длине этих участков, так и по отклонениям толщины (выводы по главе 5, с. 134). Это говорит о том, что несмотря на указанные выше недостатки, в существующих условиях прокатки разработанные модели вполне работоспособны.

Несмотря на высказанные выше замечания, диссертационная работа Черномырдина В. И. «Исследование и разработка технологических режимов для стабилизации толщины холоднокатаных полос на концевых участках при прокатке электротехнических сталей» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решены актуальные технологические задачи повышения точности и стабильности толщины холоднокатаных полос, результаты проверены промышленным применением и дали положительный результат.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Черномырдин Василий Игорьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4 – «Обработка металлов давлением».

Лица, подписавшие отзыв, выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

Доцент кафедры обработки металлов давлением, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), кандидат технических наук, доцент.

Михайленко Аркадий Михайлович

02 апреля 2026

Кандидатская диссертация защищена по специальности
05.16.05 – «Обработка материалов давлением».

620062, Россия, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19 ,
кафедра "Обработка металлов давлением", Федеральное государственное
автономное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина» (УрФУ).

Тел: +7 (908) 6320242

e-mail: am_plus@mail.ru

Подпись Михайленко А.М. заверяю:

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

