



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002, тел.: +7 (343) 375-45-07
контакт-центр: +7 (343) 375-44-44, 8-800-100-50-44 (звонок бесплатный)
e-mail: rector@urfu.ru, www.urfu.ru
ОКПО 02069208, ОГРН 1026604939855, ИНН/КПП 6660003190/667001001

14.07.2025 № 01.09-07/598

На № _____ от _____ «УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени Первого Президента России
Б.Н. Ельцина»
д.ф.-м.н.

« _____ »

А.В. Германенко



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Босова Егора Владимировича

«Оценка возможности повышения эффективности ретроспективного анализа массивов данных производственного контроля процесса и продукта для задач управления качеством металлопродукции», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы диссертации

Для металлургии характерна значительная вариация значений характеристик качества металлопродукции (от партии к партии, от плавки к плавке), это наблюдается даже при соблюдении всех требований и норм на каждом этапе технологического процесса. Далеко не редки случаи появления так называемых вспышек брака, когда все параметры технологии находятся в пределах нормы. Постоянно растущее оснащение всех стадий процесса средствами измерения и сбора информации (о его прохождении), наряду с массовым характером однотипной продукции приводит к накоплению представительных баз данных (Big Data в металлургии), как о процессе, так и о качестве получаемой металлопродукции. В них содержится существенная информация о взаимосвязи показателей качества металла и технологического процесса. Определение данных закономерностей могло бы помочь стабилизировать качество металлопродукции, повысив тем самым его конкурентоспособность. Многочисленные попытки решить эту проблему на основе

применения статистического анализа далеко не всегда завершались успехом, особенно в тех случаях, когда рассматривалось влияние вариаций параметров в рамках всей технологической цепочки. В этой связи развитие новых подходов к анализу баз данных производственного контроля представляется весьма актуальной.

Структура и объём диссертации

На отзыв представлена диссертация, состоящая из введения, трех глав, частных (по главам) и общих выводов, списка литературы из 145 наименований. Работа изложена на 123 страницах, включает в себя 50 рисунков и 21 таблиц.

Оценка содержания диссертации

В **первой главе** представлен аналитический обзор литературы. Систематизированы факторы качества стали, проанализированы существующие алгоритмы Big Data и их практическое применение в различных отраслях науки, в т.ч. металлургии, обсуждены статистические процедуры, применяемые для обработки массивов данных, определены их возможные ограничения при их применении в металлургии.

Вторая глава посвящена описанию объектов и применяемым статистическим методикам исследования, которые включали в себя построение корреляционных и регрессионных моделей, расчет коэффициентов асимметрии и эксцесса, применение критериев согласия (Стьюдента и Смирнова) и различных приемов когнитивной графики. В качестве объектов исследования были выбраны базы данных технологического процесса получения металлопродукции из сталей 38ХН3МФА-Ш (цилиндрические поковки переменного сечения), 40ХМФА (сортовой прокат), листы из сталей 09Г2С, 13Г1С-У и 15ХСНД (по принятым в отрасли технологиям).

В **третьей главе** приведены результаты анализа баз данных производственного контроля технологии и продукта различных марок сталей, который позволили выявить уровень разброса приемно-сдаточных параметров металлопродукции. Также оценены риски влияния количества образцов (испытываемых на единицу продукции) с точки зрения возможной потери информативности о масштабе неоднородности ударной вязкости на примере листовой стали 13Г1С-У и крупных поковок из стали 38ХН3МФА-Ш. Полученные результаты будут несомненно полезны, как при назначении испытаний металлопродукции, так и при ретроспективном анализе баз данных производственного контроля. Продемонстрирован высокий риск прогноза регрессионных моделей, определяющих влияние колебаний управляющих параметров (в пределах поля допуска технологии), где показана неэффективность применения принципа управления «по возмущению». Выявлено ряд причин неудовлетворительного результата регрессии, в частности, вследствие существенного отклонения распределения значений параметров от нормального (в т.ч. различие в уровнях значений коэффициентов эксцесса внешне симметричных распределений). Немаловажное значение играет и наблюдаемый в работе характер гистограмм распределения величин приемно-сдаточных параметров. Однако основной причиной «не результативности» алгоритмов классической статистики, видимо, является

отсутствие единого пространства параметров технологии. Собственно, неэффективность принципа управления по возмущению и подтверждает это обстоятельство. Пространство обычно разбито на отдельные области со своим типом зависимости. Границы таких областей обычно ищут, как было показано ранее в работах кафедры металловедения и физики прочности, с помощью сложных приемов когнитивной графики. Однако возможной причиной отсутствия связи в паре «управляющий параметр - свойство» может быть также недостаточно высокая информативность существующих показателей качества. В этой связи автором, эвристические приемы когнитивной графики были применены, в частности для обоснования двухпараметрического критерия хладостойкости применимо к базе данных производственного контроля технологии получения крупных поковок из улучшаемой стали 38ХНЗМФА-Ш. Предложенный двухпараметрический критерий хладостойкости, оказался более эффективным по сравнению с поиском простого различия между ударной вязкостью при комнатной и пониженной температурах испытания. Применение приемов когнитивной графики также позволило выделить области изменения параметров технологии и состава, соответствующие высокой и низкой хладостойкости металла поковок.

В заключении приведены выводы по диссертации.

Научная новизна результатов исследования

1. Систематический анализ представительных массивов данных производственного контроля процессов получения широкого спектра металлопродукции (крупных поковок из улучшаемой стали 38ХНЗМФА-Ш, сорта из улучшаемой стали 40ХМФА, листовых сталей 13Г1С-У, 09Г2С, 15ХСНД), в рамках, действующих в различные периоды времени технологий, выявил отклонения в виде распределения значений приемо-сдаточных параметров от нормального вида распределения, диапазон изменений значений их коэффициентов асимметрии A_s и эксцесса E_x : от -0,81 до 2,12, и от -0,40 до 8,09 соответственно, что может повысить риски прогноза регрессионных моделей.

2. На основе анализа баз данных производственного контроля технологии получения листовой стали 13Г1С-У оценены степени риска, возникающие при ограничении количества образцов, используемых для оценки качества единицы металлопродукции с трех до двух и одного соответственно.

3. Подтверждена неэффективность регрессии и корреляционного анализа для прогноза качества металлопродукции (и факторов его определяющих) - высокий риск прогноза: от 0,44 (по модулю) и выше, что делает применение принципа управления качеством металла «по возмущению» не эффективным.

4. Показано, что разработанный с использованием приемов когнитивной графики двухпараметрический критерий хладостойкости крупных поковок из улучшаемой стали 38ХНЗМФА-Ш, основанный на использовании приемо-сдаточных параметров, входящих в базу штатных данных производственного контроля их качества (X_i^{max+20} и X_j^{min-50}) по сравнению с обычными оценками снижения ударной вязкости $\Delta_{ij} = X_i^{max+20} - X_j^{min-50}$, позволяет разделить поковки на четыре группы по хладостойкости (по убыванию): от высокой до

неудовлетворительной: $\{\Delta_{ij1}\} < \langle \Delta_{ij} \rangle$ и $\{\bar{X}_{ij1}\} > \langle \bar{X}_{ij} \rangle$; $\{\Delta_{ij2}\} > \langle \Delta_{ij} \rangle$ и $\{\bar{X}_{ij2}\} > \langle \bar{X}_{ij} \rangle$; $\{\Delta_{ij3}\} < \langle \Delta_{ij} \rangle$ и $\{\bar{X}_{ij3}\} > \langle \bar{X}_{ij} \rangle$; $\{\Delta_{ij4}\} > \langle \Delta_{ij} \rangle$ и $\{\bar{X}_{ij4}\} > \langle \bar{X}_{ij} \rangle$.

Достоверность полученных результатов обеспечивается при помощи обоснованных статистических процедур и программного обеспечения, представительным объемом анализируемых данных, учетом закономерностей протекания технологической наследственности в рамках исследуемых технологий, согласием полученных результатов с данными, имеющимися в научно-технической литературе.

Материалы диссертации нашли свое отражение в четырех публикациях (журналы из перечня ВАК, входящие также в базы данных Scopus и RSCI). Основные результаты диссертации были представлены на 4 конференциях: X и XI Евразийская научно-практическая конференция «Прочность неоднородных структур», г. Москва, 2021 и 2023 гг, Научно-технический семинар «Бернштейновские чтения по термомеханической обработке металлических материалов», г. Москва, 2022г. и XI Международная школа «Физическое материаловедение», 2023 г. г. Тольятти. Содержание диссертации достаточно полно отражено в автореферате.

Практическая значимость результатов диссертации

Полученные в работе результаты (алгоритмы и приемы статистических процедур) позволили выявить на основе анализа баз данных производственного контроля критические параметры процесса, определяющие повышенный разброс качества металлопродукции. Предложенные алгоритмы и статистические процедуры были использованы на АО «ВМЗ» при решении прикладных исследовательских задач, направленных на повышение однородности качества металлопродукции, что подтверждает «Акт о практическом применении».

Результаты работы представляют несомненный интерес для металлургических предприятий, научно-исследовательских организаций в области материаловедения, например, ГНЦ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», ГНЦ РФ НПО «ЦНИИТМАШ», АО «РусНИТИ».

Замечания по работе:

1. Предложенные оценки хладостойкости и факторов, её определяющих, были сделаны на основе анализа базы данных производственного контроля технологии получения крупных поковок из улучшаемой стали 38ХНЗМФА-Ш. Однако оригинальный подход почему-то не был применен для других объектов исследования (баз данных производственного контроля).

2. При применении двухпараметрического критерия хладостойкости, при двумерном отображении областей существования объектов в виде облака точек на плоскости, было бы полезно показать какие уровни прочности и пластичности соответствуют четырем группам хладостойкости поковок из стали 38ХНЗМФА-Ш.

3. Ряд формулировок, представленных в диссертации, структура построения ряда предложений не всегда позволяют быстро оценить заложенное в них содержание.

4. Корректность выявленных зависимостей совместного влияния параметров состава и технологии на свойства сталей, в частности хладостойкости, не вызывает сомнений, однако было бы целесообразно подтвердить полученные результаты прямыми оценками механизмов разрушения для характерных точек (образцов).

Заключение

Отмеченные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают ценности диссертационной работы Босова Е.В., имеющей научную новизну и практическую значимость в рамках актуальной области современного металловедения. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных автором исследований предложен комплекс алгоритмов и приемов когнитивной графики, повышающих эффективность ретроспективного анализа при раскопках данных производственного контроля в металлургии для прогноза и управления качеством металлопродукции. Диссертационная работа «Оценка возможности повышения эффективности ретроспективного анализа массивов данных производственного контроля процесса и продукта для задач управления качеством металлопродукции» соответствуют всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС», а её автор, Босов Егор Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Отзыв утвержден на заседании кафедры термообработки и физики металлов, протокол № 7 от 3 июля 2025 г.

Заведующий кафедрой «Термообработка
и физика металлов» ИНМТ УрФУ им. Первого
Президента России Б.Н.Ельцина, профессор,
доктор. техн.наук

Попов Артемий Александрович