

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,
главного научного сотрудника кафедры пиromеталлургических процессов,
профессора кафедры пиromеталлургических процессов
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

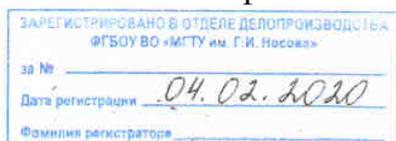
Рощина Василия Ефимовича

на диссертационную работу Харченко Александра Сергеевича,
«Интерактивная система энергоресурсосбережения при выплавке чугуна в
доменных печах, оснащенных лотковым загрузочным устройством: научно
обоснованные технологические решения», представленную на соискание
ученой степени доктора технических наук по специальности
05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Актуальность работы. Доменное производство чугуна даже с учётом определённых успехов альтернативных процессов остаётся ведущим способом извлечения из руд железа – основного металла современного периода развития цивилизации. Несмотря на многовековую историю, доменный процесс хотя и приблизился к теоретическому пределу технико-экономических показателей работы, но не исчерпал полностью своих возможностей. Учитывая масштабы производства доменного чугуна, количество и размеры действующих доменных печей, стоимость оборудования и объёмы вложенных средств непосредственно в доменный передел и в связанные с доменным процессом производства кокса, агломерата и других вспомогательных материалов, задача выявления резервов с целью продления срока эффективного использования доменного передела является актуальной. Решение этой задачи невозможно без мобилизации и полного использования тех немногочисленных резервов, которые ещё имеются в этом производственном процессе.

Необходимо подчеркнуть особую важность и актуальность этого вопроса, прежде всего, для ведущих производителей чёрного металла России – комбинатов Магнитогорского, Череповецкого, Липецкого, Нижне-Тагильского, Западно-Сибирского.

В связи с этим разработка системного подхода к управлению физико-химическими и теплофизическими явлениями при доменной плавке, осно-



ванного на существующих теоретических представлениях и собственных экспериментальных исследованиях автора диссертационной работы с использованием возможностей современной вычислительной техники, которому посвящена рецензируемая работа, является важной и, безусловно, актуальной. Помимо прочего, она объективно соответствует современным требованиям цифровизации технологических процессов.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что:

1. Детально исследован процесс и математически описаны закономерности истечения из шихтового бункера железорудных и добавочных материалов при различном наборе физических и механических свойств загружаемых материалов и разных вариантах загрузки их в шихтовый бункер. Это в сочетании с использованием и адаптацией к конкретным условиям работы печей сложных, но известных методов статистики позволило автору впервые:

– получить математические зависимости распределения различных шихтовых материалов в колошнике доменной печи при разных вариантах их загрузки в шихтовый бункер бесконусного загрузочного устройства лоткового типа;

– определить связь технико-экономических показателей работы печи с физическими и механическими свойствами загружаемых материалов и параметрами их загрузки в бункер загрузочного устройства;

– разработать научно обоснованные приёмы загрузки промывочных и других добавочных материалов, обеспечивающие рациональное распределение и локальное воздействие их на процессы в рабочем объёме печей, оснащённых загрузочными устройствами лоткового типа.

2. Выявлено и теоретически обосновано влияние горячей прочности кокса и его реакционной способности на газодинамику нижней части печи.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов подтверждаются:

– согласием теоретических оценок с результатами экспериментальных исследований и производственной практики;

– соответствием данных, полученных в работе, наиболее представительным и достоверным результатам отечественных и зарубежных исследователей;

– успешным решением на основе полученных результатов практических задач, связанных с управлением параметрами работы печей и достижением улучшенных технико-экономических показателей.

Практическая значимость заключается в том, что на основе результатов экспериментальных лабораторных исследований и теоретических разработок диссертанта для ПАО «ММК» разработаны рациональные режимы загрузки многокомпонентной шихты, обеспечивающие:

1. более высокую равномерность их распределения по площади поперечного сечения печи;

2. снижение расхода скипового кокса с заменой его коксом мелких фракций;

3. локальное воздействие на лимитирующие газодинамику зоны, позволяющее уменьшить расход кокса за счёт увеличения расхода природного газа;

4. управление распределением агломерата и железорудных окатышей относительно футеровки печи с целью повышения срока службы футеровки и снижения температуры холодильников;

5. уменьшения потерь железа с выносимой пылью;

6. промывку локальных зон горна с учетом показателей качества используемого кокса.

Новизна технических решений, имеющих практическое значение, подтверждается патентом на изобретение «Способ загрузки доменной печи», пятью свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ, разработанных для расчёта загрузки шихты в доменную печь по рациональным режимам, обеспечивающим достижение тех или иных целей, девятью

актами внедрения и одиннадцатью актами испытаний разработок диссертанта в ПАО «ММК», а также актом их использования в учебном процессе в МГТУ.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Она изложена на 434 страницах печатного текста, содержит 69 рисунков, 140 таблиц, список литературы из 517 наименований и имеет 27 приложений.

Содержание диссертации достаточно адекватно и полно отражено в тексте автореферата.

В *первой главе* диссертант обосновал целесообразность рассмотрения взаимосвязи процессов в доменной печи как интерактивной системы. Обосновано, что для повышения надёжности и минимизации времени и затрат на поиск решения целесообразно использовать физическое и математическое моделирование. Показано, что в качестве действенных элементов при этом могут использоваться детерминированные модели, уравнения регрессии и искусственные нейронные сети. В заключении по этой главе сформулирована общая проблема для ряда предприятий, доменные печи которых в последние годы были оснащены бесконусным загрузочным устройством, а также обоснованные этим цель и задачи исследований диссертанта.

Во *второй главе* автор детально и достаточно строго обосновал методику физического моделирования и математической обработки результатов этого моделирования. При этом для использования результатов физического моделирования применительно к решению конкретных производственных задач им были разработаны соответствующие программы расчёта на ЭВМ.

В этой главе изложены также результаты весьма обширного физического моделирования и математической обработки этих результатов. Анализ этих результатов позволил автору прогнозировать распределение различных компонентов шихты при различных вариантах их загрузки в доменную печь с бесконусным загрузочным устройством лоткового типа.

Четыре последующих главы посвящены совершенствованию или разработке рациональных технологических режимов работы промышленных

доменных печей ПАО «ММК» с учётом полученных диссертантом результатов при физическом и математическом моделировании.

Так, *третья глава* посвящена исследованию распределения шихтовых материалов и газов по окружности доменных печей и устранению или уменьшению неравномерности их распределения. В качестве исходного параметра при этом рассматривается температура периферийных газов. На основе фактических данных о температуре газов и с использованием усовершенствованных методов их статистической обработки устанавливается связь между распределением шихтовых материалов, газопроницаемостью и температурой газов. В результате делается заключение о степени равномерности распределения шихтовых материалов по окружности печи и предлагаются варианты загрузки, уменьшающие эту неравномерность

Методика опробована на печах ПАО «ММК» объёмом 1370 и 2914 м³. Разработаны режимы загрузки шихты и дутья, обеспечившие более равномерное распределение шихтовых материалов и газов по окружности печей. Это позволило заменить часть скипового кокса коксовым орешком и привело к улучшению технико-экономических показателей работы печей.

В четвёртой главе определяются рациональные режимы загрузки шихтовых материалов в доменную печь с учётом её технического состояния. Для этого диссертантом была разработана матрица вариантов загрузки, и по результатам экспериментов определялись рациональные варианты для достижения определённых целей – уменьшения тепловых нагрузок на систему охлаждения печи, увеличения интенсивности дутья, уменьшения истирания футеровки, устранения искажений её профиля, формирования рационального гарнисажа в горне, устранения настывлей и других. Следует отметить, что вследствие невозможности непосредственных измерений большинства параметров и большого числа влияющих на конечный результат параметров, для контроля отклика на вносимые в вариантах загрузки изменения диссертантом использованы довольно сложные статистические методы.

Главы 5 и 6 посвящены определению рациональных режимов загрузки шихтовых материалов и дутья при работе печей с верхней лимитирующей по газодинамике зоной или при определяющей роли горна.

В главе 5 исследовано влияние физико-механических и физико-химических свойств кокса и коксового орешка на газодинамическую напряженность в верхней части печи. Разработаны рациональные схемы их загрузки в колошниковое пространство с целью снижения газодинамической напряженности. В лабораторных условиях исследованы свойства агломерата и окатышей при нагреве их совместно с коксом, а в промышленных условиях определено влияние горячей прочности материалов на ход процесса доменной плавки. Разработаны рациональные режимы загрузки шихтовых материалов в зависимости от горячей прочности железорудного сырья.

Глава 6 посвящена разработке рациональных схем загрузки шихтовых материалов и режимов дутья, обеспечивающих восстановление дренажной способности коксовой насадки. Для её восстановления предложено использовать различные промывочные материалы. В производственных условиях опробованы и применены рациональные схемы загрузки, обеспечивающие локальную очистку горна от спели, кокса и тугоплавких материалов. В связи с большим количеством факторов, влияющих на связь результатов вносимых изменений в состав и схему загрузки шихтовых добавочных материалов, использованы сложные математические модели (Марковские цепи), описывающие случайные процессы, и нейросетевое моделирование.

В заключении по диссертации сформулированы основные научные положения и изложены достигнутые практические результаты работы.

В целом рецензируемая диссертационная работа представляет собой законченное исследование, имеющее значительную научную и большую практическую ценность. Работа выполнена в большом объеме, отличается логической структурой проведения исследований и изложения материала в диссертации.

Основные положения диссертационного исследования опубликованы в большом количестве статей в журналах, сборниках научных трудов и материалов конференций (всего 78). Из них 22 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, 10 – в журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, 46 – в изданиях трудов различных конференций. По теме диссертации диссертантом опубликована монография. На новые разработки автор получил патент РФ на изобретение и 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты исследований неоднократно были доложены на конгрессах, съездах и научных конференциях специалистов.

Автореферат достаточно полно раскрывает содержание, отражает структуру диссертационной работы и полностью соответствует основным положениям диссертации.

Основные положения диссертации принципиальных возражений не вызывают, но, вместе с тем, по диссертации имеются следующие частные *замечания*:

1. Диссертационные исследования позволили автору разработать ряд новых научно-обоснованных технических решений. Но не всегда понятно, как достигались и чем ограничивались те или иные результаты от этих технических решений. Использование того или иного варианта загрузки шихтовых материалов в загрузочный бункер позволяло достигать того или иного прогнозируемого качественно эффекта, например уменьшения удельного расхода кокса. Но почему расход кокса при этом количественно уменьшился именно настолько?

Использование автором диссертации возвратной частицы «ся» в глаголах, характеризующих результаты, заставляет предполагать, что результаты определялись автоматически сами собой: расход кокса уменьшался настолько-то и настолько-то, технико-экономические показатели улучшались так-то и так-то, по-видимому, без целенаправленного вмешательства технологического персонала (возможно, это действительно недалеко от истины?).

А почему бы их не уменьшить или увеличить на другую величину? Чем обоснованы и чем ограничены количественные результаты?

2. Диссертация имеет чрезвычайно большой объём и явно перегружена математическими формулами и таблицами при недостатке в ней многих использованных первичных данных и недостаточно чёткой трактовки физической сути полученных результатов.

Естественно, что при исследовании такого трудно поддающегося непосредственным измерениям параметров процесса приходится использовать много косвенных данных, устанавливать или исключать связи между случайными явлениями, обрабатывать результаты довольно изощрёнными методами статистики. В диссертационной работе это осуществлялось с помощью специально разработанных автором программ для ЭВМ. На стадии их разработки действительно необходимо было использовать математические формулы и приёмы, как приведённые, так и, вероятно, многие отсутствующие в тексте диссертации. Но при анализе диссертации по данным многочисленных таблиц без проведения вычислений с использованием разработанных программ практически невозможно оценить достоверность результатов расчёта. Надёжность результатов можно и нужно оценивать по сути их физического воздействия на процесс. А это в ряде случаев делается как бы между прочим.

Например, в табл.3.14 и 3.27 и в тексте на стр.141, 162 и 163 диссертации (табл. 3 и текст на стр. 18 автореферата) представлены интересные результаты по изменению степени восстановления железа разными восстановителями, но нет исходных данных, на которых базируются эти выводы.

3. Фактический материал трудно воспринимается, поскольку представлен недостаточно наглядно. В частности, в основном в виде 140 таблиц, в которых чрезвычайно много переменных исходных параметров и полученных результатов.

4. Диссертация отпечатана в чёрно-белом варианте, в то время как многие рисунки в компьютерном наборе выполнены цветными, что также затрудняет восприятие материала.

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки работы, выполненной на высоком научном уровне и имеющей большое практическое значение.

Заключение. Считаю, что диссертационная работа Харченко А.С. является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» № 842 от 24.09.2013, в которой изложены теоретические предпосылки и практические методы управления физико-химическими и теплофизическими процессами при доменной плавке чугуна, определяющие технико-экономические показатели процесса, а ее автор Харченко Александр Сергеевич достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент
доктор технических наук,
главный научный сотрудник
кафедры пиromеталлургических процессов,
профессор кафедры пиromеталлургических процессов
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский
государственный университет (НИУ)»,
научная специальность 05.16.02
– Металлургия черных, цветных и редких металлов.

 В.Е. Роцин

Роцин Василий Ефимович

Служебный адрес: 454080, г. Челябинск, ул. Ленина, д. 76,
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»,
кафедра пиromеталлургических процессов

Телефон: 8 (351) 267-91-61

E-mail: roshchinve@susu.ru

Начальник управления по работе
с кадрами Южно-Уральского
государственного университета

Василий Ефимович Роцин
28.05.2018

