

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию 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 темы

Актуальность рассматриваемой диссертационной работы обусловлена развитием экономики страны, прогрессивной автоматизацией и цифровизацией промышленности, повышением требований к качеству готового проката в условиях снижения себестоимости продукции, ужесточением экологических норм для металлургических предприятий, высокой конкуренцией за потребителя. Диссертационная работа развивает металлургическую отрасль в области получения чугуна в доменных печах за счет разработки новых, научно обоснованных технологических решений, обеспечивающих увеличение объемов выплавляемого металла при снижении энергетических затрат и продлении кампании доменной печи.

Объем и структура диссертации

Диссертация содержит введение, шесть глав, заключение, список литературы, используемой автором, приложения. Объем основного текста диссертации с заключением составляет 335 страниц машинописного текста, содержит 69 рисунков и 140 таблиц. Общий объем работы составляет 424 страницы. Список литературы включает 517 наименований. Имеется 27 приложений – акты внедрения результатов НИР в производство и учебный процесс, расчеты экономических эффектов, акты испытаний разработанных режимов и программного продукта, проекты изменений в технологическую инструкцию «Ведение доменной печи».

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	04.02.2020
Фамилия регистратора	_____

Введение

Обоснована актуальность темы работы, направленной на энерго- и ресурсосбережение в металлургии чугуна путем разработки новых научно обоснованных технологических решений локального воздействия на лимитирующие зоны и процессы доменной плавки. Сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость, представлены сведения об апробации работы, достоверности полученных результатов, личном вкладе автора.

Глава 1

Изложено состояние вопроса. Выявлены основные научные проблемы, заключающиеся в развитии теории локального воздействия на лимитирующие зоны и процессы доменной плавки, разработке и внедрении усовершенствованных технологических параметров работы доменных печей. Для решения проблем предложено использовать интерактивную систему энергоресурсосбережения при выплавке чугуна в доменных печах.

Глава 2

Глава посвящена развитию теории совместного выпуска сыпучей смеси из бункера через отверстие посредством физического и математического моделирования. Представлен комплекс математических моделей распределения агломерата, окатышей, коксового орешка и промывочных материалов по ходу выпуска их в смеси из бункера БЗУ в колошниковое пространство печи для различных условий загрузки. Полученные закономерности являются фундаментом для последующих исследований. Их использование позволяет выявлять и обосновывать рациональные режимы загрузки шихтовых материалов в доменные печи.

Физическое и математическое моделирование представлено как часть интерактивной системы и служит основанием для проведения

промышленных экспериментов на агрегатах и адаптации результатов к реальному производству.

Глава 3

Представлены результаты исследований по анализу коэффициента равномерности распределения шихтовых материалов и газов по окружности печей для построения интерактивной системы. Приведена новая методика определения и использования относительной неравномерности распределения материалов и газов по окружности печи на основе X^2 -статистики. Экспериментально оценены разработанные автором во второй главе режимы доменной плавки, обеспечивающие энергоресурсосбережение за счет понижения коэффициента окружной неравномерности распределения температуры периферийных газов, вычисленного по разработанной методике. Установлено влияние энергоресурсосберегающих режимов загрузки железорудных материалов и коксового орешка на газодинамику и тепловую работу по высоте печи, процессы восстановления железа из FeO и горения топлива.

Глава 4

Изложены закономерности распределения железорудных материалов и газов (CO , H_2 и CO_2) по радиусу печи при различных режимах загрузки. Представлены результаты рационального формирования шихты в периферийной зоне печи для локального воздействия за счет изменения режимов загрузки на толщину огнеупорной футеровки. В зависимости от ее состояния и от шихтовых условий разработаны и предложены рациональные режимы загрузки материалов, способствующих формированию гарнисажа или предотвращению ее излишнего истирания. Разработка по сохранению геометрических параметров рабочего профиля доменных печей в условиях повышения доли неофлюсованных окатышей награждена серебряной

медалью на Международной промышленной выставке «МЕТАЛЛ-ЭКСПО-2017».

Глава 5

Представлены разработанные и обоснованные рациональные технологические решения по локальному воздействию параметрами загрузки и дутья, позволяющие уменьшать потери напора газа в верхней части печи для энергоресурсосбережения. При определяющей роли газодинамики в верхней части печи представлены новые режимы загрузки железорудных материалов с различной горячей прочностью и температурой, кокса мелких классов и их влияние на теплофизические, газодинамические процессы и ход восстановления в доменной печи.

Глава 6

Представлены новые, научно обоснованные алгоритмы локальной загрузки промывочных материалов в зависимости от условий работы горна и параметров загрузки, обеспечивающие энергоресурсосбережение. Разработаны режимы загрузки промывочных материалов в смеси с коксовым орешком в различные зоны по радиусу печи в зависимости от величины горячей прочности кокса. Установлены рациональные технологические мероприятия, обеспечивающие уменьшение потерь напора в нижней части печи при определяющей ее роли.

Научная новизна

В диссертационной работе Харченко А.С. получены новые научные результаты:

– разработан комплекс математических моделей распределения железорудных и добавочных материалов при совместной их загрузке в пространство печи;

– создана интерактивная система энергоресурсосбережения на основе разработанных новых научно обоснованных технологических решений по локальному воздействию за счет изменения параметров и загрузки и дутья на ограничивающие ход плавки зоны и процессы;

– предложен механизм влияния реакционной способности и горячей прочности кокса на сопротивление шихты движению газового потока в нижней части печи в зависимости от расхода природного газа;

– разработана теоретически обоснованная методика оценки относительной неравномерности распределения материалов и газов по окружности печи на основе χ^2 -статистики, установлена взаимосвязь коэффициента по χ^2 -статистике с режимами загрузки, параметрами дутья и показателями работы печи.

Практическая значимость работы

Внедрение элементов интерактивной системы позволяет повысить равномерность распределения материалов и газов по окружности печи с целью энергоресурсосбережения, формировать рациональное по радиусу колошника соотношение компонентов шихты в периферийной зоне для предотвращения аварийных ситуаций.

Использование научно обоснованных разработок в производстве позволяет локально воздействовать на зоны и процессы в печи, обеспечивая уменьшение потерь напора газа в верхней или нижней частях печи, улучшение условий фильтрации жидких продуктов плавки через слой кокса в горне. Практическая значимость подтверждена актами внедрения в ПАО «ММК» и долевыми экономическими эффектами от внедрения результатов хоздоговорных НИР в производство, общая сумма которых превысила 10 млн рублей. При этом полное использование разработок, протестированных успешными опытными плавками, обеспечивает экономический эффект около 200 рублей/т чугуна.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения, выносимые на защиту, являются достоверными и обоснованными, свидетельствующими о существенном вкладе Харченко А.С. в развитие металлургии чугуна РФ. Основные научные положения диссертации разработаны на основе теоретического и экспериментального опыта. Достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования обеспечивается представительным объемом обработанной информации, применением современных методов моделирования и анализа, опытно-промышленной проверкой разработанных технологических рекомендаций. Они подтверждаются высокой степенью сходимости результатов лабораторных и промышленных исследований, использованием современного оборудования и апробированных методик, методов математической статистики, положительным опытом внедрения разработанных технологических рекомендаций.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Работа содержит все необходимые для докторской диссертации составные части и носит завершенный характер. Она написана хорошим техническим языком, грамотно оформлена. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации, раскрывает идею, защищаемые положения, научную новизну и выводы.

По теме диссертации опубликовано 78 научных трудов, в том числе 10 научных статей – в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science, Scopus и 22 научные статьи – в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ, 1 монография, 1 патент РФ на изобретение, 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

По диссертации имеются следующие замечания и вопросы.

1. Замечания по оформлению.

1.1. Библиографические ссылки. [22] – Фамилия Третьяк вместо Третьяк, с. 121-34 вместо 121-134. [54] – авторы Тарасов В.П. и Тарасов П.В., указан только Тарасов П.В. [56] – указан Тарасов В.П., нужно Тарасов П.В. [100] – указан Тлеугабрулов вместо Тлеугабулов. [195] – указан Максимов В.Е. вместо Максимов Е.В. В тексте диссертации нет ссылки на источник [407].

1.2. Названия организаций. С. 7 – указано ПАО «ЕВРАЗ НТМК», нужно АО «ЕВРАЗ НТМК». С. 8 – указано ТОРЕКС, нужно ТОРЭКС.

1.3. Орфография. С. 10 – печей, оснащенной БЗУ..., вместо оснащенных. С. 11 – решений структурированных в интерактивную..., нет запятой. С. 23 – способом. обеспечивающим, точка вместо запятой. С. 27 и с. 49 – в виду написано отдельно, хотя по смыслу нужно писать слитно. С. 29 – характер истичения вместо истечения. С. 39 и с. 40 – написано моратор вместо маратор.

1.4. Часто используются обороты типа «...для энергосбережения в металлургии использованием предложенной интерактивной системы...» (с. 9), я бы написал «путем использования предложенной интерактивной системы»; аналогично на с. 28 вместо «с лотковым ЗУ локальным воздействием» лучше использовать фразу «за счет локального воздействия»; также на с. 51, 53, 116, 205 и др.

1.5. С. 49. Постановка цели и задач исследования. Правильнее было бы написать «Формулировка цели и постановка задач исследования».

Далее по сути диссертационной работы.

2. На с. 53 указано, что физическое моделирование режимов загрузки компонентов шихты в колошниковое пространство доменной печи выполнено на лабораторной установке компактного бесконусного загрузочного устройства лоткового типа, изготовленной в масштабе 1:5 по отношению к линейным размерам БЗУ доменных печей № 2, 4 и 6 ПАО «ММК» со ссылками на рисунки 2.1 и 2.2. Ничего не сказано о геометрическом и физическом подобии лабораторной установки и реального

бесконусного загрузочного устройства. При этом, судя по всему, в экспериментах использовались куски шихты реальных размеров. В тоже время в разделе «Методология и методы исследования» указано, что в работе применяли методы физического и математического моделирования с соблюдением критериев подобия. Этого недостаточно, необходимо пояснить, какие критерии подобия использовались в работе.

3. В таблице 3.2 на с. 128 использованы приведённые температуры периферийного газа. Для наглядности следовало бы использовать реальные температуры. И, в целом, разработанная и предложенная методика определения относительной неравномерности распределения материалов и газов по окружности печи на основе X^2 -статистики, подробно изложенная в работе автора [457], сложна для практического использования. Несмотря на то, что фигурирует только неравномерность температуры периферийных газов под газоотводами, она фактически приравнивается к неравномерности распределения шихтовых материалов. Взяты парные временные периоды с разными системами загрузки шихтовых материалов в печь и проведено сравнение неравномерности температур в двух периодах работы печей. Ухудшение или улучшение равномерности распределения температур может быть следствием и других факторов, которые не учитывались.

4. Оценку газодинамического режима доменной печи (с. 134) следовало бы дополнить расчетами с помощью двумерных математических моделей и измерениями скорости в доменной печи. Возможности для этого есть. Значения скоростей газа (табл. 3.9) $1,2 \text{ м}^3/\text{с}$ в нижней части печи и $1,4 \text{ м}^3/\text{с}$ в верхней части печи вызывают сомнение.

5. В табл. 3.13 и 3.14 (с. 140) приведены степени восстановления углеродом, монооксидом углерода и водородом, их изменения. Однако, из текста непонятно, какую часть доменной печи они характеризуют: доменную печь в целом или отдельные зоны.

6. В разделе 4.1.1 (с. 172) указано, что на доменных печах № 4, 9 и 10 ПАО «ММК», оснащенных компактным бесконусным загрузочным

устройством лоткового типа, изучили влияние вида матрицы загрузки на изменение тепловых нагрузок системы охлаждения шахты. Однако не указано, каким образом, с помощью какой методики или математической модели загрузки формировались эти матрицы.

7. В разделе 4.1.2 (с. 178) приведен анализ изменения температур холодильников шахты доменных печей № 2, 9 и 10 при увеличении доли неофлюсованных окатышей в шихте. При этом не использован анализ профиля печи с помощью ультразвукового контроля (УЗК). В то же время при изучении влияния разработанных режимов загрузки на настыль (раздел 4.2.4, с. 216) анализ с помощью УЗК автором был использован. Получены наглядные результаты.

8. На с. 196 (рис. 4.8) приведены значения степени использования СО 50-60%, а на с. 213 (рис. 4.9) – 55%. Такие результаты требуют пояснения.

9. На с. 203 в табл. 4.10 и 4.11 для ДП № 4, 6 и 9 приведены температуры начала и конца плавления железорудных материалов. Не указан ГОСТ для определения температур и отбора проб. Непонятна причина изменения этих температур: температура, время, степень восстановления железа?

10. На с. 233 и в выводе 8 на с. 242 отмечено положительное воздействие на газодинамику процесса при работе доменной печи с настылью факторов: повышение эквивалентной по поверхности крупности железорудного сырья с 9,7 до 11,9 мм и другие воздействия, но не объяснен механизм этого влияния.

11. В табл. 5.11 (с. 252) приведена матрица загрузки доменных печей № 4, 6 и 9, однако в правой колонке указана ДП № 2. В табл. 5.12 указана скорость движения газа с размерностью $\text{м}^3/\text{с}$; как определялись скорость, напор, коэффициент сопротивления? В табл. 5.13 для полноты картины не хватает температуры фурменного очага.

12. Раздел 5.5 (с. 276) посвящен важности контроля температуры загружаемого в колошниковое пространство печи агломерата. Необходимо пояснить, каково соотношение затрат и полученного эффекта от такого контроля.

13. В разделе 6.3 (с. 301) выполнен анализ эффективности работы доменной печи использованием Марковских цепей с помощью математических моделей со ссылкой на свою работу [506]. Во внимание брались только расход кокса и производительность как случайные величины, а затем, по сути, считали вероятность того, что печь в будущем будет характеризоваться эффективной работой. Однако, делается вывод о том, что ремонт футеровки полностью изменяет рассчитанные вероятности. То есть модель неустойчива к входным параметрам. Проблема этого подхода в том, что расход кокса – это не случайная величина на небольших выборках и центральная предельная теорема здесь ещё не работает. Непонятно, как будет учитываться низкокачественный кокс.

14. Кроме того, говоря о математических моделях, используемых автором при выполнении диссертационной работы, недостаточное внимание уделено основополагающим принципам математического моделирования: адаптации и проверке адекватности моделей.

Отмеченные замечания не снижают ценности диссертационной работы и ее основных результатов.

Заключение по диссертации

Оценивая работу в целом, следует отметить, что она является законченной научно-квалификационной работой. В ней изложены новые научно обоснованные технологические решения, внедрение которых позволяет повышать эффективность доменной плавки, предотвращать аварийные ситуации, обеспечивать надежную эксплуатацию доменных печей между ремонтами I разряда, снижать экологическую нагрузку, уменьшать расход энергоресурсов на выплавку 1 тонны чугуна. Таким образом, внесен

значительный вклад в развитие металлургической отрасли Российской Федерации. Диссертационная работа имеет теоретическую ценность и практическую значимость.

Диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым к докторским диссертациям, согласно пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Харченко Александр Сергеевич, достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Главный научный сотрудник
лаборатории пирометаллургии
черных металлов Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки «Институт
металлургии Уральского отделения
Российской академии наук»
(ИМЕТ УрО РАН), профессор,
доктор технических наук
по специальности
05.16.02 – Металлургия черных,
цветных и редких металлов



Дмитриев Андрей Николаевич

31.01.2020

620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101
Тел.: +7 (343) 267-89-08.
E-mail: andrey.dmitriev@mail.ru

Подпись Дмитриева А.Н. удостоверяю,
Ученый секретарь ИМЕТ УрО РАН,
кандидат химических наук



Долматов Алексей Владимирович

Я, Дмитриев Андрей Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Харченко Александра Сергеевича, и их дальнейшую обработку

