

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.111.01,  
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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 25.02.2020 № 1

О присуждении Харченко Александру Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Интерактивная система энергоресурсосбережения при выплавке чугуна в доменных печах, оснащенных лотковым загрузочным устройством: научно обоснованные технологические решения» по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 19.11.2019 г. (протокол заседания № 18) диссертационным советом Д 212.111.01, 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 № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Харченко Александр Сергеевич, 1986 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Рациональное использование коксового орешка на доменных печах с компактным БЗУ лоткового типа» по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов защитил в 2012 году в диссертационном совете, созданном на базе Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.

Работает заведующим кафедрой металлургии и химических технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре металлургии и химических технологий в ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, Сibaгатуллин Салават Камилович, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор кафедры металлургии и химических технологий.

Официальные оппоненты:

Валавин Валерий Сергеевич, доктор технических наук, директор инновационного научно-учебного центра «Ромелт» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва,

Дмитриев Андрей Николаевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории пирометаллургии черных металлов ФГБУН «Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург,

Рощин Василий Ефимович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры пирометаллургических процессов, профессор кафедры пирометаллургических процессов, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, в своем положительном отзыве, подписанном Темлянцевым Михаилом Викторовичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе и инновациям, Нохриной Ольгой Ивановной, доктором технических наук, профессором кафедры металлургии черных металлов, указала, что диссертация Харченко Александра Сергеевича ... «выполнена на высоком научном уровне и представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу. Ее выводы и рекомендации достаточно обоснованы, имеют научное и практическое значение. Сформулированные в диссертации научные выводы полностью отвечают ее содержанию и непосредственно следуют из основных результатов. Она соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в пп. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. В ней содержатся научно обоснованные технологические решения, вносящие значительный вклад в развитие экономики металлургической промышленности страны .... Харченко Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Соискатель имеет 102 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 78 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 32 работы (10 статей – в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science, Scopus и 22 статьи – в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ), 1 монографию, 1 патент РФ на изобретение, 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Сведения об опубликованных работах достоверны. Авторский вклад соискателя объемом 13,73 п.л. в опубликованных работах общим объемом 46,63 п.л. состоит в постановке цели и задач исследования, разработке общей концепции теоретического исследования, по-

строении математических моделей, научном обосновании выявленных зависимостей, обработке и обобщении полученных результатов, подготовке работ к публикации.

К наиболее значимым научным публикациям относятся:

1. Харченко, А.С. Выявление закономерностей совместного поступления агломерата и окатышей из бункера БЗУ лоткового типа в колошниковое пространство печи физическим моделированием / А.С. Харченко // *Черная металлургия*. - 2019. - № 1. - С. 37-47.
2. Совершенствование доменного процесса за счет создания условий для увеличения потребления природного газа применением сырья повышенной прочности / С.К. Сибгатуллин, А.С. Харченко, В.П. Чернов, В.А. Бегинюк // *Черные металлы*. - 2017. - № 8. - С. 27-33.
3. Sibagatullin, S.K. The rational mode of nut coke charging into the blast furnace by compact trough-type charging device / S.K. Sibagatullin, A.S. Kharchenko, G.N. Logachev // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. - 2016. - № 1-4. - P. 531-537.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные):

1. Президиум Российской академии наук, г. Москва, академик РАН, д.т.н. Леонтьев Л.И.;
2. АО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург, академик РАН, д.т.н. Смирнов Л.А., к.т.н. Нечкин Г.А.;
3. ФГБУН ИМЕТ УРО РАН, г. Екатеринбург, д.т.н. Заякин О.В., д.т.н. Жучков В.И.;
4. Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр, д.т.н. Товаровский И.Г., к.т.н. Чайка А.Л., к.т.н. Лебедь В.В., к.т.н. Меркулов А.Е.;
- 5, 6. ФГАОУ ВО УрФУ – 2 отзыва, г. Екатеринбург, д.т.н. Загайнов С.А., д.т.н. Ярошенко Ю.Г., д.т.н. Лавров В.В.;
7. ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», Челябинск, д.т.н. Михайлов Г.Г.;
8. ФГАОУ ВО «НИИ МПП ТГУ», Томск, д.т.н. Зиатдинов М.Х.;
9. ФГБОУ ВО «ЧГУ», г. Череповец, д.т.н. Кабаков З.К.;
10. ФГБОУ ВО «ЯГТУ», г. Ярославль, д.т.н. Иванова В.А.;
11. ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, д.т.н. Цымбал В.П., д.т.н. Рыбенко И.А.;
12. ГОУ ВПО «ДНТУ», г. Донецк, д.т.н. Пономаренко А.Г., к.т.н. Кузин А.В.;
13. СТИ (филиал) ФГАОУ ВО «НИТУ МИСиС», г. Старый Оскол, д.т.н. Кожухов А.А.;
14. Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «НИТУ МИСиС», г. Новотроицк, к.т.н. Шаповалов А.В.;
15. АО «ЕВРАЗ НТМК», г. Нижний Тагил, управляющий директор д.т.н. Кушнарев А.В., советник управляющего директора по научно-техническому развитию к.т.н. Киричков А.А., начальник отдела агло-коксо-доменного производства Форшев А.А.;
16. ПАО «НЛМК», г. Липецк, директор технической дирекции Грачев С.Н., главный специалист по оптимизации рудно-термических процессов к.т.н. Титов В.Н.;

17. ПАО «Северсталь», г. Череповец, ведущий эксперт коксоаглодоменного производства, к.т.н. Деткова Т.В.;
18. АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк, директор коксоаглодоменного сегмента Бурылин С.Д.;
19. ПАО «ММК», г. Магнитогорск, главный металлург Исаков И.Ф., и.о. начальника доменного цеха Селезнев Д.И., менеджер группы по коксоаглодоменному производству научно-технического центра, к.т.н. Гостенин В.А.;
20. АО «Уральская сталь», г. Новотроицк, технический директор Зубов С.П.;
21. ООО «НПВП «ТОРЭКС», г. Екатеринбург, д.т.н. Фролов Ю.А.;
22. ООО «Научно-техническая производственная фирма «Эталон», г. Магнитогорск, заместитель директора к.т.н. Манашев И.Р.;
23. ООО «Научно-производственное предприятие «Уралэлектра» г. Екатеринбург, руководитель группы аглодоменного оборудования, технологии агломерации к.т.н. Береснев И.С., генеральный директор к.т.н. Солодухин А.А.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания.

- Не является бесспорным утверждение о том, что при загрузке окатышей в нижнюю часть бункера загрузочного устройства основной причиной увеличения тепловых нагрузок на холодильники является увеличение количества газов в пристеночной зоне.
- Вызывает сомнение значение степени использования CO выше 55% (рис. 7а автореферата).
- Следует пояснить физический смысл коэффициента сопротивления шихты (формула 20 автореферата).
- Сколько времени и ресурсов потребуется автору для разработки регламента загрузки шихты при задувке доменной печи после ремонта первого разряда с изменением профиля и установки БЗУ взамен двухконусного устройства?
- Какие особенности режимов загрузки автор выявил и мог бы рекомендовать для использования при повышении содержания окатышей в шихте до 90%?
- Можно ли рассматривать только последовательность загрузки шихтовых компонентов в скипы? При ссыпании смеси из скипа в бункер структура слоев изменяется.
- Каковы причины увеличения содержания CO<sub>2</sub> на периферии и в рудном гребне при повышении доли окатышей в шихте, в условиях улучшения газопроницаемости, повышения количества газа и понижения его температуры в пристеночной зоне? Здесь нет противоречия?
- Вероятные причины уменьшения настыли не механические, а физико-химические?

- Почему считаете температуру холодильников шахты на уровне 40-50 °С рациональной? Какая величина тепловой нагрузки, остаточная толщина футеровки, толщина гарнисажа соответствует этой температуре холодильных плит?
- Почему при изменении значения показателя горячей прочности кокса (CSR) при содержании кислорода в дутье 27% и расходах природного газа 85 и 132 м<sup>3</sup>/т чугуна (рис. 10 автореф.) зависимости коэффициента сопротивления шихты разнонаправлены? Нет ли здесь противоречия, так как увеличение/уменьшение показателя CSR с коэффициентом корреляции более 90% приводит к уменьшению/увеличению показателя CRI.
- Непонятно, как соотносятся данные табл. 9 с зависимостями рис. 10 автореферата.
- Насколько справедливы будут результаты, полученные автором, для применения их на печах с загрузочным устройством лоткового типа, имеющих два тракта?
- Не отражен способ улучшения дренажа продуктов плавки в центральной части горна доменной печи при загрузке кокса крупностью более 40 мм в осевую зону колошника с размещением фракции более 25 мм в рудном гребне и на периферии.
- Каково удельное значение расхода коксового орешка, используемое при моделировании его загрузки в количестве 0-6% от массы материалов?
- Какие современные измерительные приборы применялись в работе?
- Отсутствуют объяснения двух экстремумов на рисунке 2 автореферата.
- В работе не освещен вопрос по снижению удельного расхода кокса вдуванием пылеугольного топлива в доменную печь.
- Неясно, для чего использовали нейронную сеть при обработке информации. Что является для нее входными параметрами и какая выборка использовалась для обучения?
- Применительно к работе доменных печей ЕВРАЗ НТМК представляет интерес разработать комплексный параметр оценки эффективности управления системами распределения БЗУ по показателям хода процессов в печи.
- Неясно, какой метод факторного анализа использовали при построении моделей 14-16 автореферата.
- Целесообразно разработать технологические решения по корректировке режима загрузки материалов в колошниковое пространство печи применительно к изменению каждого, контролируемого в производственных условиях, показателя качества кокса.
- Непонятно, что означают значения показателя равномерности при 0 и 100 (рис. 5 автореферата).
- Из рисунка 1 автореферата непонятно, что по оси «Х».
- Непонятно, каким образом была получена зависимость 9 в автореферате, если с помощью регрессионного анализа, то отсутствует значение коэффициента достоверности.

- Где представлены результаты апробирования методики оценки распределения материалов и газов по окружности доменных печей ПАО «ММК»?
- Непонятно, каким образом автор оценивал коэффициент сопротивления шихты, степень восстановления железа с углеродом, водородом и оксидом углерода.
- Нет пояснения, чем отличаются варианты «а» и «б» на рис. 5 автореферата. Отсутствует объяснение причин образования экстремума на графике.
- В автореферате не представлена методология определения лимитирующих зон и процессов в доменной печи.
- В соответствии с данными ИТС 26-2017 производство кокса по выбросам пыли находится на 5-ом месте, а CO - на 2-ом, SO<sub>2</sub> - на 3-ем и по NO<sub>x</sub> - на 4-ом месте.
- В тексте автореферата отсутствуют структурные схемы или структура интерактивной системы, неясно, что подразумевается под термином «цифровизация»? Какие приемы цифровизации использованы в работе?
- В автореферате отсутствует технический анализ и химический состав используемого сырья, что затрудняет анализ применимости результатов на других предприятиях.
- В диссертации основное место уделено только энергосбережению в части снижения расхода кокса, в то время как к ресурсам, потребляемым при производстве чугуна в доменной печи, относят электроэнергию, кислород, техническую воду, природный газ.
- Потенциальные возможности создания патентов на основе разработанных технологических решений реализованы не полностью.
- Каково преимущество использования нового коэффициента оценки окружной неравномерности распределения материалов и газов на основе  $\chi^2$ -статистики?
- На рис. 6 (с. 21 автореферата) не полностью отражены легенды графика.
- Для данных физического моделирования в таблицах и графиках не приведены значения доверительных интервалов.
- При рассмотрении процессов горения топлива следует учитывать параметры и конструктивные особенности воздушных фурм.
- Неясно, какого месторождения титаномагнетитовую руду использовали на ПАО «ММК»?
- Целесообразно в дальнейшем более детально исследовать процессы, протекающие на более низких горизонтах ДП.
- Улучшение физико-механических свойств агломерата фабрики 5 ПАО «ММК» возможно негативно скажется на стойкости футеровки шахты в связи с чем, предлагаемые методы по формированию гарнисажа могут быть не актуальными.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновываются широкой известностью своими научными достижениями в области металлургии черных металлов,

наличием у них исследований в области металлургии чугуна, публикационной активностью в ведущих научных изданиях, а также способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработана** новая научная концепция формирования интерактивной системы в металлургии чугуна для энергоресурсосбережения; **предложены** подходы к определению рациональных параметров загрузки многокомпонентной шихты и использования комбинированного дутья, обеспечивающие необходимую равномерность распределения материалов и газов по окружности и сечению доменных печей, оснащенных БЗУ лоткового типа, для повышения их производительности и снижения удельного расхода кокса; **доказана** перспективность использования новых научно обоснованных технологических решений, обеспечивающих энергоресурсосбережение в металлургии, сохранение параметров рабочего профиля доменных печей и повышение срока службы футеровки, локальным воздействием на лимитирующие зоны и процессы; **введена** трактовка понятия интерактивной системы энергоресурсосбережения для металлургии чугуна.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

**доказана** применимость теории локального воздействия на лимитирующие зоны и процессы доменной плавки для энергоресурсосбережения в металлургии чугуна;

**применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** статистический анализ, в том числе факторный, дисперсионный и канонический анализы, нейросетевое моделирование, методы прогнозирования эффективности с приложением Марковских цепей, методы планируемого эксперимента с получением результатов, обладающих новизной;

**изложен** механизм формирования лимитирующих процессов в горне доменной печи, объясняющий разнонаправленное влияние горячей прочности и реакционной способности кокса на газодинамику нижней зоны печи при различном расходе природного газа;

**раскрыты** процессы, способные лимитировать ход доменной плавки и ограничивать экономию энергоресурсов при производстве чугуна;

**изучены** и дополнены закономерности формирования слоёв агломерата, окатышей и добавочных материалов в бункере БЗУ и в колошниковом пространстве печей, обеспечивающие повышение производительности, сокращение потребления кокса и требуемое качество металла при повышенной стойкости футеровки для различных условий процесса;

**получен** комплекс математических зависимостей очередности и равномерности поступления из шихтового бункера железорудных материалов и добавок по видам и крупности

при различных условиях загрузки, на основе которых **проведена модернизация** существующих математических моделей загрузки шихтовых материалов в доменные печи;  
**создана** теоретически обоснованная методика оценки соответствия технологическому регламенту распределения шихтовых материалов и газов по окружности печей на основе  $\chi^2$  – статистики.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** новый способ загрузки доменной печи (патент РФ 2700977), повышающий результативность процессов доменной плавки снижением удельного расхода металлургического кокса, новые технологии локального целевого размещения материалов по видам (агломерат, окатыши, материалы для промывки или формирования гарнисажа) на заданном удалении от футеровки печей режимами совместного набора компонентов шихты в бункер БЗУ и выпуска из него для сохранения параметров рабочего профиля доменных печей и повышения срока службы футеровки, повышения производительности и снижения удельного расхода кокса;

**определены** перспективы использования теории локального воздействия на лимитирующие зоны и процессы доменной плавки для энергоресурсосбережения в металлургии чугуна;  
**созданы** программы для ЭВМ (свидетельства о государственной регистрации №2011616895, № 2015617266, № 2015617267, № 2018660756, № 2018661555), применение которых направлено на энергоресурсосбережение при выплавке чугуна в доменных печах;

результаты **внедрены** в ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (9 актов внедрения), а также в ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Металлургия» и кадров высшей квалификации по направлению «Технология материалов» в виде учебно-методических материалов для лекционных курсов и практических занятий;

**представлены** рекомендации по совершенствованию доменного процесса (6 проектов изменений в технологическую инструкцию ПАО «ММК» ТИ 101-Д-22-2014).

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**эксперименты** проведены на доменных печах ПАО «ММК», оснащенных современной сертифицированной контрольно-измерительной аппаратурой и на физической модели БЗУ с соблюдением основных критериев подобия;

**теория** построена на известных законах движения сыпучих сред, газового потока, жидкостей, теплопередачи, массообмена;

**идеи базируются** на фундаментальных положениях составляющих доменного процесса и не противоречат результатам, представленным в независимых источниках;



**использовано** сравнение авторских данных с результатами, представленными в независимых научных источниках;

**установлен** высокий уровень сходимости результатов моделирования и промышленных испытаний;

**использованы** современные измерительные приборы и пакеты прикладных программ, обширный литературный материал, современные методики сбора и обработки информации компьютерным способом с применением современных сертифицированных программ;

**Личный вклад соискателя состоит в** развитии теории локального воздействия на лимитирующие зоны и процессы доменной плавки для энергоресурсосбережения; разработке методики физического моделирования и комплекса показателей, отражающих движение и распределение сырьевых материалов по окружности и сечению доменной печи; создании научных основ целевого формирования слоёв агломерата, окатышей и добавочных материалов в бункере БЗУ и в колошниковом пространстве печей в зависимости от решаемой задачи по воздействию на лимитирующие зоны и процессы; разработке конкретных приёмов повышения производительности, сокращения потребления кокса, снижения содержания серы в чугуне, удаления настъли и формирования защитного гарнисажа на футеровке; определении режимов локальной загрузки промывочных материалов, обеспечивающих рациональную очистку зон горна с наилучшей дренажной способностью коксовой насадки; выявлении рационального уровня технологических параметров в зависимости от состояния лимитирующих зон и процессов, подготовке к публикации статей и выступлений с докладами по теме диссертационного исследования.

Диссертационная работа Харченко Александра Сергеевича соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 г. № 842, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук.

На заседании 25.02.2020 диссертационный совет принял решение присудить Харченко Александру Сергеевичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.16.02 – Metallurgy черных, цветных и редких металлов, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

25.02.2020 г.



Колокольцев Валерий Михайлович

Мезин Игорь Юрьевич