

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.01,
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 КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.05.2024 г, № 5

О присуждении Сысоеву Виктору Ивановичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка научно обоснованного состава спекаемой шихты для повышения качества агломерата и производительности агломашин» по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 13.03.2024 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом 24.2.324.01, созданном 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 Сысоев Виктор Иванович, 2 мая 1986 года рождения.

В 2019 году с отличием окончил магистратуру в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по направлению 22.04.02 Metallургия, профиль «Metallургия черных металлов». В 2023 году окончил аспирантуру; направление подготовки 22.06.01 «Технологии материалов», профиль «Metallургия черных, цветных и редких металлов», при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Работает ассистентом кафедры 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 руководитель – доктор технических наук, доцент, Харченко Александр Сергеевич, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», заведующий кафедрой металлургии и химических технологий.

Официальные оппоненты:

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

Ганин Дмитрий Рудольфович, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования Новотроицкого филиала ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, в своем положительном отзыве, подписанном Гамовым Павлом Александровичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой пирометаллургических и литейных технологий, Роциным Василием Ефимовичем, доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории водородных технологий в металлургии, указали, что диссертация Сысоева Виктора Ивановича ... «по актуальности, научной новизне, практической значимости, степени достоверности полученных результатов является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением

Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Сысоев Виктор Иванович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – Metallurgy of black, colored and rare metals».

Соискатель имеет 34 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, из них 3 статьи – в рецензируемых журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ, и 3 публикации – в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science, Scopus. Сведения об опубликованных работах достоверны. Авторский вклад соискателя объемом 2,7 п.л. в опубликованных работах общим объемом 9,6 п.л. состоит в формулировании цели и задач исследования, организации и проведении лабораторных и промышленных экспериментов, анализе и интерпретации результатов исследования, разработке математических зависимостей основных показателей аглопроцесса и качества агломерата от состава железорудной части шихты, формулировке основных положений и выводов.

К наиболее значимым научным публикациям относятся:

1. Влияние распределения воды между операциями смешивания и окомкования на прочностные свойства аглошихты и показатели качества железорудного агломерата / С. К. Сибгатуллин, А. С. Харченко, В. И. Сысоев [и др.] // Теория и технология металлургического производства. – 2023. – № 1(44). – С. 4-10.

2. Определение рациональных параметров агломерации титаномагнетитовых руд Суроямского месторождения / А. С. Харченко, С. К. Сибгатуллин, В. И. Сысоев, С. В. Осколков // Черные металлы. – 2022. – № 12. – С. 10-16. – DOI 10.17580/chm.2022.12.02.

3. Исследование физико-химических свойств агломерата повышенного качества фабрики № 5 ПАО «ММК» при восстановлении в среде водорода / С. К. Сибгатуллин, А. С. Харченко, В. И. Сысоев, А. А. Полинов // Черные металлы. – 2022. – № 3. – С. 4-9. – DOI 10.17580/chm.2022.03.01.

4. Aspects of Sintering the Magnesian Iron Ore Concentrate in Blends with Magnetite Concentrates / S. K. Sibagatullin, A. S. Kharchenko, D. N. Gushchin, V. I.

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

1. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, д.т.н. Рыбенко И.А.
2. СТИ НИТУ «МИСИС», г. Старый Оскол, д.т.н. Кожухов А.А., д.т.н. Сёмин А.Е.
3. ООО «НПВП «ТОРЭКС», г. Екатеринбург, к.т.н. Берсенёв И.С.
4. НИТУ «МИСИС», г. Москва, к.т.н. Травянов А.Я.
5. АО «ЕВРАЗ НТМК», г. Нижний Тагил, к.т.н. Метелкин А.А.
6. ФГАО ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, д.т.н. Спиринов Н.А., д.т.н. Лавров В.В.
7. ООО «НТПФ «ЭТАЛОН», г. Магнитогорск, к.т.н. Манашев И.Р.
8. ФГАО ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, д.т.н. Загайнов С.А.
9. ФГАО ВО «НИТГУ», г. Томск, д.т.н. Зиатдинов М.Х.
10. АО «УИМ», г. Екатеринбург, к.т.н. Нечкин Г.А.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания.

1. Поскольку агломерат – это основная металлошихта для производства чугуна, полезно было бы проследить, что может измениться в показателях доменного процесса.
2. Отмечая, что меняется источник железорудного сырья, состав сырья и т.д., полезно было бы отметить, а что меняется в подготовке железорудного концентрата? Как это в целом отразится на сквозном процессе от добычи руды до (включительно) получения чугуна?
3. В работе говорится о влиянии концентрата разных производителей на качество агломерата, в связи с этим требуется пояснения, какие качественные ха-

рактические характеристики концентрата влияют на качественные характеристики агломерата.

4. В диссертации для интенсификации процесса агломерации использован ИПС (интерполимерное связующее) – с. 38 диссертации. В диссертации указан состав ИПС, совпадающий с составом действующего патента РФ №2 590 034 (патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное внедренческое предприятие «ТОРЭКС» (RU)). При этом отсутствуют ссылки на патент и публикации исследований использования ИПС в агломерации (в порядке обсуждения) И.С. Берсенева, С.Н. Евстюгин, В.А. Горбачев, Д.Ю. Усольцев, Б.Г. Винничук. Сталь. 2015. № 8, с. 2-4; Использование интерполимерных связующих для агломерации шихт на основе тонкоизмельченных концентратов И.С. Берсенева, Д.Ю. Усольцев, А.Ю. Петрышев, А.Ю. Колясников, А.Г. Грух, Б.Г. Винничук, Л.В. Резцова. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации, 2017, № 11 (1415), с. 43-46).
5. Аналогичный вопрос относительно использования добавок бентонита. Известны публикации (Микроструктура и минералогический состав агломератов при использовании добавок бурожелезняковых руд, бентонитовых глин и серпентинитомагнезитов Д.Р. Ганин, В.Г. Дружков, А.А. Паньчев, И.С. Берсенева. Черные металлы. 2018. №5. С. 10-14. Улучшение комкуемости агломерационных шихт из гематитовой руды Большетроицкого месторождения. И.С. Берсенева, В.А. Горбачев, М.П. Ершов, А.Ю. Петрышев, Г.А. Зинягин. Сталь. 2014. № 8. С. 8-9), в которых изложены результаты влияния бентонита на качество аглошихты и спекаемого агломерата. Возникают вопросы:
 - А. Насколько добросовестно выполнен автором литературный обзор?
 - Б. В чем состоят причины игнорирования указанных публикаций?
 - В. В чем отличия результатов автора от опубликованных исследований?
6. Формулировка «Использование **новых** (выд. авторами отзыва) окомковывающих добавок в агломерационную шихту (интерполимерное связующее, термообработанные отходы сероулавливающей установки, бентонит)» (с.134 диссертации) некорректна. Новыми являются только отходы СУУ, относи-

тельно бентонита и ИПС данные в открытой научно-технической прессе существуют. Просим пояснить указанную сентенцию.

7. Из автореферата неясна цель испытаний опытных агломератов под статической нагрузкой при восстановлении. Также неясен механизм образования экстремума производительности аглоустановки при доле Туканской руды 50 % в составе шихты. При защите требуется пояснить.
8. Для изучения влияния связующих добавок на параметры окомкования агломерационной шихты исследованы следующие материалы: интерполимерное связующее, отходы сероулавливающей установки и бентонит, каков химический состав представленных добавок?
9. В автореферате используется термин «рациональная шихта», что Вы подразумеваете под данным термином? Какие критерии рациональности?
10. Из текста неясно, использовали ли для построения треугольных диаграмм типа «состав-свойство» методы математического планирования эксперимента?
11. Не указано, проверяли ли построенные математические модели на адекватность?
12. Отсутствуют результаты экспериментов по агломерации двойных и тройных смесей исследуемых аглоруд, включающих местные руды Сосновского рудника и Туканского месторождения, хотя с моноаглорудами спекания были произведены.
13. Приводится вывод о том, что наилучшие показатели качества агломерата достигаются с использованием Стойленского концентрата, а рекомендуется смесь Лебединского и Михайловского концентратов.
14. Кроме того, В.И. Коротич доказал, в чашах какого размера получаются достоверные результаты. Также из содержания автореферата непонятно, поддерживалась ли при проведении опыта постоянная скорость фильтрации.
15. Из материалов автореферата трудно составить полную картину того, в чем заключается сущность физического и математического моделирования влияния состава двойных и тройных смесей концентратов и агломерационных руд

на показатели процесса и качества агломерата. Видимо, эта информация изложена в результатах диссертации.

16. Чем обусловлен выбор рассматриваемых в данной работе концентратов и аглоруд?
17. «Исследована возможность введения Туканской руды с различным содержанием железа (от 34 до 50,6%) в состав аглошихты АФ № 5 ПАО «ММК» (с. 12 автореферата). С какой целью исследовалась заведомо нетехнологичная аглоруда с содержанием железа 34-45 % в составе аглошихты, тем более применительно к аглошихте АФ №5 ПАО «ММК»? Высокие расходы Туканской руды (с. 17), имеющей существенное содержание щелочей, увеличат щелочную нагрузку на ДП.
18. Для более комплексной оценки проведенной диссертационной работы в автореферате не хватает данных о химическом составе получаемых агломератов. Насколько увеличивается сера в агломерате при замене части извести термообработанными отходами сероулавливающей установки (СУУ)? Насколько увеличивалось содержание щелочей при вводе Туканской руды в аглошихту? Как изменилось содержание железа в агломерате АФ № 5 ПАО «ММК» при использовании рациональной шихты (в опытном периоде)?
19. При оценке прочностных свойств получаемого агломерата диссертант ссылается на ГОСТ 15137-77 «Руды железные и марганцевые, агломераты и окатыши. Метод определения прочности во вращающемся барабане». В данном ГОСТ для испытаний требуется проба массой 15 кг, при этом используемая в диссертационной работе лабораторная чаша (емкостью 2,2 кг по шихте) не позволяет получать пробы агломерата пригодные для оценки по ГОСТ 15137-77.
20. В агломерационной шихте АФ № 5 ПАО «ММК» опытного периода аглоруды были представлены МихГОКом (доля 56 %) и Бапы (44 %) (табл. 2 с. 15), при этом рациональная смесь, определенная на базе лабораторных исследований, включает Стойленскую, Богословскую и Михайловскую аглоруды в соотношении 50/25/25 (с. 11), поэтому ввиду значительных отличий в составе аглошихты и пренебрегая составом аглоруд, опытный период АФ № 5 ПАО

«ММК» можно рассматривать лишь в части влияния изменившегося состава концентратов на параметры работы агломашин. По составу аглоруд ближе к рациональному был период «База II», но он характеризовался широким составом концентратов и низкой производительностью.

21. Есть ли оценка изменения себестоимости агломерата при переходе на рациональную шихту? Анализировалась ли практическая целесообразность (увеличение себестоимости агломерата) использования связующего из СУУ (гипса) на АФ №5 ПАО «ММК» с учетом необходимости проведения его термообработки и организации отдельной цепочки дозирования и подачи?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновываются их известными систематическими исследованиями и научными работами, опубликованными в высокорейтинговых рецензируемых журналах по проблемам диссертационного исследования в области теории и практики агломерационного и доменного производств, в том числе математического моделирования процессов восстановления, теплообмена, газодинамики и плавления, исследованию процесса производства агломерата, в том числе процессов окомкования аглошихты и принципов рационализации шихтовых составов, физико-механических и физико-химических свойств агломерата, влияния их на ход процессов в доменной печи.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция формирования агломерационных шихт в новых, современных сырьевых условиях работы агломерационных фабрик, которая опирается на использование рациональных составов шихт, содержащих преимущественно отечественные и местные шихтовые компоненты, и связующих добавок, вводимых на фоне извести взамен её части, в том числе новых добавок;

предложен комплексный, эффективно действующий подход к вопросу повышения качества агломерата и производительности агломерационных машин в условиях вынужденного изменения рудной базы, выражающийся в обширном экспериментальном исследовании влияния железорудной составляющей шихты в

комплексе с дополнительным повышением показателей за счет использования окомковывающих добавок;

доказана перспективность использования в практике работы агломерационных фабрик технологически обоснованных принципов формирования железорудной части шихты для повышения производительности агломашин и качества агломерата. Достигнуто повышение производительности агломашин до уровня использования зарубежного концентрата ССГПО и превышение этого уровня на 0,27% (отн.) без ухудшения качества агломерата.

введены новые представления о динамике изменения физико-химических свойств агломерата и формируемого им слоя при восстановлении водородом под статической нагрузкой, включающих скорость восстановления, степень использования водорода, усадку слоя и газопроницаемость, определяемую по перепаду давления газа, в результате действия связующих добавок, вводимых в шихту взамен части извести. Так, рациональный режим введения добавок на основе термообработанных отходов СУУ снижал перепад давления газа в слое на 11,2% (отн.).

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:
доказаны 12 уравнениями множественной регрессии и 12 тройными диаграммами, выражающими связь между выходом годного агломерата по классу +5 мм, удельной производительностью агломерационной установки, сопротивлением годного агломерата удару по содержанию класса +5 мм после стандартного испытания по ГОСТ 15137-77 и шихтовым составом тройных смесей аглоруд и железорудных концентратов, положения, вносящие вклад в расширение знаний об агломерационном процессе и формировании качества агломерата;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы:** статистический анализ, методы планирования эксперимента с получением результатов, обладающих новизной. Использование симплекс-решетчатых планов Шеффе позволило построить новые тройные диаграммы, отражающие зависимости основных показателей процесса агломерации и качества агломерата от составов железорудной части шихты.

изложены доказательства эффективности действия вещественного состава концентратов и аглоруд, введения связующих добавочных материалов на показатели процесса окомкования, ход агломерационного процесса и показатели качества готового агломерата, в том числе холодную и горячую прочность, усадку агломерата и перепад давления газа в слое после восстановления под статической нагрузкой. Так, использование новой добавки на основе отходов сероулавливающей установки агломерационного производства, прокаленных при 160 °С, позволило повысить прочность агломерата на удар в холодном состоянии до 2,6% (отн.) при одновременном увеличении производительности агломашин и выхода годного агломерата.

раскрыты и выявлены проблемы, связанные с компонентами и качеством сырья, поставляемого в агломерационный цех. Рациональная шихтовка смеси бедных по оксиду магния концентратов Михайловского и Лебединского ГОК аглорудой месторождения Бапы, содержащей оксид магния в количестве 26,3% в доступной минералогической форме, позволила, за счет стабилизирующего воздействия оксида магния на оливиновую связку, повысить прочность агломерата на удар в холодном состоянии до 81,3%, против 78,6%, полученных для случая использования низкомагнезиальной агломерационной руды Михайловского ГОК в шихте аналогичного состава.

изучены причинно-следственные связи во влиянии состава железорудной части агломерационных шихт и комкующих добавок на показатели хода агломерационного процесса и качества получаемого агломерата. Так, повышение в шихте на основе двойной смеси концентратов Лебединского и Михайловского ГОКов содержания Лебединского концентрата с 25% до 50% и далее до 75% приводило к монотонному росту вертикальной скорости спекания агломерата с 21,1 мм/мин до 21,9 мм/мин и далее до 22,1 мм/мин соответственно за счет повышенного содержания железа (69,3%) в Лебединском концентрате и низком содержании в нем пустой породы.

проведена модернизация существующих математических моделей, позволяющих рассчитывать вещественный состав шихты для получения качественного агломерата и повышения производительности агломерационных машин. Получены

12 новых уравнений множественной регрессии в форме неполного кубического полинома, отражающих влияние содержаний в шихте коммерчески доступных железорудных концентратов и агломерационных руд на показатели процесса и качества агломерата.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработана и внедрена на агломерационной фабрике № 5 ПАО «ММК» рациональная смесь шихтовых материалов, включающая эффективные соотношения железорудных концентратов Михайловского и Лебединского ГОКов и аглоруд месторождений Михайловское и Бапы, о чем имеется акт внедрения. Использование рациональной шихты обеспечило повышение выхода годного агломерата по классу +5 мм на 3,0% (отн.), по сравнению с уровнем работы агломашин на шихте, включавшей 97% импортного концентрата ССГПО и смеси из Михайловской и Богословской аглоруд.

определены пределы и перспективы практического использования фундаментальных положений теории агломерационного процесса, а именно, в части формирования качества агломерата в новых, современных шихтовых условиях работы агломерационных фабрик, созданием и внедрением в производство ряда рациональных шихтовых смесей на основе разработанных математических моделей. **созданы** научные и технологические основы формирования рациональных агломерационных шихт из коммерчески доступных для металлургических предприятий Урала концентратов и аглоруд Центра и Севера России. Изученные шихты включали стандартные концентраты Михайловского, Лебединского, Ковдорского ГОКов, а также Михайловский флотационный концентрат; агломерационные руды Михайловского, Стойленского, Богословского, Туканского и Сосновского месторождений.

представлены рекомендации по совершенствованию технологии производства агломерата на аглофабрике № 5 ПАО «ММК» в виде изменения в технологическую инструкцию ТИ 101-ГОП-7-2023. Созданные научные основы формирования агломерационных шихт в современных сырьевых условиях могут быть использованы другими отечественными металлургическими предприятиями, распо-

лагающими собственными агломерационными фабриками, такими как ПАО «Северсталь», НЛМК, ЧМК, ЗСМК, АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

эксперименты проведены на агломерационных машинах фабрики № 5 ПАО «ММК», оснащенных современной сертифицированной контрольно-измерительной аппаратурой, а также двух лабораторных аглочаш разного размера. Физико-химические свойства агломерата при восстановлении под нагрузкой в среде водорода определяли при помощи автоматизированного комплекса физико-химических исследований фирмы LECO (фирма R.V. AUTOMAZIONE s.r.l., Италия), химический состав агломерата и шихтовых компонентов определяли на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном спектрометре ARL QUANT'X компании Thermo Scientific, фазовый состав исследовали методами рентгеноструктурного анализа на приборе «SHIMADZU XRD-7000» и термического анализа на синхронном термоаналитическом приборе STA (Jupiter 449 F3) фирмы NETZSCH.

теория диссертационной работы построена на базе современных достижений в области теории окомкования, спекания окомкованной шихты, движения газового потока, жидкостей, горения топлива, плавления и шлакообразования, теплопередачи, массообмена, кристаллизации;

идеи базируются на фундаментальных положениях теории и практики агломерационного процесса, описанных в трудах С.В. Базилевича, Е.Ф. Вегмана, В.А. Шурхала, В.И. Коротича, Г.В. Коршикова, Т.Я. Малышевой, Ю.С. Юсфина, В.А. Уткова, Ю.А. Фролова, С.К. Сибатуллина, В.Г. Дружкова, А.Г. Неясова и др., и не противоречат результатам, представленным в независимых источниках;

использованы сравнения полученных автором данных с данными из независимых научных источников, выявленными по результатам сделанного литературного обзора.

установлен высокий уровень сходимости результатов моделирования и промышленных испытаний на новой, современной агломерационной фабрике ПАО «ММК». Так, использование рациональной смеси концентратов в промышленных условиях обеспечило фактическое повышение производительности агломашин на

0,27% (отн.) от уровня их работы на шихте, включающей 100% концентрата ССГПО, против расчетного значения этой величины в 0,07% (отн.).

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации компьютерным способом с применением современного программного обеспечения (Statsoft Statistica, Mathlab, MS Excel), измерительные приборы и пакеты прикладных программ (ARL Quant'X WinTrace-based Analytical Software, Proteus (NETZSCH Analyzing & Testing)), обширный литературный материал.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели и задач исследования, организации и проведении лабораторных и промышленных экспериментов и личном участии в них, непосредственном самостоятельном анализе и интерпретации результатов исследования, разработке математических зависимостей основных показателей аглопроцесса и качества агломерата от состава железорудной части шихты, выполненных автором лично, формулировке основных положений и выводов, подготовке основных публикаций по выполненной работе с непосредственным участием автора.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

В отзыве ведущей организации:

1. Учитывая ярко выраженную направленность диссертационной работы на решение важной технической проблемы и широкое использование с этой целью результатов обширных экспериментальных исследований, не совсем удачным представляется присутствие в названии диссертации слов о научном обосновании. Наличие научного обоснования на основе обобщения экспериментальных данных в диссертации отрицать нельзя, но его роль существенно менее важна по сравнению с изложенными в диссертации техническим обоснованием и экспериментальным подтверждением достижения необходимых результатов.
2. В п.1 заключения по диссертации отмечается, что новые зависимости свойств агломерата и показателей процесса получены не только физическим, но и математическим моделированием. В диссертации математическая модель не приведена, и в связи с этим возникает вопрос о возможности построения

тройных диаграмм состав-свойство в пределах изменения доли каждого из элементов состава в пределах от 0 до 1 на основе приводимых экспериментальных данных.

3. Диссертация явно перегружена сведениями в виде 46 таблиц, содержащих большое количество разнообразных параметров и результатов. Необходимо отметить, что автор должен обрабатывать материал с целью его визуализации и представлять результаты в удобном для читателя виде – в виде уравнений, графиков или диаграмм.

В отзыве официального оппонента Дмитриева А.Н.:

1. В разделе 1 «Актуальность» сказано: «Качество агломерата оказывает большое влияние на технико-экономические показатели работы доменных печей. Основными требованиями к нему являются, в числе прочих, высокие холодная и горячая прочность, восстанавливаемость, низкие температуры начала и конца размягчения и узкий температурный интервал размягчения». Однако, в тексте диссертации практически ничего не сказано об исследовании этих параметров, хотя вопрос повышения качества агломерата вынесен в название диссертации. Кроме того, тезис о низких температурах начала и конца размягчения неверен, они должны быть высокими.
2. В диссертационной работе исследуется изменение физико-механических и физико-химических свойств при восстановлении водородом под статической нагрузкой на автоматизированном комплексе LECO. Однако в доменной печи основным газообразным восстановителем является оксид углерода.
3. А) Годный агломерат класса +5 мм испытывали по методике, аналогичной пробе «холодной прочности» по ГОСТ 15137-77; испытанию подвергали 1 кг агломерата. Согласно ГОСТ 15137-77 масса должна быть 15 кг.
Б) Выход фракции +5 мм после 5 /10 сбрасываний гранул крупностью 5-12 мм с высоты 300 мм снизился с 60 / 42% до 55 /35% при использовании отходов СУУ в количестве от 0,1 до 0,5% в исходном состоянии или прокаленных при 600 °С. По ГОСТ 25471-82 прочность при сбрасывании определяется сбрасыванием с высоты 2м, почему только 30 см?

В) Прочность годного агломерата оценивали по сопротивлению его ударным и истирающим нагрузкам, которым подвергалась испытываемая проба во вращающейся в вертикальной плоскости со скоростью 27 мин^{-1} стальной гладкостенной трубе длиной 1000 мм и диаметром в свету 78,5 мм. Это методика по ГОСТ?

4. Кроме того, обращает на себя внимание отсутствие схемы лабораторной агломерационной установки, смесь ЦПАШ ни в одном опыте не использовалась, расшифровки используемых сокращений приведены не все.

В отзыве официального оппонента Ганина Д.Р.:

1. На с. 34 диссертационной работы неверно сказано «...бурожелезняковых руд Новокиевского месторождения (Самарская область)...». Где, на самом деле, находится Новокиевское месторождение бурожелезняковых руд?
2. Насколько сопоставимы с точки зрения кинематического подобия параметры смешивания и окомкования (размеры барабана, частота его вращения, угол наклона, режим увлажнения шихты, время смешивания и окомкования) агломерационной шихты в лабораторных (цилиндрический смеситель-окомкователь с диаметром по рабочей поверхности равным 320 мм и имеющий длину 125 мм, оснащенный шестью полочками с частотой вращения барабана 32 мин^{-1} и угле наклона оси барабана к горизонту при смешивании - 45° , угле наклона оси барабана к горизонту при окомковании - 30°) и в промышленных условиях, сведения о которых в работе в большей степени отсутствуют?
3. В какой мере соответствует ГОСТ применяемая в работе методика оценки прочности годного агломерата по сопротивлению его ударным и истирающим нагрузкам при испытании пробы во вращающейся в вертикальной плоскости с частотой 27 мин^{-1} стальной гладкостенной трубе длиной 1000 мм и диаметром в свету 78,5 мм (на испытание продолжительностью 8 минут в трубу отбирали 1 кг годного агломерата)?
4. Для чего в таблице 4.1 на с. 137 диссертации присутствует смесь ЦПАШ, сведения об использовании которой в экспериментах, выполненных в работе,

отсутствуют? В списке сокращений и условных обозначений аббревиатуры ЦПАШ также нет.

5. Что явилось помехами для подачи заявок на получение патентов на изобретения «Шихта для производства агломерата» и «Способ приготовления агломерационной шихты»?

От членов диссертационного совета:

1. Почему для изучения физико-химических свойств агломерата при восстановлении был выбран водород, если в доменной печи основным восстановителем является монооксид углерода?
2. Почему не были получены охранные документы по результатам интеллектуальной деятельности на разработанные рациональные соотношения руд и концентратов?
3. Как повлияет на ход и стабильность работы доменных печей ПАО «ММК» использование агломерата, полученного из предлагаемых рациональных составов шихт?
4. Почему рациональные смеси даны в форме точных соотношений между компонентами вместо использования интервальных оценок?
5. Проверяли ли математические модели, приведенные в работе, на адекватность?
6. Каков расход кокса в условиях промышленных испытаний в кг/т агломерата?
7. Каково содержание железа в агломерате по периодам промышленного эксперимента?
8. Каков расход известняка в кг/т агломерата в производственных экспериментах?
9. Каков расход природного газа в расчете на тонну чугуна в современных доменных печах?
10. Какова максимальная доля тонких концентратов в исследуемых рациональных шихтах?
11. Дайте определение понятия «тонкий концентрат».
12. Как меняется доля наиболее тонкой фракции в исследуемых в работе концентратах?

13. Как оцениваете вероятность возвращения аглофабрик ПАО «ММК» к использованию железорудного сырья ССГПО?
14. Как установить рациональный состав шихты по приведенным в работе уравнениям?
15. С какой целью использовали Туканскую руду, снижающую содержание железа в агломерате?
16. Поясните смысл термина «горячие ленто-часы».
17. Насколько соответствует максимальной скорости движения аглоленты максимум производительности агломашины?
18. Почему приведенные уравнения рекомендовали решать индивидуально, без объединения в систему с постановкой и решением задачи оптимизации?
19. Каков физический механизм влияния добавки на основе отходов сероулавливающей установки на показатели аглопроцесса и качества агломерата?

Соискатель Сысоев Виктор Иванович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

В работе использовали местную Туканскую руду с содержанием железа вплоть до 50,6%, что соответствует уровню технологичных руд. Качество рядовых разновидностей Туканской руды ниже, в частности, по железу и «щелочам», но для обеспечения сырьевой безопасности ПАО «ММК» требования к руде могут быть снижены. Новокиевское месторождение бурожелезняковых руд находится в Оренбургской области.

Сопротивление годного агломерата ударным и истирающим нагрузкам оценивали испытанием, аналогичным ГОСТ 15137-77. Пробу уменьшали с 15 кг по ГОСТ до 1 кг при сохранении равенства удельных величин ударного воздействия пробы агломерата о поверхность при падении в промышленном барабане и в лабораторной установке.

Качество агломерата характеризуется рядом показателей. В диссертации при оценке качества агломерата основное внимание уделено его прочности и истираемости по ГОСТ 15137-77, основности и содержанию железа, что соответствует интересам в современной практике работы. Другие характеристики агломе-

рата, такие как горячая прочность, восстановимость, температурный интервал плавления-размягчения и др., отнесены к вспомогательным и поэтому изучены менее подробно.

В условиях работы доменной печи с высокой долей природного газа (до 150 м³/т чугуна) содержание водорода в фурменном газе достаточно велико и может достигать до половины от содержания монооксида углерода, и при водородном восстановлении чётко проявляется значение физических и физико-химических свойств агломерата. Поэтому провели исследования физико-химических свойств агломерата при восстановлении водородом. Выявление особенностей действия водорода также важно для перспективы в связи с необходимостью уменьшения выбросов CO₂ в атмосферу

В промышленных экспериментах расход кокса в шихту составлял до 65-75 кг/т агломерата, известняка от 50 кг/т в базовом периоде I до 90 кг/т в опытном периоде (рост за счет расхода на офлюсование «кислого» Михайловского концентрата), содержание железа в агломерате снизилось примерно с 56% до 54%.

Доля тонких концентратов (основной класс крупности менее 44 мкм) в шихте составляла 80-90%. Наибольшую крупность частиц имел концентрат Соколовско-Сарбайского горно-производственного объединения, самым тонким являлся концентрат Лебединского ГОК. Смешивание и окомкование осуществляли в одном агрегате - лабораторном барабане смесителе-окомкователе, позволявшем получать такой же гранулометрический состав окомкованной шихты в лабораторных условиях, что и в производственных условиях при использовании базовых концентратов и руд. Для испытания прочности гранул сырой окомкованной шихты на удар производили сбрасывание с высоты 300 мм. Предложенная в работе окомковывающая добавка, на основе отходов сероулавливающей установки агломерационного производства, прокаленных при 160 °С, увеличивала крупность гранул и повышала газопроницаемость сырой окомкованной шихты. Увеличение количества просасываемого воздуха повышало производительность агломашин.

Производительность агломашин выражают в тоннах агломерата, отнесенных к количеству горячих ленто-часов, то есть часов работы без простоев. Скорость

движения аглоленты оказывает существенное влияние на производительность, но эти два показателя могут изменяться и разнонаправленно.

Приведенные в исследовании уравнения множественной регрессии позволяют добиться максимальных показателей процесса и качества агломерата, исходя из конкретных условий и ограничений поставок. Так, рациональный состав, включающий руду месторождения Бапы, был разработан в качестве замены рациональной смеси на основе Стойленской руды, поставляющейся на ПАО «ММК» по остаточному принципу.

Составы рациональных смесей шихтовых компонентов выражены в форме точных соотношений, к которым необходимо стремиться. При этом интервальная оценка на практике допускается из условий ограничения поставок сырья и изменения технико-экономических показателей аглопроцесса в соответствии с уравнениями. Предлагается использовать рациональные по разным признакам смеси, поскольку требования к агломерату могут меняться в зависимости от производственной ситуации. Показатели, представленные в уравнениях в качестве выходных величин, разноплановые, поэтому общее решение системы полученных уравнений практического смысла не имеет. Построенные математические модели проверяли на адекватность с использованием критерия Фишера.

Исследования влияния полученного агломерата на доменный процесс не проводили, но использовали оценки факторного анализа. Так, увеличение содержания мелочи фракции 0-5 мм на 1% приводит к снижению производительности на 1% и повышению расхода кокса на 0,5%.

Оформление заявок на получение патентов запланировано на сентябрь-декабрь 2024 г.

Относительно возможного возвращения аглофабрик ПАО «ММК» к работе на железорудном сырье ССГПО информацией не располагаю.

На заседании 21.05.2024 г. диссертационный совет принял решение за разработку новых научно обоснованных технологических решений, направленных на повышение качества агломерата и увеличение производительности агломашин за счет использования предложенных рациональных составов спекаемой шихты, включающих железорудные концентраты, аглоруды и комкующие добавки, кото-

