

На правах рукописи



Одинцов Антон Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА
НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПОДГОТОВКИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

Специальность 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новокузнецк – 2015

Официальные оппоненты:	Загайнов Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлургии железа и сплавов ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург)
---------------------------	--

Кашлев Иван Миронович,
кандидат технических наук,
главный технолог ООО «Западно-Сибирский
электрометаллургический завод» (г. Новокузнецк)

Ведущая организация: ОАО «Уральский институт металлов»
(г. Екатеринбург)

Защита состоится 30 июня 2015 г. в 10⁰⁰ часов в аудитории ЗП на заседании диссертационного совета Д 212.252.01 при ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» по адресу: 654007, г. Новокузнецк Кемеровской обл., ул. Кирова, 42. Факс (3843) 46-57-92. E-mail: ds21225201@sibsiu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет».

Автореферат разослан « » 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Koz

О.И. Нохрина

Общая характеристика работы

Актуальность работы. По данным World Steel Association мировое производство чугуна в 2014 г. составило 1,18 млрд. т, в том числе в России – 51,48 млн. т. Одним из основных шихтовых материалов для доменной плавки является железорудный агломерат, содержание которого в доменной металлошихте составляет, в среднем по России, 65 – 70 %. Качество и себестоимость чугуна в значительной степени зависят от прогрессивности технологии производства агломерата и уровня его качества. Основной составляющей энергоемкости аглопроизводства является удельный расход твердого топлива, который остается на отечественных аглофабриках значительно выше (44,6 – 64,3 кг/т агломерата) зарубежных показателей (аглофабрики Японии, Германии – 36 – 45 кг/т агломерата). На расход твердого топлива при производстве агломерата влияют следующие факторы: сортамент и характеристика используемого топлива, компонентный и химический составы аглошихты, технологические параметры процесса агломерации. Рациональное использование твердого агломерационного топлива способствует формированию наиболее экономичного топливно-энергетического баланса аглодоменного производства. Это повышает его эффективность и улучшает экологическую ситуацию на металлургическом предприятии.

На агломерационные фабрики крупных металлургических предприятий, как правило, поставляются различные сорта твердого топлива, которые существенно различаются по своим качественным характеристикам (гранулометрическому, химико-минералогическому составам). Это усложняет технологию подготовки твердого топлива к агломерации. Нестабильность поставок и свойств угля для коксохимических производств металлургических предприятий приводит к варьированию выхода коксовой мелочи и коксовых шламов с одновременным удорожанием товарных продуктов коксования (кокса фракции 10 – 80 мм).

В связи с этим повышение качества агломерата, разработка эффективных технологий подготовки твердого топлива для агломерационного процесса, основанных на получении топлива требуемого гранулометрического состава и рациональном его вводе в агломерационную шихту, является важной научно-практической задачей, имеющей большое значение для металлургической отрасли и экономики страны.

Диссертационная работа выполнена:

- в соответствии с планом научно-исследовательских работ ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»;
- в соответствии с планом научно-исследовательских работ центральной заводской лаборатории ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»).

Цель работы. Разработка ресурсосберегающей технологии подготовки твердого топлива в изменяющихся условиях формирования его исходного гранулометрического состава, обеспечивающей повышение качества железорудного агломерата.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в настоящей работе определены следующие задачи:

1. Исследовать физико-химические свойства различных видов твердого агломерационного топлива.

2. Исследовать влияние гранулометрического состава твердого топлива на показатели процесса спекания и качество железорудного агломерата при двухслойном спекании агломерационной шихты.

3. Разработать рациональные технологические режимы подготовки твердого топлива к агломерации.

4. Установить закономерности дробления и измельчения коксовой мелочи при различном гранулометрическом составе и различной нагрузке исходного материала.

5. Исследовать влияние гранулометрического состава твердого топлива на прочностные характеристики железорудного агломерата.

6. Исследовать влияние прочностных характеристик железорудного агломерата на показатели доменной плавки.

Научная новизна.

1. Выявлены и научно обоснованы закономерности изменения показателей процесса спекания и качества агломерата при различном содержании фракции менее 0,5 мм (с соответствующим перераспределением остальных фракций топлива) в коксовой мелочи верхнего слоя шихты.

2. Определены закономерности выгорания серы в процессе агломерации при различном содержании фракции менее 0,5 мм в коксовой мелочи верхнего слоя шихты. Установлена количественная зависимость массовой доли серы в продуктах агломерации от крупности топлива при двухслойном спекании шихты.

3. Разработаны научно обоснованные ресурсосберегающие технологические режимы подготовки твердого топлива для агломерации, обеспечивающие повышение качества железорудного агломерата и технико-экономических показателей работы доменных печей.

4. Определены диапазоны крупности исходного твердого топлива, оказывающие превалирующее влияние на степень его переизмельчения. Более существенное влияние фракции 1 – 3 мм в исходном топливе на степень переизмельчения объясняется увеличением доли структурных элементов повышенной прочности («ядра прочности») размером 1 – 2,5 мм и фракции, подверженной переизмельчению (2,5 – 3 мм).

Практическая значимость.

1. На основании результатов лабораторных исследований разработана технология агломерации двухслойной шихты с разделением твердого топлива по крупности, обеспечивающая снижение его расхода в шихте.

2. На основе результатов промышленных исследований разработана технология подготовки твердого топлива к агломерации в изменяющихся условиях формирования его исходного гранулометрического состава, обеспечивающая повышение качества агломерата.

Реализация результатов.

1. Разработанный комплекс технических и технологических мероприятий по совершенствованию технологии подготовки твердого топлива внедрен на агломерационной фабрике ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Это привело к улучшению качества подго-

товленного топлива по гранулометрическому составу. Реализованные мероприятия позволили снизить содержание мелочи в бункерном агломерате на 0,3 % (абс.). Это обеспечило снижение расхода кокса при выплавке чугуна на 1,84 кг/т чугуна. Фактический годовой экономический эффект от снижения удельного расхода кокса при выплавке чугуна и увеличения производительности доменных печей за счет улучшения качества агломерата составил 1 457 004 руб.

2. Научные основы разработки ресурсосберегающих технологических режимов подготовки твердого топлива, используемого для производства железорудного агломерата, внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» и используются при подготовке студентов по направлению «Металлургия».

Методы исследований. Отбор и подготовка проб, определение физико-химических характеристик (технический анализ, гранулометрический и химический состав, насыпная плотность) железорудного сырья, флюсов и топлива, механической прочности агломерата выполняли согласно методикам ГОСТ. Спекание агломерата осуществляли на лабораторной агломерационной установке типа «аглочаша». Методы промышленных исследований базировались на комплексных инструментальных замерах параметров работы технологического оборудования для подготовки твердого топлива и измерениях основных технологических параметров работы агломерационных машин и доменных печей, осуществляемых стандартными приборами. Статистическая обработка полученных данных производилась с использованием стандартного пакета прикладных программ «Microsoft Office».

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Обеспечена представительным объемом экспериментальных данных с использованием современных статистических методов обработки результатов; сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований с данными других исследователей; высокой воспроизводимостью полученных результатов; применением широко распространенных и апробированных методов исследований; эффективностью предложенных технических решений, подтвержденных результатами промышленных испытаний и внедрением в производство.

Предмет защиты.

На защиту выносятся:

1. Результаты исследования качественных характеристик компонентов агломерационного топлива.

2. Результаты исследований и основные закономерности влияния гранулометрического состава твердого топлива на показатели процесса спекания и качество железорудного агломерата при разделении твердого топлива по фракциям в верхний и нижний слои шихты.

3. Результаты разработки и опытно-промышленных исследований технологических режимов подготовки твердого топлива к агломерации.

4. Методика прогнозного расчета гранулометрического состава подготовленного твердого топлива.

5. Результаты промышленных исследований влияния крупности коксовой мелочи на качественные характеристики железорудного агломерата и показатели доменной плавки.

Автору принадлежит: постановка задач и проведение лабораторных и промышленных исследований; результаты обработки и обобщения данных опытно-промышленных исследований технологических режимов подготовки твердого топлива к агломерации; разработка методики прогнозного расчета гранулометрического состава подготовленного твердого топлива; разработка технологии агломерации двухслойной шихты с разделением твердого топлива по фракциям; систематизация полученных результатов, научное обоснование, формулировка выводов и рекомендаций.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты научного исследования соответствуют паспорту специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» по пунктам: 1. Рудное, нерудное и энергетическое сырье; 9. Подготовка сырьевых материалов к металлургическим процессам и металлургические свойства сырья.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации доложены и обсуждены на: XXXXI научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» (г. Новокузнецк, 2008 г.), VII Международной научно-технической конференции молодых специалистов предприятий «Евраз» (г. Новокузнецк, 2008 г.), VI и VII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения» (г. Новокузнецк, 2008 и 2009 гг. соответственно), II и III Международной научно-практической конференции «Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе» (г. Новокузнецк, 2008 и 2010 гг. соответственно), VIII научно-технической конференции «Новые перспективные материалы, оборудование и технологии для их получения» (в рамках «Недели металлов», г. Москва, 2009 г.), III научно-практической конференции «Молодежные исследования и инициативы» (г. Новокузнецк, 2010 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов кандидатских диссертаций, получен патент РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, трех приложений. Изложена на 156 страницах, включая 22 рисунка, 32 таблицы, 3 приложения и содержит список использованных источников из 126 наименований.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность, сформулирована цель диссертационной работы, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов с их публикацией и апробацией, отмечен личный вклад соискателя.

В первой главе представлен анализ литературных данных по современному состоянию и направлениям развития процессов подготовки твердого топлива к аг-

ломерации, основных закономерностях влияния гранулометрического состава топлива на показатели процесса спекания и качество железорудного агломерата.

Анализ литературных данных в области теории и практики использования твердого топлива в агломерации показал, что в настоящее время:

- недостаточно изучены закономерности влияния гранулометрического состава используемого в промышленных условиях твердого топлива на показатели процесса спекания и качество железорудного агломерата при двухслойном спекании шихты;

- в недостаточной степени уточнены оптимальные технологические режимы подготовки твердого топлива к агломерации в изменяющихся условиях (крупность исходного топлива, производительность);

- не установлена степень влияния различных фракций исходного топлива на степень переизмельчения при его подготовке к агломерации (на стадиях дробления и измельчения).

На основании проведенного анализа сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе изучены физико-химические характеристики используемых видов твердого топлива.

Технологией подготовки твердого топлива к агломерации в условиях крупных металлургических комбинатов предусмотрено использование смеси, в состав которой входят различные виды твердого топлива (коксовая мелочь; орешек коксовый; кокс металлургический; отсеб кокса из доменного цеха; пыль с установки сухого тушения кокса (УСТК); шлам с установки мокрого тушения кокса (УМТК); коксовая пыль и др.), что усложняет технологию усреднения топливной смеси, подаваемой на последующие стадии подготовки топлива. Анализ расхода коксовой мелочи и топливно-сырьевых балансов показывает, что дефицит коксовой мелочи покрывается за счет кокса фракций 10 – 40 мм и отходов коксохимического производства: шлама УМТК, пыли УСТК и коксовой пыли, а также заменителей коксовой мелочи.

Для определения технологической ценности проведены исследования физико-химических свойств различных сортов топлива. Анализ полученных данных (рисунок 1) показывает, что коксовая мелочь фракции 0 – 10 мм и шлам УМТК содержат существенное количество кондиционной фракции (0 – 3 мм): от 52,1 % до 88,0 %, при содержании мелочи (фракции 0 – 0,5 мм) от 19,5 % до 58,9 %, поэтому для их подготовки к агломерации достаточно одной операции измельчения.

Крупные фракции кокса (отсевы кокса из доменного цеха, орешек коксовый и кокс металлургический) содержат значительное количество фракции более 13 мм (от 36,2 % до 97,1 %), поэтому для них операция дробления на конусной дробилке является технологической необходимостью.

Пыль УСТК на 99,0 % состоит из фракции 0 – 3 мм, при содержании мелочи в ней 77,0 %. Верхний предел крупности пыли составляет 5 мм, поэтому подача ее вместе с другими компонентами топливной смеси на комплекс для подготовки топлива не целесообразна. Аналогичная ситуация и с коксовой пылью, которая на 99,1 % состоит из частиц фракции 0 – 3 мм, при этом содержание мелочи составляет 82,0 %.

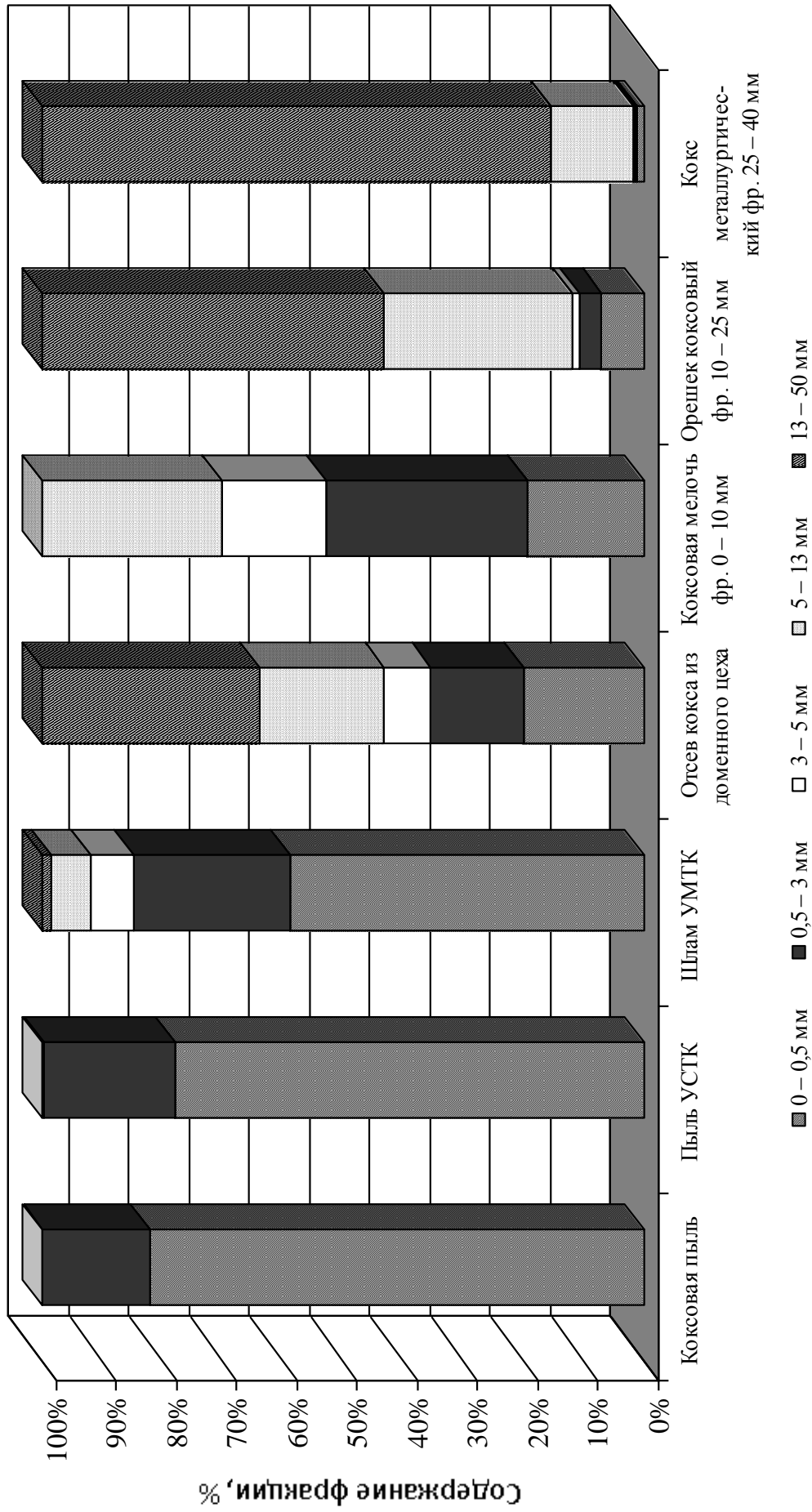


Рисунок 1 – Гранулометрический состав твердого топлива

На основе полученных физических характеристик проведены расчеты, которые показали отрицательное влияние мелкодисперсных отходов коксового цеха (шлама УМТК и коксовой пыли) на увеличение фракции менее 0,5 мм в топливной смеси, подаваемой со склада топлива: с увеличением доли отходов с 11,1 % до 29,2 % повышается содержание фракции менее 0,5 мм в топливной смеси с 23,3 % до 35,7 %.

Технический состав исследованных видов топлива (таблица 1) довольно различен (особенно по содержанию золы). Наименьшее количество золы содержат шлам УМТК и коксовая пыль (12,6 % и 10,2 % соответственно); наибольшее – отсев кокса из доменного цеха (19,9 %). Повышенное содержание золы в отсеве кокса из доменного цеха объясняется наличием во фракции 0 – 13 мм отсева окатышей.

Таблица 1 – Технический состав топлива, % (масс.)

Наименование материала	Размер фракции, мм	W^a (влаги аналитическая)	A^d (золистость)	V^d (выход летучих)	S^d (содержание общей серы)
Отсев кокса из доменного цеха	0 – 1	0,33	23,2	2,30	0,43
	1 – 3	0,39	18,7	1,70	0,41
	3 – 5	0,36	32,3	1,70	0,32
	5 – 8	0,36	40,2	1,70	0,20
	8 – 13	0,26	27,9	1,30	0,32
	13 – 25	0,33	17,6	0,90	0,41
	25 – 40	0,19	11,9	1,30	0,33
	Общ.	0,29	19,9	1,20	0,39
Коксовая мелочь фр. 0 – 10 мм	0 – 1	0,35	13,2	1,50	0,49
	1 – 3	0,38	14,1	1,20	0,44
	3 – 5	0,33	11,7	1,00	0,32
	5 – 8	0,30	17,1	1,10	0,36
	8 – 13	0,31	14,0	1,10	0,36
	Общ.	0,41	14,4	1,20	0,44
Шлам УМТК	0 – 1	0,92	12,0	2,30	0,52
	1 – 3	1,20	12,3	1,70	0,44
	3 – 5	1,17	13,9	2,10	0,42
	5 – 8	1,10	14,3	2,70	0,41
	8 – 13	0,80	13,2	1,90	0,46
	13 – 25	0,73	11,3	1,60	0,43
	25 – 40	0,30	11,1	1,50	0,44
	40 – 50	0,67	11,2	1,70	0,44
	Общ.	1,01	12,6	2,30	0,49
Пыль УСТК	Общ.	0,97	16,4	1,30	0,90
Коксовая пыль	Общ.	1,03	10,2	1,40	0,49

Изменение содержания золы в совокупности с другими составляющими (влажность, выход летучих) приводит к варьированию рабочей теплоты сгорания подготовленного топлива, что подтверждается расчетными теплофизическими характеристиками рабочей массы. Так, коксовая пыль характеризуется максимальным значением низшей теплотой сгорания – 30,37 МДж/кг, а минимальным – шлам УМТК – 21,12 МДж/кг. Таким образом, при сжигании коксовой пыли в составе топливной смеси будет практически реализовано максимальное количество тепла с уче-

том балласта (влаги и золы). В производственных условиях различие в значениях низшей теплоты сгорания топливной смеси приводит к повышению степени неравномерности температуры по толщине агломерируемого слоя.

Проведенные исследования химического состава золы компонентов топливной смеси в зависимости от гранулометрического состава также выявили существенные различия. В золе отсева кокса из доменного цеха содержится повышенное количество железа и марганца, что свидетельствует о замусоренности отобранного материала отсевом окатышей (содержание железа и марганца во фракции 5 – 8 мм доходит до 21,00 % и 0,29 % соответственно).

Сера в отобранных пробах концентрируется, в основном, в мелких классах топлива (0 – 1 мм): 0,95 %, 0,83 % и 1,04 % в золе отсева кокса из доменного цеха, коксовой мелочи фракции 0 – 10 мм и шламе УМТК соответственно. Щелочные оксиды, напротив, концентрируются в крупных фракциях топлива.

В третьей главе в лабораторных условиях исследовано влияние гранулометрического состава твердого топлива на показатели процесса спекания и качество железорудного агломерата при двухслойном спекании шихты.

Практика работы агломашин с двухслойным спеканием шихты показала, что наряду с достоинствами (улучшение прочностных характеристик агломерата), выявлены и недостатки данной технологии: повышенный расход твердого топлива в верхнем слое и переуплотнение шихты. В этих условиях повышается актуальность рационального использования твердого топлива и его распределения по крупности в слоях шихты.

Спекание железорудного агломерата осуществлялось на лабораторной агломерационной установке типа «аглочаша». Было проведено шесть серий опытов, в которых изменяли содержание фракции менее 0,5 мм в твердом топливе шихты верхнего слоя: 1 – 4-ая серии опытов – при постоянном содержании топлива в шихте 7,5 % и оптимальной влажности шихты; 5, 6-ые серии – при оптимальном содержании топлива и влаги в шихте. Оптимальная влажность шихты в сериях 1 – 6 и оптимальное содержание топлива в сериях 5, 6 определялись в процессе проведения предварительных лабораторных спеканий, где в качестве параметров оптимизации выступали: удельная производительность аглоустановки, вертикальная скорость спекания, выход годного агломерата и балансировочный показатель возврата (отношение количества возврата, вводимого в шихту к количеству возврата, полученного из спека). Гранулометрический состав топлива для нижнего слоя шихты в опытах всех серий был одинаков (таблица 2).

Анализ полученных закономерностей (рисунок 2) показывает, что при уменьшении содержания фракции менее 0,5 мм в коксовой мелочи верхнего слоя шихты с 45 % (серия 1) до нуля (серия 4) с соответствующим увеличением крупных фракций (более 3 мм) наблюдается снижение удельной производительности аглоустановки с 1,028 до 0,895 т/(м² · ч) за счет падения вертикальной скорости спекания с 17,44 до 13,64 мм/мин. Выход годного агломерата, напротив, возрастает с 63,6 % до 73,5 % за счет увеличения доли фракции более 25 мм в агломерате с 8,6 % до 22,2 % соответственно. Относительно высокая вертикальная скорость спекания в серии 1 вызвана повышением скорости фильтрации воздуха через спекаемый слой до

Таблица 2 – Гранулометрический состав коксовой мелочи по вариантам

Наименование	Класс крупности материала (мм), %							
	0 – 0,05	0,05 – 0,063	0,063 – 0,074	0,074 – 0,1	0,1 – 0,16	0,16 – 0,2	0,2 – 0,315	0,315 – 0,4
Серия 1	2,40	1,20	2,40	2,50	7,22	6,00	9,61	7,85
Серия 2*	1,13	1,18	1,20	2,42	6,05	4,84	9,68	4,40
Серии 3, 5	1,16	1,18	1,18	2,36	3,54	2,36	4,72	3,10
Серии 4, 6	–	–	–	–	–	–	–	–

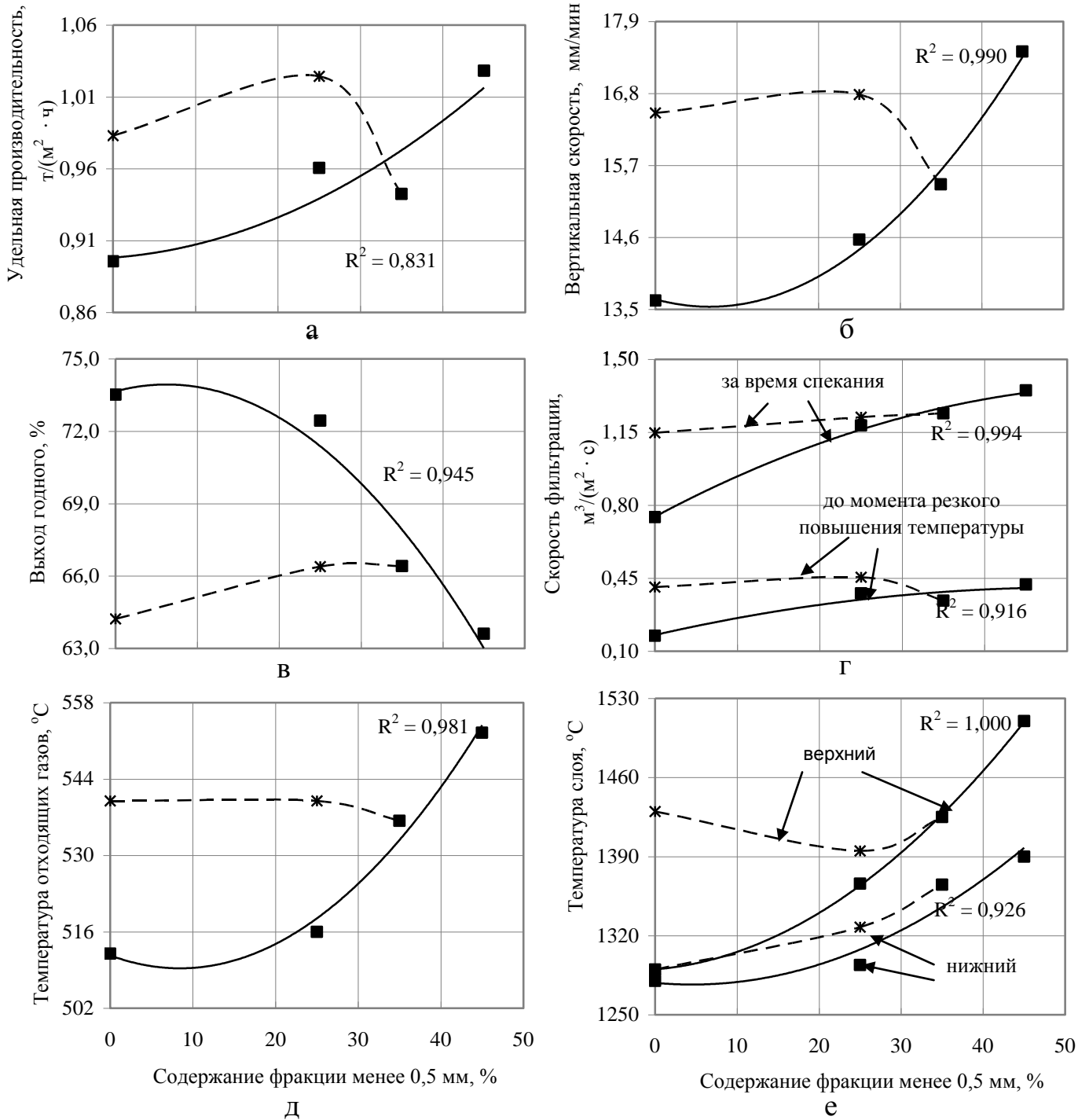
Продолжение таблицы 2

Наименование	Класс крупности материала (мм), %								d _{экв.} , мм
	0,4 – 0,63	0,63 – 1,0	1,0 – 1,6	1,6 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 5,0	5,0 – 8,0	<0,5	
Серия 1	17,40	10,80	9,30	10,32	2,00	7,62	3,38	45,00	0,46
Серия 2*	16,80	16,31	9,68	10,88	2,43	9,00	4,00	35,00	0,54
Серии 3, 5	16,10	18,80	12,60	14,69	3,20	10,38	4,63	25,00	0,65
Серии 4, 6	20,60	22,92	14,52	18,25	3,71	13,85	6,15	–	1,42
Примечание. *Гранулометрический состав топлива для верхнего слоя шихты серии 2 и нижнего слоя шихты всех серий.									

0,420 м³/(м² · с), против 0,174 м³/(м² · с) – для серии 4. По нашему мнению, это объясняется тем, что при горении более крупного топлива верхнего слоя (увеличение содержания фракции более 3 мм с 11,0 % в серии 1 до 15,0 – 20,0 % в сериях 3, 4) происходит существенное увеличение количества жидких фаз, что приводит к повышению газодинамического сопротивления слоя горения. Об этом свидетельствует также увеличивающийся во время проведения спекания период стабилизации скорости фильтрации воздуха с 16,5 (серия 1) до 21,5 мин (серия 4). Скорость фильтрации воздуха в верхнем и нижнем слоях падает, что обуславливает существенное замедление скорости передвижения зоны горения по всей высоте спекаемого слоя. Снижение максимальной температуры отходящих газов с 553 °С до 512 °С вызвано уменьшением максимальной температуры в спекаемом слое (верхний/нижний уровни) с 1390/1510 °С до 1280/1290 °С, что согласуется с закономерностями слоевого горения твердого топлива различной реакционной способности: использование более крупного топлива с меньшей реакционной способностью приводит к растягиванию зоны высоких температур в слое и соответствующему снижению их абсолютных значений.

Прочностные характеристики агломерата по мере снижения содержания фракции менее 0,5 мм в твердом топливе верхнего слоя шихты улучшаются: на удар (X) увеличивается с 61,8 % до 67,2 %, а на истирание (X₁) уменьшается с 4,7 % до 4,3 % (рисунок 3).

С уменьшением содержания фракции менее 0,5 мм в коксовой мелочи верхнего слоя шихты с 45 % до нуля балансировочный показатель возврата возрастает с 0,944 до 1,342 доли ед.; при разгрузке агломерата из аглочаши на колосниковой решетке видны следы проникновения расплава (серии 3, 4), что свидетельствует об избыточном количестве топлива в шихте.

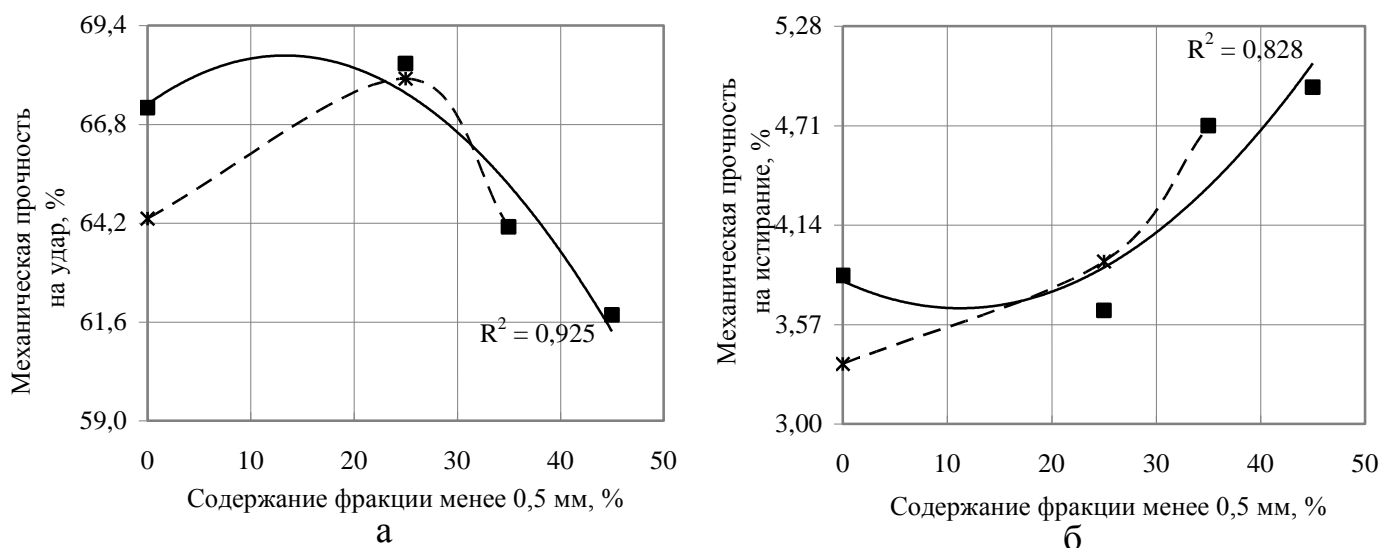


а – удельная производительность; б – вертикальная скорость; в – выход годного; г – скорость фильтрации; д – температура отходящих газов; е – температура слоя;
 — — — — — содержание топлива 7,5 %; — — — — — оптимальные параметры

Рисунок 2 – Зависимость показателей аглопроцесса и качества агломерата от содержания фракции менее 0,5 мм в твердом топливе верхнего слоя шихты

Для оптимизации аглопроцесса снизили содержание топлива в шихте с 7,5 % (серия 2) до 7,2 % (серия 5) и 7,1 % (серия 6) при уменьшении оптимальной влажность шихты с 7,3 % до 7,2 % и 7,1 % соответственно. При этом показатели процесса спекания остаются практически на одном уровне с базовыми (серия 2): удельная производительность повышается до 0,983 – 1,024 $\text{т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, вертикальная скорость

спекания – до 16,50 – 16,79 мм/мин, выход годного агломерата незначительно снижается до 64,2 – 66,4 %. Это указывает на минимизацию технологических недостатков аглопроцесса, связанных с укрупнением твердого топлива. Механическая прочность агломерата на удар практически не изменилась и составила 64,3 %, а на истирание – снизилась до 3,3 %.



а, б – механическая прочность на удар и истирание соответственно;

— — содержание топлива 7,5 %; ---- — оптимальные параметры

Рисунок 3 – Зависимость показателей качества агломерата от содержания фракции менее 0,5 мм в твердом топливе верхнего слоя

Для математического описания полученных экспериментальных зависимостей воспользовались методикой центрального композиционного ротatableльного планирования второго порядка по трем переменным (таблица 3).

Переход от абсолютных к кодированным значениям осуществляли по формуле:

$$x_i = (\kappa_i - \kappa_{i0})/n, \quad (1)$$

где κ_i , κ_{i0} – соответственно абсолютное значение i -го фактора и его нулевого уровня; n – интервал варьирования.

Таблица 3 – Пределы варьирования исследуемых факторов

Параметр	Значение		Нулевой уровень	Шаг варьирования
	минимум	максимум		
Содержание фракции менее 0,5 мм в топливе верхнего слоя, % (x_1)	0	45	45	5
Содержание фракции более 3 мм в топливе верхнего слоя, % (x_2)	11	20	11	1
Содержание топлива, % (x_3)	7,1	7,5	7,5	0,1

В результате обработки экспериментальных данных получили следующее уравнение регрессии, описывающее влияние вышеуказанных параметров на удельную производительность аглоустановки (Q):

$$Q = 0,895 + 0,001x_1 + 0,0207x_2 - 0,017x_3 - 0,0012x_1x_2 + 0,0031x_1x_3 + 0,001x_1^2 + 0,0016x_2^2 + 0,001x_3^2; F_{\text{расч.}} = 0,827 < 3,885 = F_{\text{табл.}} \quad (2)$$

Анализ полученного уравнения (2) показывает, что в исследованных диапазонах содержание фракции менее 0,5 мм оказывает наименьшее влияние (из всех исследуемых факторов) на удельную производительность аглоустановки. Решающее влияние на удельную производительность аглоустановки оказывает содержание фракции более 3 мм в верхнем слое шихты, а также совместное влияние данной фракции с содержанием топлива в шихте.

Химический анализ продуктов агломерации показал, что динамика изменения содержания серы и оксида железа (II) в агломерате серий 1 – 4 находится в обратной зависимости от крупности топлива: с уменьшением доли фракции менее 0,5 мм в твердом топливе верхнего слоя шихты повышается содержание оксида железа (II) при одновременном снижении содержания серы (рисунок 4). Поведение серы в данном случае обусловлено изменением условий ее выгорания, что можно объяснить следующим образом. Известно, что основное количество сульфидной серы удаляется из железорудного сырья в результате окисления до SO_2 и перехода газообразного диоксида серы в агломерационный газ. Поэтому, улучшение условий выгорания серы при снижении содержания фракции менее 0,5 мм в топливе до 35 % происходит вследствие большей концентрации кислорода в газовой фазе. В этих условиях сера шихты выгорает до начала интенсивного разложения известняка. При дальнейшем снижении содержания фракции менее 0,5 мм в топливе до 25 % с последующим выводом из топлива данной фракции часть сульфидной серы не удаляется вследствие менее окислительной атмосферы и более развитого оплавления. Известняк, известь и ферриты кальция поглощают SO_2 из газа в зонах сырой и подогретой шихты с последующей дегидратацией и окислением полученного сульфита кальция.

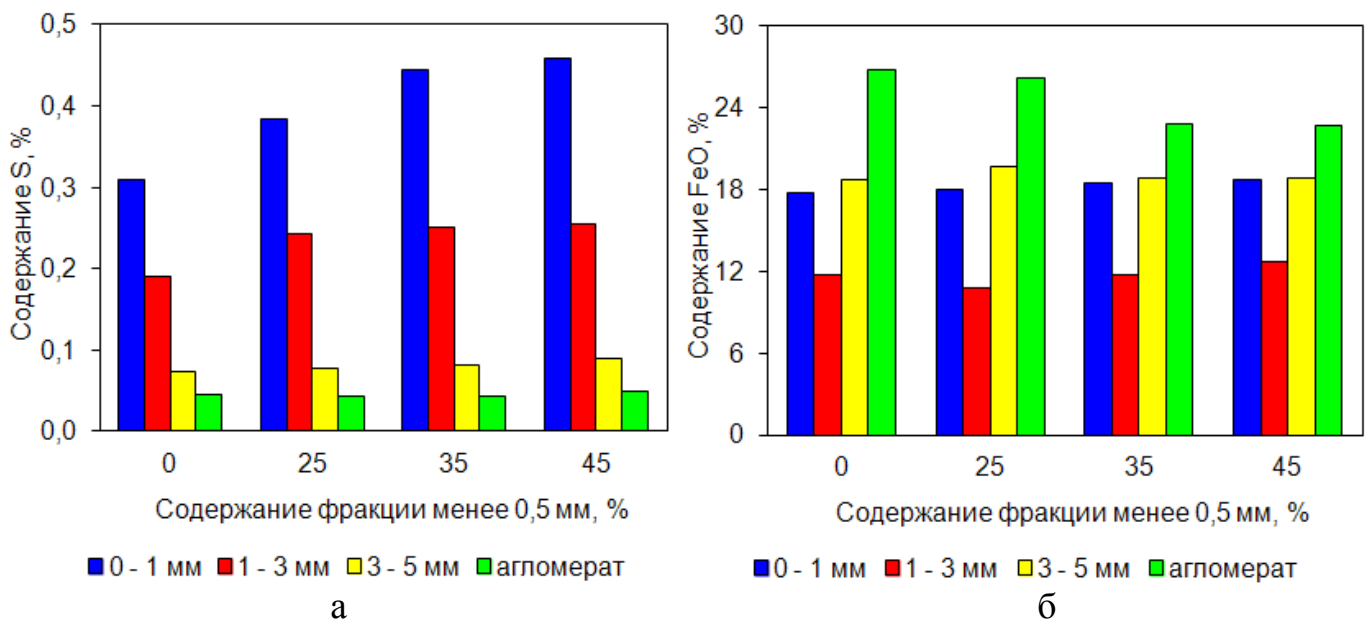


Рисунок 4 – Зависимость массовой доли серы (а) и оксида железа (II) (б) в продуктах агломерации от гранулометрического состава твердого топлива

Реализация технологии ввода различного по крупности топлива в аглошихту в условиях аглофабрики возможна по двум вариантам. По первому варианту подготовка и подача различного по крупности топлива осуществляется по следующей схеме. Усреднение, грохочение и дробление топливной смеси предусматривается по типовой схеме подготовки твердого топлива. На заключительной стадии подготовки (измельчении топлива) предлагается использовать часть четырехвалковых дробилок (10 – 30 % от общего количества) для получения твердого топлива с содержанием фракции менее 0,5 мм 20 – 25 %, остальную часть – для получения твердого топлива с содержанием фракции менее 0,5 мм 30 – 35 %. Получение топлива заданного гранулометрического состава достигается регулировкой зазоров четырехвалковых дробилок. Подготовленное топливо с пониженным содержанием фракции менее 0,5 мм подается в верхний слой шихты в корпусе агломерации. Топливо с повышенным содержанием фракции более 0,5 мм подается в шихту в дозирочном отделении. По второму варианту усреднение, грохочение, дробление и измельчение топливной смеси предусматривается по типовой схеме подготовки твердого топлива. Для разделения топлива по фракциям необходимо реконструировать схему распределения твердого топлива в корпусе агломерации: установить классификатор для разделения топлива на крупную (более 3 мм) и мелкую (менее 3 мм) фракции с последующей подачей их в верхний и нижний слои шихты соответственно. Внедрение вышеописанной технологии позволит снизить удельный расход твердого топлива при производстве агломерата на 4 % (отн.) при сохранении показателей процесса спекания и качества агломерата на уровне базовой технологии.

Выбор технологии агломерации с повышенным или оптимальным расходом топлива, разделенного по фракциям, в конкретных шихтовых условиях будет определяться производственной загрузкой оборудования и требованиями к качественным характеристикам железорудного агломерата.

В четвертой главе представлены результаты промышленного исследования технологических режимов подготовки твердого топлива к агломерации, а также влияния улучшения качества подготовки коксовой мелочи на качественные характеристики железорудного агломерата и показатели доменной плавки в условиях ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». В процессе данных исследований определялись основные технологические параметры работы грохота ГИТ-51М, конусной (КМД-1750) и четырехвалковых (Д4Г-980×700) дробилок, позволяющие повысить качество подготовки коксовой мелочи для агломерационного процесса.

Исследование технологических режимов работы грохота и конусной дробилки проводили методом отбора и последующего анализа гранулометрического состава исходного и дробленого продуктов.

Во время проведения исследований производительность грохота изменялась от 96 до 142 т/ч, а содержание фракции более 13 мм и влаги в исходном продукте – от 8,4 % до 14,3 % и от 6,1 % до 8,8 % соответственно. Размер ячейки проволочного сита – 13×13 мм. Снижение производительности грохота с 142 до 125 т/ч при уменьшении фракции более 13 мм в исходном продукте с 14,3 % до 8,4 % привело к повышению извлечения фракции 0 – 13 мм в подрешетный продукт с 83,9 % до 95,8 % (показатель γ , таблица 5). Это, в свою очередь, увеличило выход подрешет-

ного продукта (ϵ) с 72,0 % до 88,5 % с одновременным повышением эффективности грохочения (γ). Снижение относительной «замельченности» надрешетного продукта ($B_{зам.}$) с 0,57 до 0,37 доли ед. также характеризует улучшение процесса грохочения вследствие увеличения фракции более 13 мм с 50,9 % до 66,3 % в одноименном продукте. Дальнейшее снижение производительности до 96 т/ч сопровождается незначительным улучшением показателей процесса грохочения.

Таблица 5 – Влияние производительности грохота на показатели процесса грохочения

Производительность, т/ч	Материал	Класс крупности материала (мм), %							ϵ , %	γ , %	$B_{зам.}$ доли ед.	γ , %
		0 – 1	1 – 3	3 – 8	8 – 13	13 – 25	25 – 40	>13				
96,32	1*	28,79	25,32	26,32	9,38	8,31	1,88	10,19	87,67	96,53	0,28	86,98
	2	0,80	0,35	2,22	21,88	57,07	17,68	74,75				
	3	34,58	25,73	31,38	7,20	1,11	–	1,11				
125,21	1	33,45	24,96	25,44	7,72	6,90	1,53	8,43	88,49	95,76	0,37	86,21
	2	7,08	0,65	5,32	20,70	48,14	18,11	66,25				
	3	39,62	26,71	27,57	5,19	0,91	–	0,91				
142,41	1	30,62	21,21	23,52	10,37	11,40	2,88	14,28	71,95	83,94	0,57	83,97
	2	13,68	4,75	11,43	19,23	36,95	13,96	50,91				
	3	43,04	20,33	28,47	8,16	–	–	–				

Примечание. *1, 2 и 3 – исходный, надрешетный и подрешетный продукты соответственно.

Таким образом, рациональная производительность инерционного грохота составляет менее 125 т/ч. Увеличение производительности относительно указанного значения является нецелесообразным мероприятием, так как при этом ухудшаются показатели процесса грохочения. Нижний предел производительности грохота предлагается вычислять по формуле:

$$P = \frac{1,69 \cdot C \cdot N \cdot Q \cdot K}{8760}, \quad (3)$$

где 1,69, C , N – коэффициенты, учитывающие соответственно запас топлива в бункерах, отгрузку топлива на сторону и простои оборудования;

Q – производство агломерата, т/год;

K – удельный расход твердого топлива (на рабочую массу), т/т агломерата;

8760 – переводной коэффициент.

В процессе проведения промышленных исследований технологических режимов совместной работы инерционного грохота и конусной дробилки выполнялась оценка влияния величины разгрузочной щели дробилки и качества исходного топлива на выход фракций в дробленом топливе и степень переизмельчения. В качестве показателя эффективности процесса дробления используется отношение содержания фракции более 13 мм в исходном топливе к содержанию одноименной фракции в дробленом топливе (И/Д).

При разгрузочной щели дробилки 9 мм содержание фракции более 13 мм в дробленом топливе незначительно – 3,9 % (таблица 6), по сравнению с содержанием одноименной фракции в исходном топливе (15,7 %); соотношение И/Д составляет 3,99 доли ед. Однако работа конусной дробилки при величине разгрузочной щели менее 10 мм не целесообразна, так как при использовании в топливной смеси кокса фракции 25 – 40 мм повышается вероятность выхода дробилки из строя. Увеличение разгрузочной щели дробилки до 13 мм приводит к уменьшению соотношения И/Д до 1,62 доли ед., т. е. эффективность работы дробилки сведена к минимуму.

Таблица 6 – Влияние величины разгрузочной щели конусной дробилки и качества исходного топлива на выход фракций в дробленом топливе

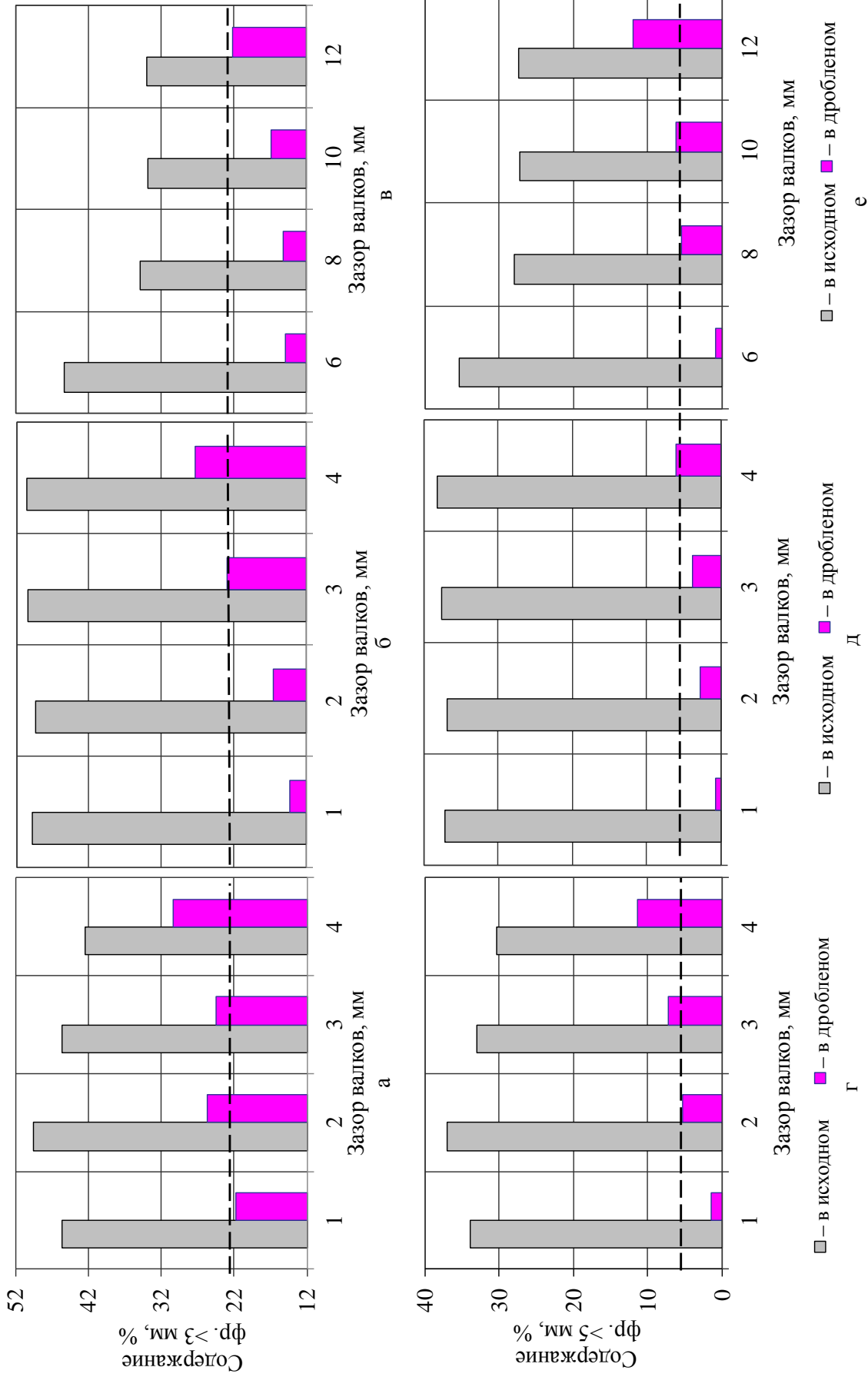
Наименование материала	Класс крупности материала (мм), %								И/Д, доли. ед.
	0 – 1	1 – 3	3 – 5	5 – 8	8 – 13	13 – 25	25 – 40	>13	
Исходный 9*	35,57	16,99	11,87	11,27	8,58	11,79	3,93	15,72	3,99
Дробленый 9	39,49	17,58	11,30	12,01	15,68	3,94	–	3,94	
Исходный 11	31,20	11,90	7,95	9,20	11,71	21,06	6,98	28,04	3,04
Дробленый 11	34,47	14,28	10,33	12,89	18,82	9,21	–	9,21	
Исходный 13	24,47	23,13	15,52	15,38	11,44	9,36	0,70	10,06	1,62
Дробленый 13	26,09	21,46	14,22	15,23	16,79	6,21	–	6,21	
Примечание. * 9...13 – величина (9...13 мм) разгрузочной щели.									

С учетом того, что технология усреднения топливной смеси для агломерации имеет ограниченные возможности, а оперативное регулирование технологических параметров работы конусной дробилки не представляется возможным, оптимальная величина разгрузочной щели составляет 10 – 12 мм; при данной величине щели обеспечивается максимальное сокращение фракции более 13 мм в дробленом топливе по сравнению с исходным.

Проведенные исследования технологических режимов совместной работы инерционного грохота и конусной дробилки показали, что подготовленное после грохочения и дробления топливо характеризуется нестабильным гранулометрическим составом. В связи с тем, что при измельчении топлива на четырехвалковых дробилках формируется окончательный гранулометрический состав подготовленного агломерационного топлива, оказывающий непосредственное влияние на показатели процесса спекания и качество агломерата, особенно важным является определение оптимальных технологических режимов работы дробилок.

Исследование влияния технологических режимов дробления четырехвалковой дробилки на качество подготовленного топлива производили методом отбора и последующего анализа гранулометрического состава исходного и дробленого материалов в изменяющихся условиях формирования исходной топливной смеси.

При проведении данных исследований установлены следующие ограничения по крупности дробленого топлива: максимальное содержание фракций более 3 и 5 мм составляет 20 – 25 % и 5 – 6 % соответственно, минимальная степень переизмельчения топлива (рисунок 4).



а, б, в – содержание фракции более 3 мм на первом, втором и третьем этапах соответственно;

г, д, е – содержание фракции более 5 мм на первом, втором и третьем этапах соответственно

Рисунок 4 – Влияние величины зазора между валками на выход фракций в исходном и дробленном топливе

На первом и втором этапах исследования определяли оптимальный зазор нижних валков при подаче со склада топлива на комплекс для его подготовки кокса фракции 0 – 40 мм соответственно с добавкой коксового шлама и без него.

Анализ гранулометрического состава показал, что на первом этапе исследования подаваемое на дробление топливо содержит значительное количество кондиционных классов (рисунок 4). Фактически, больше половины (54,3 %) загружаемого топлива не нуждается в дроблении. Подача на дробление топлива такого качества приводит к дополнительному его переизмельчению. На втором этапе исследования, напротив, значительная часть топлива (78,4 %) нуждается в дроблении, что свидетельствует о повышенном содержании крупных классов (10 – 40 мм) в исходном топливе.

В результате проведенных исследований установлено, что оптимальный зазор между нижними валками (при постоянном зазоре верхних валков 8 мм) составляет: на первом этапе исследования – 1 – 1,5 мм; на втором этапе исследования – 2 – 2,5 мм. При таких режимах работы обеспечивается дробление топлива с незначительной степенью переизмельчения и невысоким количеством фракции более 5 мм.

На третьем этапе исследования определяли оптимальный зазор верхних валков при подаче со склада топлива на комплекс для подготовки топлива кокса фракции 0 – 40 мм с коксовым шламом.

Анализ результатов исследования показал, что оптимальный зазор между верхними валками составляет 7 – 9 мм (при постоянном зазоре нижних валков 1,5 мм). При таком режиме обеспечивается дробление топлива с незначительной степенью переизмельчения (17,5 %) и невысоким содержанием (14,2 %) фракции более 3 мм в дробленом топливе.

На основании промышленных исследований технологических режимов работы четырехвалковых дробилок установлена функциональная зависимость между оптимальным зазором нижних валков (δ) дробилки и среднеарифметическим диаметром исходного топлива (d), усредненного по объему:

$$\delta = 4,70d - 1,87; R^2 = 0,97. \quad (4)$$

На четвертом этапе исследования технологических режимов работы четырехвалковой дробилки оценивали качество дробления коксовой мелочи при повышении производительности дробилки с 15,4 до 39,7 т/ч. Анализ полученных данных показал, что при незначительном количестве фракции более 3 мм в исходном материале подготовленное топливо требуемого гранулометрического состава возможно получить при производительности до 35,5 т/ч; с увеличением содержания фракции более 3 мм до 40 – 45 % производительность необходимо снизить до 20 – 25 т/ч.

На пятом этапе исследования технологических режимов работы четырехвалковых дробилок оценивали влияние исходного гранулометрического состава твердого топлива на степень его переизмельчения. В результате проведенного исследования установлено, что степень переизмельчения топлива снижается при увеличении содержания фракций 0 – 3, 1 – 3, 3 – 5 мм и увеличивается при повышении содержания фракций более 5, 8 и 13 мм в исходном топливе. Более существенное

влияние фракции 1 – 3 мм в исходном топливе на степень переизмельчения объясняется

увеличением (по сравнению с содержанием во фракции 0 – 3 мм) доли структурных элементов повышенной прочности («ядра прочности») фракции 1 – 2,5 мм и 2,5 – 3 мм, подверженной переизмельчению под действием нижних валков.

В производственных условиях не всегда удастся оперативно определить содержание фракции менее 0,5 мм в твердом топливе из-за значительной продолжительности во времени операций отбора, подготовки и отсева проб (при повышенной влажности мелких фракций твердого топлива). Для решения данного вопроса предлагается определение фракции менее 0,5 мм в твердом топливе расчетным методом. В процессе данного исследования проверялось соответствие реальных гранулометрических характеристик топливной смеси следующим теоретическим распределениям частиц по размерам: уравнениям Годэна – Андреева и Розина и Раммлера.

Анализ полученных результатов показывает, что кумулятивная характеристика исходного топлива удовлетворительно описывается (с незначительной корректировкой) уравнениями Годэна – Андреева и Розина и Раммлера. Для данного материала содержание фракции менее 0,5 мм рассчитывается по формулам:

$$\Phi_{(d_i)} = 60d_i^{0,2} \quad (\text{при зазоре между нижними валками дробилки 1 и 2 мм}); \quad (5)$$

$$\Phi_{(d_{i+})} = 100e^{-0,365d_i^{0,665}} \quad (\text{при зазоре 1 мм}); \quad (6)$$

$$\Phi_{(d_{i+})} = 100e^{-0,390d_i^{0,630}} \quad (\text{при зазоре 2 мм}), \quad (7)$$

где $\Phi_{(d_{i+})}$, $\Phi_{(d_i)}$ – суммарный выход класса крупности по плюсу и минусу соответственно;

d_i – размер отверстий сита.

Кумулятивная характеристика дробленого топлива удовлетворительно описывается (с незначительной корректировкой) уравнением Розина и Раммлера. Расчет содержания фракции менее 0,5 мм осуществляется по формулам:

$$\Phi_{(d_{i+})} = 100e^{-0,9d_i^{0,90}} \quad (\text{при зазоре 1 мм}); \quad (8)$$

$$\Phi_{(d_{i+})} = 100e^{-0,9d_i^{0,95}} \quad (\text{при зазоре 2 мм}). \quad (9)$$

В результате реализации разработанных технологических режимов подготовки твердого топлива на агломерационной фабрике улучшено качество коксовой мелочи по гранулометрическому составу за счет снижения содержания фракций более 3 и 5 мм с 13,8 % до 13,5 % и с 3,7 % до 3,2 % соответственно. Улучшение качества твердого агломерационного топлива позволило повысить качество агломерата: снизить содержание мелочи (фракции 0 – 5 мм) на 0,3 % (абс.).

Проведенные промышленные исследования по проплавке в доменной печи агломерата, полученного при оптимизации гранулометрического состава аглотоплива, показали, что снижение содержания мелочи в агломерате на 0,3 % (абс.) привело к уменьшению расхода кокса на 1,84 кг/т чугуна при улучшении других технико-

экономических показателей доменной плавки (производительность, интенсивность плавки по руде и дутью и др.).

Заключение

1. На основе лабораторных исследований: выявлена неоднородность компонентов топливной смеси по физико-химическим характеристикам, определена технологическая ценность компонентов топлива для агломерационного процесса; установлены закономерности изменения показателей процесса спекания и качества агломерата при различном гранулометрическом составе коксовой мелочи верхнего слоя шихты: уменьшение содержания фракции менее 0,5 мм с 45 % до нуля (с соответствующем перераспределением остальных фракций топлива) приводит к снижению удельной производительности аглоустановки на 0,13 т/(м² · ч) при одновременном повышении выхода годного агломерата с 63,6 % до 73,5 % и улучшении прочностных характеристик агломерата; с уменьшением содержания топлива в шихте с 7,5 % до 7,1 % удельная производительность повышается до 0,983 – 1,024 т/(м² · ч) при сохранении остальных показателей на уровне базовых; решающее влияние на удельную производительность аглоустановки оказывает содержание фракции более 3 мм в верхнем слое шихты.

2. Динамика изменения содержания серы и оксида железа (II) в агломерате находится в обратной зависимости от крупности топлива: с уменьшением доли фракции менее 0,5 мм в твердом топливе верхнего слоя шихты повышается содержание оксида железа (II) при одновременном снижении содержания серы; степень удаления серы при снижении содержания фракции менее 0,5 мм в топливе до 35 % повышается, а при дальнейшем уменьшении содержания фракции менее 0,5 мм до 25 % с последующим выводом из топлива данной фракции снижается.

3. Установлено и научно обосновано рациональное соотношение содержания фракции менее 0,5 мм: 20 – 25 % и 30 – 35 % для верхнего и нижнего слоев соответственно, обеспечивающее снижение удельного расхода топлива при относительно высоких показателях процесса спекания и качества агломерата.

4. Определены рациональные технологические режимы подготовки топливной смеси для агломерации, обеспечивающие необходимое количество топлива требуемого гранулометрического состава. Получено соотношение для расчета нижнего предела нагрузки по питанию инерционного грохота, предназначенного для классификации топлива перед крупным дроблением на конусной дробилке. Установлена зависимость между оптимальным зазором нижних валков четырехвалковой дробилки и среднеарифметическим диаметром исходного топлива, усредненного по объему.

5. Выявлено влияние различных фракций исходного топлива на степень переизмельчения при дроблении его на четырехвалковых дробилках: при подаче на четырехвалковые дробилки полидисперсного топлива фракции 0 – 25 мм наиболее существенное влияние на степень переизмельчения оказывают мелкие (1 – 3 мм) и крупные фракции (более 5 мм) кокса; при этом практически прямая зависимость степени переизмельчения от содержания в исходном топливе фракции 8 – 13 мм объясняется увеличением содержания данной фракции наряду с одновременным

снижением содержания других крупных монофракций кокса (3 – 5, 5 – 8 и 13 – 25 мм); получены уравнения для математического описания исходного и дробленого твердого топлива на четырехвалковых дробилках и вычисления содержания фракции менее 0,5 мм по значениям более крупных фракций топлива (более 5 и 13 мм).

6. Разработанная ресурсосберегающая технология подготовки твердого агломерационного топлива в изменяющихся условиях формирования его исходного гранулометрического состава, обеспечивающая повышение качества агломерата (снижение содержания мелочи в агломерате на 0,3 % (абс.)), позволила уменьшить удельный расход кокса при выплавке чугуна на 1,84 кг/т чугуна (0,4 % отн.) с улучшением других технико-экономических показателей доменной плавки (производительность, интенсивность плавки по руде, расход дутья и др.). Фактический экономический эффект от снижения удельного расхода кокса при выплавке чугуна и увеличения производительности доменных печей за счет улучшения качества агломерата составил 1 457 004 руб. Научные основы разработки ресурсосберегающих технологических режимов подготовки твердого топлива, используемого для производства железорудного агломерата, внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» и используются при подготовке студентов по направлению «Металлургия».

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования материалов кандидатских и докторских диссертаций

1. **Одинцов, А.А.** Совершенствование режимов дробления твердого топлива на четырехвалковых дробилках / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский // Известия вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 12. – С. 7 – 11.

2. **Одинцов, А.А.** Влияние исходного гранулометрического состава твердого агло топлива на степень его переизмельчения / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский // Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 4. – С. 9 – 15.

3. **Одинцов, А.А.** Влияние гранулометрического состава твердого топлива при двухслойной загрузке шихты на показатели процесса спекания и качество агломерата / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – № 5. – С. 7 – 12.

4. Феоктистов, А.В. Повышение эффективности использования твердого топлива при двухслойной агломерации / А.В. Феоктистов, **А.А. Одинцов** // Металлург. – 2014. – № 6. – С. 66 – 73.

Труды периодических изданий и научно-практических конференций

5. **Одинцов, А.А.** Совершенствование технологии подготовки твердого топлива к агломерации в условиях АИП ОАО «ЗСМК» / **А.А. Одинцов**, К.И. Домнин // Труды VI Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых СибГИУ «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения». – Новокузнецк, 2008. – № 12. – Часть III. Технические науки. – С. 145 – 149.

6. **Одинцов, А.А.** Исследование характеристик агломерационного твердого топлива и совершенствование режимов его дробления на четырехвалковых дробил-

ках / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. – Новокузнецк, 2008. – № 22. – С. 9 – 18.

7. **Одинцов, А.А.** Использование отходов коксового цеха в агломерационно-известковом производстве ОАО «ЗСМК» / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский // Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: сборник докладов II международной научно-практической конференции СибГИУ. – Новокузнецк, 2008. – С. 215 – 222.

8. **Одинцов, А.А.** Оптимизация производительности дробильно-сортировочного оборудования для подготовки твердого топлива к агломерации / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. – Новокузнецк, 2009. – № 23. – С. 25 – 32.

9. **Одинцов, А.А.** Сокращение топливно-энергетических ресурсов при производстве агломерата / **А.А. Одинцов** // Труды VII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых СибГИУ «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения». – Новокузнецк, 2009. – № 13. – Часть III. Технические науки. – С. 27 – 32.

10. **Одинцов, А.А.** Технологические аспекты снижения расхода твердого топлива в агломерационном производстве / **А.А. Одинцов**, В.П. Комшуков // Черная металлургия. – 2010. – № 2. – С. 28 – 33.

11. **Одинцов, А.А.** Технология агломерации двухслойной шихты с использованием в качестве твердого топлива отходов коксового цеха / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский // Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: сборник докладов III международной научно-практической конференции СибГИУ. – Новокузнецк, 2010. – С. 215 – 226.

12. **Одинцов, А.А.** Агломерация двухслойной шихты с разделением твердого топлива по фракциям / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. – Новокузнецк, 2011. – № 27. – С. 9 – 16.

13. Патент 2465349 РФ, МПК С 22 В 1/14. Способ спекания агломерационной шихты / **А.А. Одинцов**, В.А. Долинский. (РФ). – № 2011119693/02; заявлено 16.05.11; опубликовано 27.10.12.

Подписано в печать

г.

Формат бумаги 60×80 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,05 Уч.изд.л. 1,17 Тираж

экз.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Издательский центр СибГИУ