

ОТЗЫВ

официального оппонента

**кандидата технических наук Опалева Александра Сергеевича
на диссертацию Ветюгова Даниила Александровича
на тему: «Разработка высокоэффективного метода окомкования
железородных концентратов на основе бентополимерных композиций»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.8.9 – Обогащение полезных ископаемых**

Актуальность. Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-практической проблемы – разработке высокоэффективного метода окомкования железородных концентратов на основе бентополимерных композиций, обеспечивающего повышению качества железородных окатышей, что в свою очередь способствует повышению конкурентоспособности российской железородной продукции, снижению энергетических затрат на ее производство и улучшению экологической обстановки в районах горно-металлургических предприятий.

Применение новых составов связующих компонентов в процессе окомкования взамен традиционного бентонита способно обеспечить снижение содержания вредных примесей оксидов кремния и алюминия в железородных окатышах, оказывающих негативное влияние на процессы металлургической переработки.

Цель работы – разработка высокоэффективного метода окомкования железородных концентратов с применением бентополимерных композиций для повышения массовой доли железа и снижения содержания кремния, модифицировании структуры, оптимизации гранулометрического состава и прочностных характеристик железородных окатышей.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация изложена на 157 страницах, включая 31 рисунок, 34 таблицы и 8 приложений. Состоит из введения, 4-х глав с выводами, заключения, списка использованных источников из 170 наименований.

Во введении обосновывается актуальность работы, сформулированы цель и идея работы, кратко представлены материалы и методы исследований, научная новизна, научное и практическое значение, достоверность и

обоснованность научных результатов, отражен личный вклад, приведены положения, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов исследований.

В первой главе выполнен анализ научно-технических материалов по современному состоянию технологий производства железорудных концентратов и окатышей. Повышение содержания железа и снижение содержания кремния в концентратах и производимых на их основе железорудных окатышах напрямую влияет на снижение себестоимости готовой продукции, уменьшение энергетических затрат и улучшение экологических показателей горно-металлургических комплексов. Анализ существующих методов окомкования железорудных концентратов показал необходимость поиска новых, более эффективных решений. Установлено, что наиболее перспективным направлением является разработка способа производства железорудных окатышей с применением новых составов бентополимерных композиций (БПК). Использование бентополимерных композиций способно улучшить качество окатышей без существенных изменений в производственном цикле.

Вторая глава содержит описание объектов и методов исследований, включая рентгеновскую дифрактометрию, инфракрасную спектроскопию, сканирующую электронную микроскопию, компьютерную томографию, измерения краевого угла смачивания. Основное внимание уделяется элементному составу компонентов шихты, поступающей на окомкование, и готовых окатышей, физико-химическим свойствам железорудных концентратов, бентонитовых глин и бентополимерных композиций на их основе. Для оценки способности железорудных концентратов к окомкованию определялись массовая доля влаги, удельная поверхность, эффективный радиус капилляра, скорость капиллярного всасывания. Реологические свойства связующих оценивали методами определения индекса набухания, набухаемости и эффективной вязкости, металлургические характеристики окатышей оценивали по стандартным методикам.

В третьей главе представлены результаты качественных характеристик бентонита в зависимости от его химического и минералогического состава. Показано, что степень набухания и эффективная вязкость бентонитовых глин прямо пропорциональны содержанию монтмориллонита. Исследовано влияние

состава бентополимерных композиций на процессы окомкования и обжига. Приведены результаты экспериментальных исследований качественных и количественных характеристик сырых и высушенных железорудных окатышей из концентрата Стойленского ГОКа с применением бентополимерных композиций БПК-1Х и БПК-3Х. Измерением краевого угла смачивания установлено повышение гидрофильности поверхности магнетита, что способствует равномерному распределению связующего и формированию прочных связей между частицами комкуемого материала.

Обоснован механизм действия ксантан-модифицированной бентонитовой глины, заключающийся в формировании пластичной структуры сырых окатышей за счет повышения реологических свойств связующего благодаря внутримолекулярным взаимодействиям и электростатическому отталкиванию между слоями полимера и монтмориллонита. Показано, что применение БПК-4Х с ксантановой камедью улучшает прочностные характеристики сырых и обожженных окатышей, модифицирует их структуру и повышает восстановимость при плавке.

В четвертой главе на основе комплекса выполненных исследований установлена взаимосвязь прочности и пористости обожженных окатышей. Методами СЭМ и мКТ определено, что с БПК-1А формируется структура окатышей с меньшей степенью оплавленности, происходит перераспределение эквивалентных диаметров пор с увеличением в 2 раза количества мелких пор (0,1-0,3 мкм) по сравнению с базовым связующим бентонитом и улучшаются металлургические свойства готовых окатышей.

На основе проведенного комплекса исследований и выявленного механизма действия бентополимерных композиций разработан способ окомкования железорудных концентратов с применением БПК-1А, обеспечивающий повышение содержания Fe на 0,2%, снижение содержания SiO₂ на 0,19% при снижении на 30 % расхода бентонита в процесс окомкования с сохранением прочностных свойств обожженных окатышей. БПК-1А в дозировке 7кг/т окатышей рекомендована к опытно-промышленным испытаниям на Стойленском ГОКе.

Проведенными опытно-промышленными испытаниями по приготвлению связующей добавки БПК-1А в объеме 483 тонны на ФОК АО

«СГОК» подтверждена технологическая возможность ее использования при производстве железорудных окатышей на Стойленском ГОКе.

Ожидаемый экономический эффект от применения БПК-1А в составе железорудных окатышей Стойленского ГОКа за счет снижения расхода бентонита, увеличения выхода чугуна и снижения расхода кокса составит 1,5 млрд. руб. в год.

Научная новизна работы состоит в получении новых научных данных о механизме формирования высококачественных железорудных окатышей с применением новых бентополимерных композиций на основе бентонитовой глины, полиакриламида, высоковязкой полианионной целлюлозы и ксантановой камеди. Максимальный эффект достигается с использованием БПК-1А, что приводит к формированию структуры окатышей с меньшей степенью оплавленности, перераспределению эквивалентных диаметров пор с увеличением в 2 раза количества мелких пор (до 1 мкм) по сравнению с базовым связующим бентонитом и обеспечивает повышенные металлургические свойства готовых окатышей. Обоснован механизм действия ксантан-модифицированной бентонитовой глины, заключившийся в формировании пластичной структуры сырых окатышей за счет повышения реологических свойств связующего благодаря внутримолекулярным взаимодействиям и электростатическому отталкиванию между слоями полимера и монтмориллонита.

Достоверность и обоснованность представленных в работе научных положений и выводов подтверждается значительным объемом экспериментальных данных, разнообразием современных методов исследований с применением сертифицированного инструментального оборудования, сходимостью теоретических положений и результатов экспериментальных исследований, воспроизводимостью результатов экспериментов.

Практическое значение заключается в разработке способа окомкования железорудных концентратов с применением БПК-1А, который обеспечивает повышение качества железорудных окатышей за счет увеличения содержания Fe на 0,2 % и снижения содержания SiO₂ на 0,19 % при снижении на 30% расхода бентонита и улучшении прочностных характеристик сырых окатышей.

Выполненные опытно-промышленные испытания нового способа окомкования железорудного концентрата на Стойленском ГОКе подтвердили возможность промышленного использования разработанных технико-технологических решений. Ожидаемый экономический эффект от снижения расхода бентонита в процесс окомкования на Стойленском ГОКе, увеличения выхода чугуна и снижения расхода кокса при плавке полученных окатышей на Новолипецком металлургическом комбинате составит 1,58 млрд. руб./год.

По теме диссертации опубликовано 12 научных трудов, из них: в рекомендованных ВАК РФ изданиях – 3, в журналах, индексируемых в WoS, Scopus - 3, зарубежных изданиях – 2, в материалах российских и международных конференций – 7. Основные результаты диссертации лично докладывались соискателем на региональных и международных совещаниях, конференциях и других публичных мероприятиях по проблемам переработки минерального сырья.

Личный вклад соискателя в диссертационное исследование сформулирован и заключался в проведении аналитического обзора научно-технической литературы по современному состоянию технологий и методов обогащения железных руд и окомкования железорудных концентратов, постановке цели и задач, разработке методик исследований, разработке оптимальных составов бентополимерных композиций (БПК) и их успешной апробации в лабораторных исследованиях, экспериментальном доказательстве преимуществ использования БПК перед традиционными бентонитовыми связующими, анализе и обобщении полученных результатов, обосновании выводов и подготовке публикаций.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие замечания и вопросы:

1. Выполненные исследования по изучению реологических свойств связующего материала методами определений индекса набухания, набухаемости и эффективной вязкости бентонитовой суспензии, на мой взгляд, не в полной мере объясняет формирования пластичной структуры сырых окатышей благодаря внутримолекулярным взаимодействиям и электростатическому отталкиванию между слоями полимера и

монтмориллонита. Видимо, предложенный механизм формирования такой структуры требует дополнительного изучения.

2. В настоящее время производство окатышей, в том числе премиум-качества для внедоменной металлургии, требует от обогатительного передела получение железорудных концентратов с высокими значениями удельной поверхности (1900-2200 см²/г), предопределяя необходимость многостадиальности измельчения и разветвленных технологических схем обогащения. Если бы автором была исследована возможность использования в процессе окомкования более грубозернистых железорудных концентратов за счет положительного эффекта от предлагаемого им метода, то работа получила бы еще больший интерес.

Вместе с тем представленные замечания носят уточняющий характер и не в коей мере не снижают общей положительной оценки диссертации.

Заключение

Диссертация Ветюгова Даниила Александровича на тему: «Разработка высокоэффективного метода окомкования железорудных концентратов на основе бентополимерных композиций», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании комплекса выполненных исследований и полученных новых научных результатов предложены технологические решения по применению новых составов бентополимерных композиций в процессе окомкования железорудных концентратов, обеспечивающие повышение массовой доли железа и снижение содержания кремнезема в готовых железорудных окатышах, что приводит к снижению расхода кокса и в целом себестоимости производства чугуна и стали, имеющих существенное значение для железорудной отрасли.

Результаты диссертационного исследования соответствуют пункту 6 паспорта специальности 2.8.9 «Обогащение полезных ископаемых» (технические науки) «Обезвоживание, окускование, брикетирование, транспортирование и складирование полезных ископаемых и продуктов их обогащения».

Диссертация «Разработка высокоэффективного метода окомкования железорудных концентратов на основе бентополимерных композиций», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по

Список научных трудов к.т.н. Опалева Александра Сергеевича

1. Остапенко С.П., Опалев А.С. Методологический подход к исследованию структурно-механических свойств суспензии тонкодисперсных частиц магнетита // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2025. – № 1. – С. 150-160. – DOI 10.15372/FTPRPI20250114. – EDN SFKZOM.
2. Опалев А.С., Бермухамбетов В.А., Алексеева С.А. Совершенствование технологии получения высококачественного концентрата на железорудном предприятии Казахстана // Обогащение руд. – 2025. – № 1. – С. 3-7. – DOI 10.17580/or.2025.01.01. – EDN YUPPPL.
3. Опалев А.С., Алексеева С.А., Паливода А.А., Калюжная Р.В. Совершенствование технологии получения магнетитового концентрата при обогащении магнетит-апатитовых руд // Обогащение руд. – 2024. – № 3. – С. 3-9. – DOI 10.17580/or.2024.03.01. – EDN UNMSHB.
4. Митрофанова Г.В., Опалев А.С. Повышение качества тонкоизмельченных магнетитовых концентратов комбинированием сульфидной и силикатной флотации // Обогащение руд. – 2024. – № 4. – С. 17-22. – DOI 10.17580/or.2024.04.03. – EDN STEMZQ.
5. Опалев А.С., Алексеева С.А., Бармин И.С., Смирнова Н.А. О возможности повышения объемов переработки магнетит-апатитовых руд // Горный журнал. – 2024. – № 5. – С. 55-62. – DOI 10.17580/gzh.2024.05.05. – EDN PTDWNW.
6. Опалев А.С., Марчевская В.В. Исследование влияния крупности зерен магнетита на магнитную восприимчивость железорудных концентратов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 1. – С. 161-167. – DOI 10.15372/FTPRPI20230115. – EDN MFNOZW.
7. Опалев А.С., Алексеева С.А., Черезов А.А. Исследование режимов стадийного вывода железорудного концентрата при изменении вещественного состава руды // Обогащение руд. – 2023. – № 3. – С. 3-9. – DOI 10.17580/or.2023.03.01. – EDN GTBOKC.
8. Остапенко С.П., Опалев А.С. Методический подход к исследованию магнитного взаимодействия тонкодисперсных частиц в водной суспензии методом компьютерного моделирования // Горная промышленность. – 2023. – № S5. – С. 142-149. – DOI 10.30686/1609-9192-2023-5S-142-149. – EDN HJNWRT.
9. Опалев А.С., Алексеева С.А. Методическое обоснование выбора оптимальных режимов работы оборудования схемы стадийного вывода концентрата при обогащении железных руд // Записки Горного института. – 2022. – Т. 256. – С. 593-602. – DOI 10.31897/PMI.2022.80. – EDN LVHBFN.
10. Гриненко В.И., Опалев А.С., Маевский П.В., Карпов И.В. Повышение качества железорудного концентрата на АО «ССГПО» методом магнитно-гравитационной сепарации // Горный журнал. – 2021. – № 10. – С. 81-86. – DOI 10.17580/gzh.2021.10.10. – EDN MGEIFZ.
11. Опалев А.С., Карпов И.В., Кривовичев С.В. Повышение эффективности переработки магнетитовых кварцитов в АО «Карельский окатыш» // Горный журнал. – 2021. – № 11. – С. 66-74. – DOI 10.17580/gzh.2021.11.09. – EDN EELWJR.
12. Опалев А.С. Повышение качества магнетитовых концентратов на основе магнитно-гравитационной сепарации // Горный журнал. – 2020. – № 9. – С. 72-77. – DOI 10.17580/gzh.2020.09.10. – EDN PEWBVP.