

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и инновациям НИТУ МИСИС



/ М.Р. Филонов

«02» февраля 2026 г.

Отзыв ведущей организации

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС) на диссертационную работу Ветюгова Даниила Александровича «Разработка высокоэффективного метода окомкования железорудных концентратов на основе бентополимерных композиций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9 – «Обогащение полезных ископаемых»

Представленная на рассмотрение диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 170 наименований, содержит 157 страниц машинописного текста, 8 приложений, 31 рисунка и 34 таблиц.

Актуальность

Диссертация Ветюгова Даниила Александровича посвящена актуальной задаче модернизации процесса окомкования железорудных концентратов, обусловленной истощением богатых месторождений железных руд, что ставит перед отраслью необходимость переработки труднообогатимого сырья, требующего повышенного внимания к технологиям окомкования. Традиционные методы окомкования, основанные на использовании бентонитового связующего, приводят к внесению нежелательных примесей, таких как оксиды кремния и алюминия, негативно влияющих на качество окатышей и металлургические процессы. Решением этой проблемы является внедрение новых составов связующих, способных минимизировать негативное воздействие на химический состав готовых окатышей.

Глобальная конкуренция на рынке железорудной продукции обязывает российские предприятия искать эффективные подходы к повышению качества окатышей, снижению энергетических затрат и улучшению экологической обстановки. Введение бентополимерных композиций открывает путь к достижению указанных целей, позволяя снизить расходы на производство и уменьшить содержание вредных примесей, одновременно улучшая металлургические свойства окатышей. Исходя из этого, данная работа

направлена на создание конкурентоспособных технологий, обеспечивающих устойчивость российской металлургии в долгосрочной перспективе.

Таким образом, актуальность работы обусловлена необходимыми изменениями в подходе к переработке железорудного сырья, направленными на повышение конкурентоспособности российской металлургической промышленности, снижение затрат и удовлетворение требований экологической металлургии.

Основное содержание работы.

В диссертации разработан новый метод окомкования железорудных концентратов с применением бентополимерных композиций, включающих высококачественные бентонитовые глины и синтетические полимеры (полиакриламид, полианионную целлюлозу, ксантановую камедь). В частности, впервые установлено влияние ксантан-модифицированной бентонитовой глины на процесс окомкования, обеспечивающий требуемые свойства железорудных окатышей. Предложенный метод позволил снизить расход бентонита на 30%, повысить массовую долю Fe на 0,2% и снизить массовую долю SiO₂ на 0,19% в готовых окатышах. Изучено влияние добавки БПК на пористую структуру и металлургические свойства готовых окатышей.

В первой главе диссертации представлены результаты литературного обзора по современному состоянию технологий производства железорудных концентратов и окатышей. Анализ существующих методов повышения качества железорудных окатышей показал необходимость поиска новых, более эффективных решений. Установлено, что использование бентополимерных композиций способно улучшить качество окатышей без существенных изменений в производственном цикле. **Во второй главе** описаны объекты и методы экспериментальных исследований, которые проводились на трех железорудных концентратах (Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева, Стойленского ГОКа, Соколовско-Сарбайского ГПО), бентонитах трех месторождений (10-й Хутор, Даш-Салахлинское, Таганское) и трех полимерных добавках (полианионная целлюлоза, ксантановая камедь, полиакриламид). Приведены способы получения бентополимерных композиций (БПК), их физико-химические свойства и влияние на процесс окомкования с последующей оценкой качества окатышей, определяемого гранулометрическим составом, прочностью на сжатие и на удар, химическим составом, а также комплексом металлургических свойств. **В третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающих эффективность разработанных БПК и демонстрирующих улучшение физико-химических и металлургических свойств железорудных окатышей при их применении. Так, благодаря связующим свойствам БПК-1X с расходом 0,5% при снижении расхода бентонита на 30%, ее использование в процессе окомкования обеспечило получение окатышей с более однородным гранулометрическим составом и улучшением их прочностных характеристик по сравнению с базовыми значениями. **В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований влияния состава БПК на

структуру и металлургические свойства железорудных окатышей. Установлено, что применение БПК в составе шихты на окомкование позволяет воздействовать на металлургические свойства окатышей для прямого восстановления железа. С использованием БПК-1А достигнут максимальный эффект, сформирована структура окатышей с меньшей степенью оплавленности, отмечено перераспределение эквивалентных диаметров пор с увеличением в 2 раза количества мелких пор (до 1 мкм) по сравнению с базовым связующим бентонитом, что обеспечивает улучшению всего комплекса металлургических свойств готовых окатышей.

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, заключающийся в формировании пластичной структуры сырых окатышей за счет повышения реологических свойств связующего благодаря внутримолекулярным взаимодействиям и электростатическому отталкиванию между слоями полимера и монтмориллонита.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов не вызывают сомнений, выполненные исследования характеризуются системным подходом и подтверждаются значительным объемом выполненных экспериментов, сходимостью теоретических положений и результатов экспериментальных исследований. Автором использовались современные методы исследований, включая рентгеноструктурный анализ, электронную микроскопию, компьютерную томографию и ИК-спектроскопию. Комплексный подход позволил подтвердить эффективность разработанного метода и выявить важные закономерности формирования структурных особенностей полученных окатышей, что повышает ценность проведенной работы.

Практическая значимость работы подкрепляется успешными промышленными испытаниями опытной партии разработанного связующего, проведенными на Стойленском ГОКе, что подтверждает отсутствие технологических препятствий к внедрению БПК-1А в текущее производство. Следует отметить значительный расчетный экономический эффект в 1,58 млрд.руб/год, оцененный по снижению расхода бентонита в процесс окомкования СГОКа, увеличению выхода чугуна и снижения расхода кокса при плавке полученных окатышей на Новолипецком металлургическом комбинате.

Апробация работы: основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах ИПКОН РАН, международной школе «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (г. Москва, 2022), международных совещаниях «Плаксинские чтения» (г. Москва, 2023; г. Екатеринбург, 2025), научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2023), Международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, 2023; 2025), Международной научно-практической конференции «Леоновские чтения» (г. Иркутск, 2024), Международном металлургическом саммите «Металлы и Сплавы» (г. Алматы, 2023; г. Екатеринбург, 2023).

Рекомендуется использование полученных результатов следующими научными коллективами, инжиниринговыми центрами, университетами, занимающихся проблемами переработки железорудного сырья: НИУ «БелГУ», АО «Уралмеханобр», Кольский научный центр РАН, ФГБУ «ВИМС» и др.

Предложенные методы окомкования с применением бентополимерных композиций могут быть рекомендованы к промышленной апробации и внедрению на предприятиях черной металлургии, входящих в холдинги АО «ХК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»», ПАО «Северсталь», АО «Уральская Сталь» и др.

Замечания:

1) В автореферате на странице 12 утверждается, что повышение прочности окатышей, несмотря на увеличение пористости, может быть связано с ускорением процесса окисления магнетита. Однако в работе не приведены результаты исследований кинетики окисления окатышей, полученных с добавками БПК.

2) Основные эффекты были получены за счет уменьшения количества связующего, что, в свою очередь, приводит к необходимости контроля гомогенности распределения добавки при смешивании. В работе данному вопросу не уделено внимания.

Заключение

Диссертация Ветюгова Д.А. 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».

Работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (в актуальной редакции постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842), предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Ветюгов Даниил Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9 – «Обогащение полезных ископаемых» (технические науки).

Результаты диссертационного исследования Ветюгова Даниила Александровича «Разработка высокоэффективного метода окомкования железорудных концентратов на основе бентополимерных композиций» доложены и обсуждены на заседании кафедры обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья НИТУ МИСИС (протокол №1-26 от 27.01.2026 г.).

Заведующий кафедрой
обогащения и переработки
полезных ископаемых и
техногенного сырья, д.т.н., доцент


Ю.В. Конюхов

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертации Ветюгова Д.А.

на тему «Разработка высокоэффективного метода окомкования железорудных концентратов на основе бентополимерных композиций»

по специальности 2.8.9 «Обогащение полезных ископаемых» (технические науки)

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	НИТУ МИСИС
Почтовый индекс, адрес организации	119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.
Телефон	+7 495 955-00-32
Список основных публикаций сотрудников организации по теме диссертации	<ol style="list-style-type: none">1. Чантурия Е. Л., Гзогян С. Р. Современное состояние теории и практики получения высококачественных магнетитовых концентратов //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – №. S4-22. – С. 3-31.2. Чылбак-оол Е. Д., Конюхов Ю. В., Дмитракова У. В., Николаев А. А., Сизова А. С. Применение флокулянтов для повышения эффективности фильтрования железорудных концентратов с низким содержанием SiO₂ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 10. – С. 37–47.3. Anna Godymchuk, Alexey Ilyashenko, Yury Konyukhov, Peter Ogbuna Offor, Galiya Baisalova. Agglomeration and dissolution of iron oxide nanoparticles in simplest biological media[J]. AIMS Materials Science, 2022, 9(4): 642-652.4. Kargin D.B., Konyukhov Y.V., Biseken A.B., Lileev A.S., Karpenkov D.Y. / Structure, Morphology and Magnetic Properties of Hematite and Maghemite Nanopowders Produced from Rolling Mill Scale // Steel in Translation, 2020, 50(3), стр. 151–158.5. Юшина, Т. И., Чантурия, Е. Л., Думов, А. М., & Мясков, А. В. (2021). Современные тенденции в развитии технологий переработки железных руд. Горный журнал, (11), 75-83.6. Чантурия, Е. Л., Рязанцева, М. В., Томская, Е. С., Вишкова, А. А., Новикова, Н. Г., & Краснов, А. Н. (2012). О перспективах использования электрохимической технологии водоподготовки и обработки реагентов для повышения эффективности флотационного обогащения черновых магнетитовых концентратов на примере железистых кварцитов. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), (S4-22), 32-47.7. Шехирев Д.В., Чантурия Е.Л., Исмагилов Р.И., Рахимов Х.К. Флотометрический анализ обратной флотации рядового железорудного концентрата разными расходами катионного собирателя. Обогащение руд. 2024. № 2. С. 12-19.

8. Nguyen T.H., **Konyukhov Y.V.**, Nguyen V.M., Lileev A.S., Tang V.P. / Use of Iron Nanopowders and High-Energy Mechanical Treatment of Blend for Raising the Density of Articles Obtained by Spark Plasma Sintering // *Metal Science and Heat Treatment*, 2021, 63(3-4), стр. 214–219
9. **Nikolaev, A. A.** (2019). Flotation recovery of toner containing iron oxide from water suspension. *Minerals Engineering*, 144, 106027.
10. Khanna, R., **Konyukhov, Y.**, Li, K., **Zinoveev, D.**, Liang, Z., Maslennikov, N., ... & Zhang, J. (2025). A Novel Strategy for Extracting Iron Values from Iron-Lean Red Mud Toward Enhanced Resource Recovery and Recycling of Industrial Wastes. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 11(3), 3201-3219.
11. **Goryachev, B. E.**, **Nikolaev, A. A.**, & Il'sina, E. Y. (2010). Analysis of flotation kinetics of particles with the controllable hydrophobic behavior. *Journal of Mining Science*, 46(1), 72-77.
12. Рахимов Х.К., **Чантурия Е.Л.**, **Шехирев Д.В.** Использование электрохимических воздействий в процессе флотационного дообогащения рядового железорудного концентрата. *Горные науки и технологии*. 2024. Т. 9. № 1. С. 21-29.
13. Исмагилов Р.И., **Чантурия Е.Л.**, **Шехирев Д.В.** Прогнозная оценка технологических показателей при обогащении железистых кварцитов. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2022. Т. 14. № 4 (54). С. 529-545.
14. Бочаров, В. А., & **Игнаткина, В. А.** (2007). О роли железа и его соединений в процессах обогащения сульфидных руд цветных и благородных металлов. *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*, (5), 4-12.
15. Nguyen V.M., Karunakaran G., Nguyen T.H., Kolesnikov E.A., Alymov M.I., Levina V.V., **Konyukhov Y.V.** / Enhancement of structural and mechanical properties of Fe + 0.5 % C steel powder alloy via incorporation of Ni and Co nanoparticles // *Letters on Materials*, 2020, 10(2), стр. 174–178. BAK/Scopus/WoS