

На правах рукописи



ЛЕБЕДЕВ АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТВАЛЬНОГО БОКСИТОВОГО ШЛАМА
ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА
В ПРОЦЕССЕ ГРАНУЛЯЦИИ
РАСПЛАВЛЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ**

Специальность 05.16.02 – Metallургия черных,
цветных и редких металлов

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург - 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Утков Владимир Афанасьевич

Официальные оппоненты:

Логинова Ирина Викторовна

доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра металлургии цветных металлов, профессор

Черкасова Маргарита Викторовна

кандидат технических наук, научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (АО), старший научный сотрудник

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Защита диссертации состоится 5 декабря 2019 в 12 ч 30 мин на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.03 Санкт-Петербургского горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия, дом. 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского Горного университета и на сайте www.spmi.ru

Автореферат разослан 4 октября 2019 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



БОДУЭН
Анна Ярославовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Переработка производственных отходов в настоящее время является одной из главных задач всех промышленных предприятий. Одними из наиболее массовых отходов предприятий цветной металлургии являются отвальные бокситовые (красные) шламы. Их продолжающееся складирование вредит окружающей среде и таит в себе риски возникновения экологических катастроф. Исследованиями и испытаниями способов их переработки достаточно продуктивно занимались такие ученые и специалисты, как И.И. Ребрик, В.Я. Миллер, А.И. Иванов, Б.Г. Злоказов, В.К. Устинов, Д.В. Ильинков, И.В. Николаев, В.М. Сизяков, В.А. Утков, Л.И. Леонтьев, С.И. Петров, С.А. Николаев, В.И. Корнеев, А.Г. Сусс, А.В. Панов, В.Ю. Бажин, В.Н. Бричкин, А.А. Голованов, О.А. Дубовиков, М.А. Гуркин, В.Л. Трушко, С.П. Яценко, И.Н. Пягай, Ю.А. Лайнер и др. Перспективным шагом в этом направлении является разработка и испытание бокситовых шламов при грануляции расплавленных шлаков черной металлургии, образующихся при выплавке чугуна в доменных печах. Данная проблема является актуальной в связи с необходимостью резкого сокращения выделений серосодержащих газов на участке грануляции шлаков. Это позволит использовать шлак в народном хозяйстве в больших количествах вместо складирования, что обеспечит не только экологический, но и экономический эффекты.

Граншлак является дефицитным материалом для получения шлакопортландцемента, он может использоваться также в дорожном строительстве, которое в России в последние годы значительно увеличивается в объемах.

Работа является важной, поскольку решает одну из ключевых задач в рамках «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» и постановление правительства о переходе на безотходные технологии.

Связь темы диссертации с научно-техническими программами.

Диссертационная работа выполнена в рамках ведущей научной школы «Комплексная переработка сырья цветных, благородных и редких металлов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Работа соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации по п. 6 «Рациональное природопользование», перечню критических технологий по п. 21 «Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и технологического характера». Ее направленность отвечает «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» по пункту «Противодействие техногенным, биогенным и социально-культурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства».

Работа выполнена в рамках научного проекта 11.4098.2017/ПЧ от 01.01.2017, реализуемого при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по теме: «Исследование процесса кондиционирования и модифицирования металлургических шламов для повышения эффективности их утилизации на основе разработки энергосберегающих и экологически безопасных технологических решений, адаптированных к современному производственному комплексу».

Цель работы. Уменьшение объемов складирования отвальных бокситовых шламов – отхода производства глинозема из бокситов с одновременным улучшением экологии доменного производства черной металлургии за счет очистки от серы промышленных газов выбрасываемых в атмосферу на переделе грануляции расплавленных шлаков.

Идея работы. Использование поглотительных свойств бокситового шлама для улучшения экологии доменного производства, на переделе грануляции расплавленных

металлургических (доменных) шлаков, с улучшением технологических свойств товарной продукции.

Основные задачи работы:

1. Исследование способности бокситового шлама улавливать соединения серы из выбрасываемых в атмосферу промышленных газов.

2. Оптимизация технологических режимов использования бокситового шлама в качестве поглотителя серы, содержащейся в промышленных газах.

3. Анализ результатов промышленных испытаний с оптимизацией технологий по очистке промышленных газов от серы и грануляции доменных шлаков с изучением свойств граншлака.

Научная новизна работы:

Выявлена поглотительная способность бокситового шлама по отношению к оксидам серы и сероводороду. Установлено, что на технологическую эффективность сокращения содержания серы, выбрасываемой в атмосферу печных газов, влияет отношение Ж:Т в шламовой суспензии. Установлено, что наибольшей поглотительной способностью из всех оксидов, содержащихся в бокситовом шламе, обладает оксид железа.

Основные защищаемые положения:

1. Технология применения отвального бокситового шлама (БШ) в виде пульпы с отношением Ж:Т около 5:1 позволяет заменять минеральные материалы для очистки отходящих промышленных газов от соединений серы в соотношении по твердому оксиду кальция извести в т.ч. известняка в соотношении $\text{CaO}/\text{БШ} = 1$.

2. Ввод отвального бокситового шлама в состав охлаждающей жидкости грануляции расплавленных серосодержащих шлаков при расходе 33- 37 кг/т позволяет уменьшить содержание сероводорода в атмосфере участков грануляции доменных печей до уровня ПДК с улучшением технологических свойств граншлака.

Методы исследований. Для проведения экспериментов были созданы две лабораторные установки по изучению поглотительной способности бокситовых шламов и установка по грануляции расплавленных шлаков. В работе использованы современные методы химических и физико-химических анализов:

рентгенофазовый (РФА), рентгеноспектральный (РСА), дифференциально-термический (ДТА), микроструктурный. Для обработки результатов исследования использовались компьютерные программы, в том числе Statistica 10.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Выявлены и обоснованы расходные коэффициенты бокситовых шламов по отношению к расплавленному шлаку, обеспечивающие сокращение выхода токсичных оксида серы и сероводорода в атмосферу гранбассейнов. Установлены требования к обеспечению максимальной эффективности взаимодействия твердой фазы бокситового шлама с газообразными оксидами серы и сероводорода, предотвращающие вынос их в атмосферу в условиях грануляции расплавленных шлаков. Определена способность бокситовых шламов заменять оксиды кальция дорогостоящих минеральных материалов. Опытными промышленными испытаниями установлено, что бокситовый шлак способен улавливать не только оксиды серы и сероводорода, но и оксиды азота отходящих газов ТЭЦ, аглофабрик и мартеновских цехов. Сокращение с помощью БШ выбросов в атмосферу оксидов серы и сероводорода на 2 порядка (до уровня ПДК) снимает ограничение по расширению производства граншлака, что приносит дополнительную прибыль от продажи граншлака, что особенно важно для дорожного строительства. Увеличение объемов работ по дорожному строительству и улучшения качества автодорог в настоящее время является одной из основных проблем России.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, обоснована большим объемом результатов лабораторных опытов и промышленных испытаний с использованием современной измерительной аппаратуры.

Апробация работы. Проведена на научно-практических мероприятиях с докладами: на Международной научной конференции «Экономические проблемы и механизмы развития минерально-сырьевого комплекса (Российский и мировой опыт)» (2-3 декабря 2015 г., Санкт-Петербург), на III Международной научно-методической конференции «Современные образовательные

технологии в преподавании естественно -научных и гуманитарных дисциплин» (11-12 апреля 2017 г., Санкт-Петербург), на VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 55-летию кафедры автоматизации производственных процессов «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов» (19-20 апреля 2017 г., Иркутск), на Научных докладах «Holistic approach in the mineral industry» Technische University Bergakademie (9-22 June 2017, Freiberg, Germany), на Научных докладах по вопросам ресурсосбережения «Целостный подход в минеральной промышленности», Технический университет на базе Фрайбергской горной академии (9-22 июня 2017 г., Фрайберг, Германия), на III Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (25-26 октября 2018 г., Санкт-Петербург), на IV Конгрессе с международным участием и научно-технической конференции молодых ученых по переработке и утилизации техногенных образований «Техноген-2019» (18–21 июня 2019 г., Екатеринбург).

Личный вклад автора:

- проведение анализа научно-технической литературы и патентного поиска;
- постановка цели, формулировка задачи и разработка методики исследований;
- создание экспериментальных установок;
- выполнение лабораторных исследований;
- обработка результатов лабораторных исследований и промышленных испытаний;
- разработка технических решений, адаптированных к условиям действующего производства грануляции шлака;
- научное обобщение результатов, их публикации.

Реализация работы.

Исходные данные для разработки регламентов организации промышленных испытаний и проектирование установок на участке грануляции доменных шлаков.

Публикации.

Опубликовано 12 печатных трудов, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России (в том числе 2 статьи в международной базе цитирования Scopus).

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 148 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 19 таблиц. Библиография включает 181 источник.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, изложена цель, сформулированы основные положения, выносимые на защиту и научная новизна работы.

В первой главе выполнен анализ актуальных и известных способов переработки и использования бокситовых шламов и анализ способов грануляции доменных шлаков.

Вторая глава посвящена лабораторным исследованиям по изучению: сорбционной способности бокситовых шламов; поведению бокситового шлама в условиях грануляции с получением нового материала.

В третьей главе представлены результаты промышленного испытания бокситового шлама в качестве поглотителя соединений серы из атмосферного воздуха на участке грануляции.

В четвертой главе приведено обоснование и рекомендации по реконструкции промышленных грануляционных установок.

В заключении приводится обобщение полученных результатов, выводы и рекомендации по материалам выполненных исследований и разработок.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Технология применения отвального бокситового шлама (БШ) в виде пульпы с отношением Ж:Т около 5:1 позволяет заменять минеральные материалы для очистки отходящих промышленных газов от соединений серы в соотношении по твердому оксиду кальция извести, в т.ч. известняка в соотношении СаО/БШ = 1.

Для исследования сорбционных свойств выбрано одиннадцать образцов материала бокситового шлама, полученного в процессе различных технологий на разных глиноземных предприятиях. Это позволит определить наиболее универсальный состав, с дальнейшей доработкой технологии глиноземного производства, что позволит массово использовать складированный отработанный материал в полезных для производства целях.

Для сравнения и определения наиболее оптимального состава сорбента предложены образцы шламов, байеровского (образцы 1-4 и 7), спекательного (образцы 5, 8 и 11) и байер-спекательного производств (6, 9 и 10). Химический состав КШ значительно влияет на емкостные свойства этого материала, что наблюдается на рисунке 1.

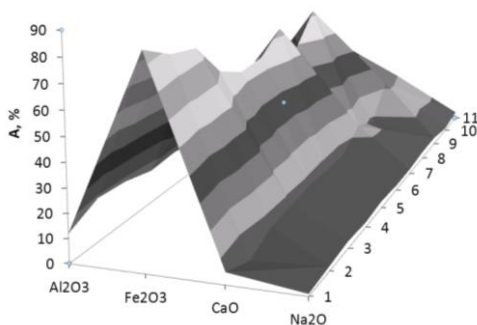
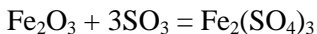
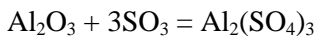


Рисунок 1 - Теоретическая емкость (A) 11 проб отвалных шламов глиноземного производства по серному газу

Для определения сорбционной способности бокситового шлама собрана установка (рисунок 2). Конструкция установки состоит из следующих элементов:

1 – печь для повышения температуры до 1000 °С и последующей выдержкой в течение 30 мин; 2 – навеска, содержащая медный колчедан; 3 – емкость в качестве накопителя, имеющего мерную шкалу для точного определения объема газовой составляющей; 4 – емкости для забора газовой составляющей; 5 – емкости для отбора проб; 6 – инструмент для дозирования раствора для определением степени насыщенности серой; 7 – насос; 8 – бак с жидкостью.

При взаимодействии серного ангидрида с бокситовым шламом протекают следующие реакции с образованием сульфатных соединений:



Проведенные предварительные испытания дали основание полагать, что при прохождении загрязненных газов через объем, наполненный материалом бокситового шлама, значительная часть серосодержащих соединений остается адсорбированной. Результаты анализа сравнения фильтрованной и нефилтрованной проб, показали разницу до 91-95 %, что является неоспоримым основанием применять исследуемый материал в качестве сорбента.

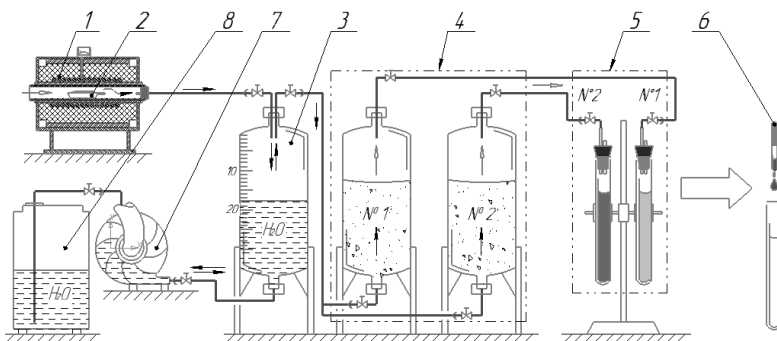
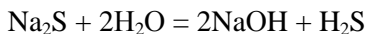
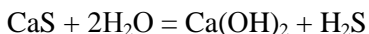
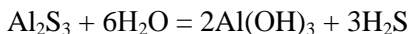
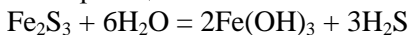
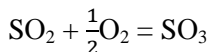
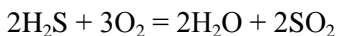


Рисунок 2 - Установка для анализа степени очистки серосодержащих газов:
 1 – печь; 2 – навеска пробы; 3 – накопитель; 4 – фильтры; 5 – проба после очистки; 6 – анализ; 7 - насос; 8 – емкость с водой

В процессе грануляции происходит выделения газов при взаимодействии с водой сульфидов металлов, что становится следствием образования пор в расплавленном шлаке. Протекают следующие химические реакции:



На втором этапе образуется сернистый газ по следующей реакции:



Следует отметить, что вода помимо участия в реакции газообразования, выполняет роль охлаждающего агента – повышает вязкость шлака и его способность удерживать газы, поэтому для правильной организации процесса необходим хороший контакт воды со шлаком. Однако, при таком быстром охлаждении происходит процесс сжатия, который вызывает внутренние напряжения, в результате чего при достижении критического значения происходит взрывание частиц гранулированного шлака, и серосодержащие газы удаляются из объема материала (рисунок 3).

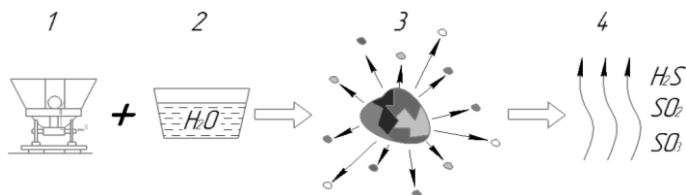


Рисунок 3 - Образование газообразных серосодержащих выделений в ходе процесса грануляции шлака: 1 – шлак; 2 – бассейн с водой; 3 – грануляция; 4 – выделение серосодержащих соединений

Для решения проблемы улавливания сернистых соединений предложено в технологический цикл грануляции шлака добавлять предварительно подготовленный бокситовый шлам. В бассейн с водой, который содержит специальные добавки, сливается расплавленный шлак. В результате этого процесса наблюдается улавливание значительной части сероводорода и сернистых газов.

В ходе проведенных испытаний было показано, что бокситовый шлам может почти на 100 % заменять дорогостоящую известь Ca(OH)₂ (рисунок 4), при производстве которой образуется большое количество парниковых газов.

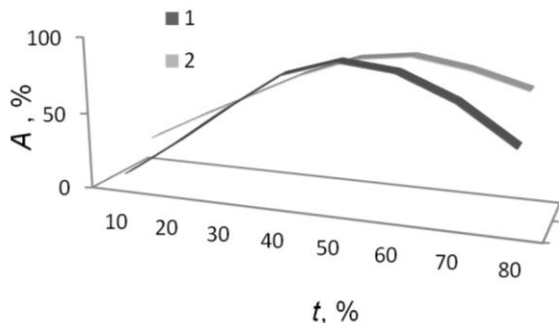


Рисунок 4 - Адсорбционная способность БШ по SO_2 (A) от времени (t):
1 – известковые растворы; 2 – пульпа с БШ

Этот рисунок свидетельствует о том, что наибольшей поглотительной способностью по серосодержащим газам обладает оксид железа. Результаты расчетов емкости бокситовых шламов показаны на рисунке 5.

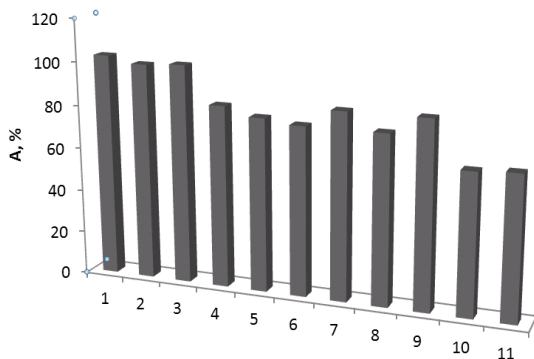


Рисунок 5 - Общая теоретическая емкость (A) 11 проб отвальных шламов глиноземного производства по серному газу

2. Ввод отвального бокситового шлама в состав охлаждающей жидкости грануляции расплавленных серосодержащих шлаков в количестве 33-37 кг/т позволяет уменьшить содержание сероводорода на участке грануляции на 2 порядка (до уровня ПДК) с улучшением технологических свойств граншлака.

Материалом для исследования служили шлаки различных производств, указанные в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав шлаков различного производства

Вид шлака	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO	FeO+ Fe ₂ O ₃	Модуль основности
доменный	39,0– 42,0	32,0– 40,0	6,0– 9,0	7,0– 10,0	7,0– 11,0	0,2– 0,3	3,0– 7,0	1,0>
мартеновский	24,0– 28,0	24,0– 25,0	4,0– 5,0	8,0– 11,0	6,0– 7,0	1,0– 2,0	13,0– 27,0	1,2– 1,8

Охлаждение шлака в водной среде сопровождается образованием и выделением перегретого пара, а также рядом от физико-химических взаимодействий, которые поясняются рисунком 6.

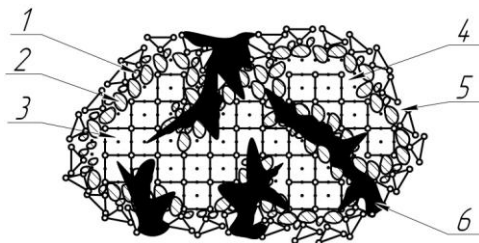


Рисунок 6 - Схема строения крупной гидратированной частицы шлака:
 1 – отрицательно заряженные глинистые частицы в диффузионном слое;
 2 – положительно заряженные частицы гидроксида алюминия в адсорбционном слое, контактирующие с поверхностью ядра; 3 – кристаллическая решетка ядра, состоящая из оксидов металлов; 4 – адсорбционный слой; 5 – диффузионный слой; 6 – пористость

Грануляция шлаков сопровождается выбросами высокотоксичных загрязняющих веществ. Это связано с химическим составом шлака, в котором сера содержится в пределах 0,01-3,50 % (таблица 2). В результате водной грануляции расплава шлака находящаяся в шлаке сера переходит в газовую фазу в виде H₂S и SO₂.

Таблица 2 - Расчетные данные удельных выбросов соединений серы при производстве различных видов шлаковой продукции

Вид шлакового продукта	Тип установки	Удельный выброс, кг/т	
		H ₂ S	SO ₂
Граншлак	Гидрожелобная	0,10–0,40	0,04–0,08
Пемза	Гидроэкранный с барабанным холодильником	3,00–4,00 0,30–0,70	1,40–3,30 0,70–2,60
Щебень	Траншеи	0,05–0,10	0,10–0,20

Необходимо обезвредить парогазовые выбросы шлакоперерабатывающих предприятий с целью защиты окружающей среды и обеспечения нормальных условий труда. Вредные сернистые выбросы рассеиваются на уровне поверхности земли, что повышает степень загрязнения на рабочих площадях и близлежащих районах. Причем, количество этих выбросов и интенсивность их выделения обуславливаются составом шлаков и условиями их обработки. В технологии грануляции доменного шлака основным токсичным веществом является H₂S.

Рекомендуется ввод с охлаждающей жидкостью специальных добавок, в т.ч. дорогостоящей извести и тонкомолотого известняка. Их применение приближает выделение серосодержащих соединений к уровню ПДК для H₂S, который составляет 10 мг/м³.

В данной работе были проведены исследования по определению поглотительной способности менее дорогостоящих бокситовых шламов. Для этого была создана специальная лабораторная установка (рисунок 7) и испытаны емкостные свойства пульпы бокситового шлама с различным соотношением Ж:Т.

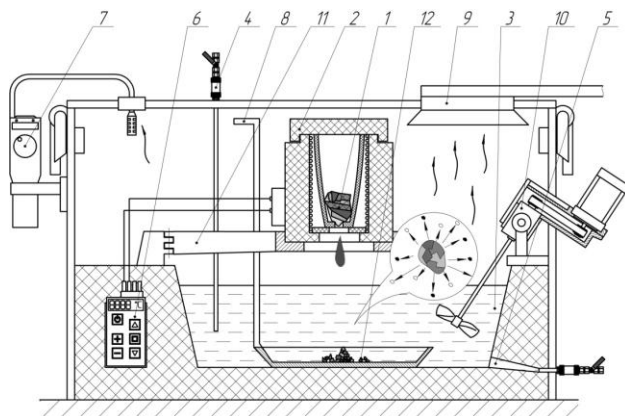


Рисунок 7 - Схема лабораторной установки грануляции шлака (описание в тексте)

Металлургический шлак 1, расплавленный в печи 2, установленной на подвижный кронштейн 11, попадал в среду охлаждающей жидкости, где происходило разрушение частиц шлака и оседание гранул 12 на сите 8. Управление процессом осуществляется посредством пульта управления 6. Часть потока газовой составляющей удаляется из пространства установки через газоотвод 9. Другая часть фиксируется газоанализатором 7 для установления концентрации вредных примесей в атмосфере установки.

Изменение состава материала по основным компонентам приведено на рисунке 8. Это свидетельствует о том, что чем выше концентрация бокситового шлака в жидкой фазе, тем больше адсорбируется соединений серы на поверхности и в объеме частиц граншлака, количество которого при выпаривании уменьшается. Установлено, что наибольший эффект дает Ж:Т = 5:1.

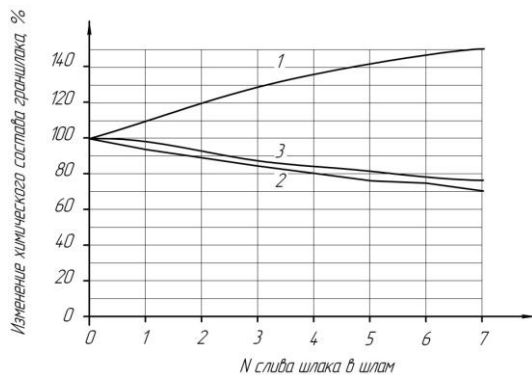


Рисунок 8 - Изменение химического состава граншлака по основным компонентам: 1 – Al₂O₃, 2 – SiO₂, 3 – CaO (за 100% принимается состав обычного граншлака)

Граншлак изначально является высоковлажным материалом. Для потребителей влага должна быть значительно уменьшена. Кинетику сушки полученных в промышленных условиях граншлаков определяли на приборе «АКИП-9302» с ИК-измерителем (Россия). Полученные кривые приведены на рисунке 9. Они свидетельствуют о том, что скорость сушки граншлака с бокситовым шламом (шламошлак) выше, чем у обычного, что объясняется его повышенной плотностью.

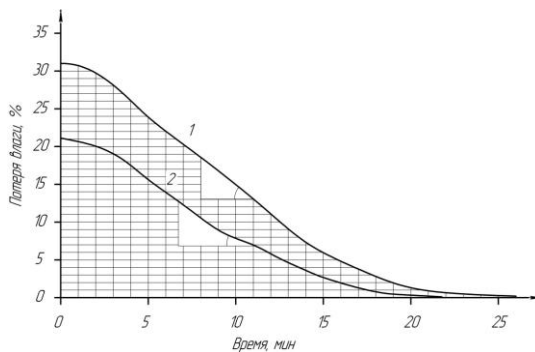


Рисунок 9 - Скорость сушки: 1 – шламошлак, 2 – граншлак

В то же время, шламошлак легче размалывается, что дает экономию энергии (рисунок 10) на переделе размала шлакопортландцемента. Время помола до крупности $-0,08$ мм шламошлака по сравнению с обычным граншлаком, меньше в 1,5 раза (60 минут против 95). Последний уступает и по удельной поверхности ($\text{см}^2/\text{г}$): 3913 против 4275. Это положительно отражается на удельном количестве электроэнергии, а также на качестве цемента.

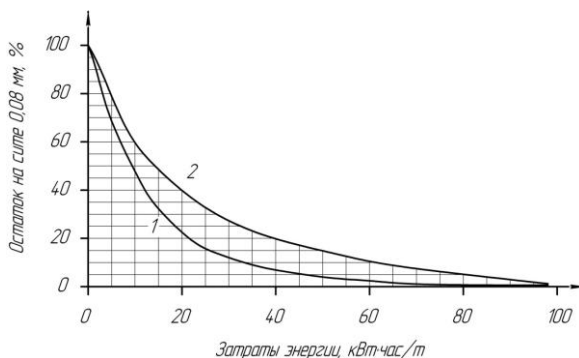


Рисунок 10 - Кинетика размала: 1 – шламошлак, 2 – граншлак

В итоге скорость сушки модифицированного граншлака увеличивается на 25 %, по сравнению с обычным граншлаком, а усилия на размол материала снижаются на 15 %.

Для определения концентрации примесей в воздухе атмосферы установки использовался портативный прибор «ПГА-200» (Россия). Снижение концентрации сероводорода в паровоздушных выбросах снижается до $8-10 \text{ мг}/\text{м}^3$, т.е. в 50-100 раз до уровня ПДК.

Результаты исследования процесса грануляции с применением добавки бокситового шлама показали положительный экологический и экономический эффекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты выполненных исследований:

1. Лабораторными, крупнолабораторными и опытно-промышленными испытаниями впервые показана возможность совместной безотходной переработки отвальных бокситовых шламов и доменных шлаков вместо их складирования с существенными экологическим и экономическим эффектами.

2. Разработаны и использованы соответствующие методики исследования и испытаний (определения поглотительной способности материала по серосодержащим соединениям, определения оптимального состава охлаждающей жидкости для грануляции граншлака).

3. Установлено, что все виды бокситовых отвальных шламов могут заменять дорогостоящие минеральные известь и известняк, используемые для очистки газов от серосодержащих соединений.

4. Выявлены оптимальные технологии подготовки бокситовых шламов для использования в качестве поглотителя соединений серы, выделяющихся в атмосферу, в том числе в процессе грануляции расплавленных шлаков.

5. Опытно-промышленными испытаниями определено, что бокситовый шлак способен улавливать не только соединения серы, но и азота, из отходящих газов ТЭЦ, аглофабрик и мартеновских цехов, заменяя дорогостоящие минералы известняк и известь. Показано, что в условиях работы гранбассейна (градиенты температур, наличие острого пара) транспортабельный кусковой бокситовый шлак репульпируется без специальной подготовки, а концентрация бокситового шлама в охлаждающей жидкости (Ж:Т) может колебаться в оптимальных пределах от 5:1 до 30:1, обеспечивая снижение концентрации серосодержащих газов в атмосфере гранбассейна до уровня ПДК.

6. Установлено, что оптимальный расход бокситового шлама на 1 т доменного расплавленного шлака при его грануляции для снижения концентрации сероводорода в 50-100 раз до уровня ПДК составляет порядка 35-40 кг/т.

7. Установленный технологический режим грануляции доменного шлака с применением бокситовых шламов, снимает ограничение по расширению его производства.

8. Граншлак пользуется большим спросом, что особенно важно для дорожного строительства России, потребность в котором многократно превышает существующие производства. По выполненным расчетам только на предприятиях цветной (УАЗ, БАЗ) и черной (ММК, НТМК, НЛМК, Северсталь) металлургии экономический эффект суммарно составит не менее 20 млрд. руб./год с существенным улучшением экологии производства.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

1. Лебедев А.Б. Применение красного шлама в качестве модификатора при грануляции металлургических шлаков / А.Б. Лебедев, В.А. Утков, В.Ю. Бажин // Вестник ИрГТУ. 2019. Т. 23, № 1. С. 158–168.

2. Лебедев А.Б. Использование спеченного сорбента для удаления сероводорода из отходящего промышленного газа при грануляции металлургических шлаков / А.Б. Лебедев, В.А. Утков, В.Ю. Бажин // Записки Горного института. 2019. Т. 237. С. 292-297.

3. Lebedev A.B. Use of dumped red mud of alumina industry at granulation of the molten sulfur-containing blast furnace slag / A.B. Lebedev, V.A. Utkov, O.A. Kaygorodova // Periódico tché química. 2019. Vol. 16, № 31. P. 837–845.

4. Лебедев А.Б. Экономические проблемы переработки отходов производства глинозема из бокситов – красных шламов / А.Б. Лебедев, В.А. Утков // Экономические проблемы и механизмы развития минерально-сырьевого комплекса (Российский и мировой опыт): сб. тр. международной конференции. - СПб.: РИЦ Горного университета, 2015. С. 219.

5. Лебедев А.Б. Улучшение условий труда на площадке грануляции расплавленных шлаков с использованием красных шламов / А.Б. Лебедев, В.А. Утков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. Т.2. № 4 (5-2). С. 224-230.

6. Лебедев А.Б. Экономические проблемы переработки отходов производства глинозема из бокситов – красных шламов / А.Б. Лебедев, В.А. Утков // Экономические проблемы и механизмы развития минерально-сырьевого комплекса (Российский и мировой

опыт): сб. тр. междунар. конф. СПб.: РИЦ Горного университета. 2015. С. 219.

7. Лебедев А.Б. Технологические риски: вопросы методологии / А.Б. Лебедев, В.А. Утков // Современные образовательные технологии в преподавании естественно-научных и гуманитарных дисциплин: сб. материалов III Междунар. научно-методическая конф. СПб. 2016. С. 56-58.

8. Лебедев А.Б. Улучшение условий труда на площадке грануляции расплавленных шлаков с использованием красных шламов / А.Б. Лебедев, В.А. Утков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. Т.2. № 4 (5-2). С. 224-230.

9. Лебедев А.Б. Возможности очистки печных газов от оксидов серы и азота путем использования отвальных красных шламов / А.Б. Лебедев, В.А. Утков, В.Ю. Бажин // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов: сб. материалов VII Всероссийской научно-практической конф. с международным участием, посвященной 55-летию кафедры автоматизации производственных процессов. СПб.: РИЦ Горного университета. 2016. С. 112.

10. Лебедев А.Б. Получение оксида иттрия из отходов глиноземного производства // Журнал будущего. Август. №1. 2016. С. 30-31.

11. Лебедев А.Б. Использование отвальных красных шламов глиноземного производства при грануляции расплавленных серосодержащих промышленных шлаков / А.Б. Лебедев, В.А. Утков, В.Ю. Бажин // Техноген-2019: сб. материалов IV Конгресса с междунар. участием и научно-технической конф. молодых ученых по переработке и утилизации техногенных образований. Екатеринбург. 2019. С. 409-412.

12. Lebedev A.B. Interaction of moltened slag with solid phase of red mud / A.B. Lebedev, V.A. Utkov // Scientific Reports on Resource Issues. Holistic Approach in the Mineral Industry. Freiberg. Germany. 2017. Vol. 1. P. 422-426.