

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»



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

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, проф.
Утков Владимир Афанасьевич

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1. Актуальность переработки бокситовых шламов.....	11
1.2. Актуальность улучшения экологии доменного производства за счет очистки газов от серы на переделе грануляции доменного шлаков.....	32
1.3. Применяемые технологии припечной грануляции.....	39
Выводы и рекомендации к 1 главе.....	45
ГЛАВА 2 ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТВАЛЬНЫХ БОКСИТОВЫХ ШЛАМОВ.....	46
2.1. Результаты изучения поглотительной способности бокситового шлама...	50
2.2. Проведение испытаний.....	52
2.2.1. Методология проведения испытаний на поглотительную способность материала.....	54
2.2.2. Объект исследования.....	55
2.2.3. Результаты промышленных испытаний на участке грануляции шлака	57
2.3. Анализ результатов промышленных испытаний.....	61
2.2.1. Исследование поведения бокситового шлама в условиях грануляции	63
2.2.2. Методика исследования поведения бокситового шлама в условиях грануляции.....	64
2.2.3. Результаты изучения поведения бокситового шлама в условиях грануляции.....	71
2.2.4. Результаты испытаний при грануляции шлака.....	74
Выводы по главе 2.....	76

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТВАЛЬНЫХ БОКСИТОВЫХ ШЛАМОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИИ НА ПЕРЕДЕЛЕ ГРАНУЛЯЦИИ РАСПЛАВЛЕННЫХ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ И УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ	78
3.1. Очистка от серы	78
3.1.1. Методика проведения работ по определению технологических свойств гранулированного шлака	79
3.1.2. Методы очистки от серы	84
3.1.3. Результаты очистки от серы	89
3.1.4. Использование бокситового шлама в очистных установках при очистке отходящих промышленных газов	91
3.2. Улучшение технологических свойств товарной продукции	92
3.2.1. Методика получения нового материала при грануляции шлака	92
3.2.2. Получение нового материала при грануляции шлака	95
3.2.3. Экологический эффект на участке грануляции шлака	96
Выводы по главе 3	97
ГЛАВА 4 АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПОЦЕССА И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ	99
4.1. Аппаратурно-технологическая схема	99
4.2. Подготовка бокситового шлама для транспортировки	101
4.3. Расчет экономического эффекта при использовании бокситового шлама на участке грануляции расплавленных шлаков	103
4.4. Рекомендации по промышленным испытаниям	103
Выводы по главе 4	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	108

ПРИЛОЖЕНИЕ	127
РАЗРАБОТАННЫЕ НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПАТЕНТОВАНИЕ	127
Учебная установка для лабораторных исследований по поглощению соединений серы из промышленных газов	127
Вязущее на основе бокситового шлама.....	131
Способ окускования бокситового шлама и приспособление для его осуществления.....	134
Способ получения гранулированного поглотителя серы	138
Способ сокращения паро-газовых выбросов при грануляции шлаков	142
Способ и установка для грануляции шлаков	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Использование отходов черной и цветной металлургии являются актуальной задачей. Использование доменных шлаков черной металлургии дает возможность получать материалы для строительной отрасли. Утилизация отходов производства цветной металлургии дополнительно открывает возможности для получения новых материалов.

Шлаки доменного производства с пониженным содержанием оксида кальция имеют более спеченную структуру, что позволяет их использовать для изготовления шлаковой пемзы, литого щебня, а также для изготовления шлаковой ваты. Обычно для получения 2 м³ шлаковой пемзы необходимо переработать около 1 т шлака. Кислые шлаки имеют в своем составе повышенное содержание кремнезема и глинозема, что дает наилучшие условия для вспучивания материала по сравнению с другими шлаками, которые тоже обладают этим свойством, но в меньшей степени. Из шлаков, склонных к силикатному распаду, также можно производить вышеуказанные продукты, но для этого потребуется больший объем затрат на операции технологического комплекса [1–6].

Целесообразно подвергать грануляции шлаки, имеющие высокое содержание кальция. Высококальциевый шлак, прошедший грануляцию, может быть использован для производства продуктов цементной отрасли. Закристаллизовавшиеся кислые шлаки устойчивы к повышенным температурам, проявляют стойкость в щелочных и кислых средах. Благодаря таким свойствам, их применяют для изготовления жаростойких марок цементов, а также для цементов, используемых в железобетонном строительстве, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию агрессивной среды [7–12]. При производстве шлакопортландцемента наилучшим полуфабрикатом служит шлак доменного производства, который проходит процесс грануляции, что является подготовительной операцией для дальнейшего использования.

Гранулированные шлаки являются активным материалом для взаимодействия с другими веществами, поэтому после дополнительной

термической обработки получают высококачественные цементы. Производство цемента не требует больших затрат и многочисленных производственных операций. Вся технология складывается из просушки гранулированного шлака и его дроблении примерно до значений $3000\text{--}5000\text{ см}^2/\text{г}$ (тонкость помола значительно выше, чем у обычных цементов) [9,13–18].

Гранулированные шлаки также применяют при производстве шлакопортландцемента как специальной добавки для повышения прочности, трещиностойкости и теплостойкости бетонов. В производстве шлакощелочных цементов также применяется гранулированный шлак.

Применение шлаков цветной металлургии также решает проблему их утилизации. После извлечения драгоценных металлов из шлаков цветной металлургии песок, гравий и щебень не подвержены распаду, что открывает широкий спектр применения. Никелевые шлаки относятся к кислым и являются гидравлически неактивными. Средняя плотность шлаков медного производства (значения также высоки и для никелевых шлаков) – $3300\text{--}3800\text{ кг/м}^3$, водопоглощение – $0,1\text{--}0,6\%$, предел прочности при сжатии составляет $120\text{--}300\text{ МПа}$. Водорастворимые соединения в алюминиевых шлаках составляют $75\text{--}85\%$ от массы. После длительной выдержки на открытых воздушных пространствах или в воде происходит выщелачивание материала, после чего его можно использовать как сырье для производства сульфоалюминатного клинкера [19–24].

Шлаки цветной металлургии пользуются меньшим спросом по сравнению со шлаками черной металлургии, но в перспективе возможно их использование в производстве различных строительных материалов.

Из $1,7\text{--}2\text{ т}$ железной руды и флюсов выход чугуна и шлама составляет, соответственно, 1 т и $0,6\text{--}0,7\text{ т}$. На 1 т выплавленной стали приходится $0,2\text{--}0,3\text{ т}$ шлака из $2\text{--}2,3\text{ т}$ железной руды и плавней. В ваграночных и электропечах выход шлаков составляет $0,1\text{--}0,4\text{ т}$ на 1 т металла [25–30].

Одной из актуальнейших проблем цветной металлургии являются переработка бокситовых шламов (БШ) – отхода производства глинозема из бокситов [31,32]. БШ являются наиболее массовым отходом предприятий цветной

металлургии. На 1 т глинозема приходится от 1 до 2,5 т БШ. До настоящего времени этот материал не используется, а складывается в многотоннажных шламохранилищах, наносящих вред окружающей среде. Прорыв ограждающей дамбы приводит к крупной экологической катастрофе [33,34]. Все передовые организации, в настоящее время, занимаются переработки БШ, что бы строить не шламохранилища, а комплексы по отгрузке БШ потребителям в полном объеме образования этого отхода. Этой работой занимаются и специалисты факультета минерального сырья Санкт-Петербургского горного университета [35,36]. Всего проведено более 30 промышленных испытаний. В данной работе приведены результаты по использованию БШ в целях улучшения экологии процессов цветной и черной металлургии. Это достигается за счет применения БШ в качестве реагента для поглощения соединений серы, содержащихся в выбрасываемых в атмосферу промышленных газов.

В данной работе приведена сравнительная оценка показателей экспериментальной емкости бокситового шлама с показателями щелочной и полной емкостей. Что обосновывается явлением образования химических соединений, крупностью частиц и концентрацией в воде характеристика Ж:Т), способствующих либо препятствующих процессу поглощения. Установлена возможность замены извести и известняка, которые традиционно используются в процессе очистки промышленных отходящих газов от соединений серы, на бокситовый шлам. Исследование открыло возможности доизвлечения полезных компонентов из состава материала.

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 соединений серы, содержащихся в выбрасываемых в атмосферу промышленных газах.
3. Анализ проведенных результатов промышленных испытаний по очистке от соединений сернистых газов, образующихся при грануляции доменных шлаков, включая технологические сводки полученных граншлаков.

Научная новизна. 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.

Практическая значимость работы. Расширяются возможности использования БШ вместо складирования. Заменяются дорогостоящие минеральные вещества известь и известняк в составе охлаждающей жидкости при грануляции расплавленных шлаков. Улучшается экология предприятий черной и цветной металлургии. Граншлак, полученный с участием бокситового шлама (шламошлак), имеет улучшенные технологические свойства: повышает скорость сушки и снижает затраты на измельчение шламошлака.

Личный вклад автора. Постановка цели, формулировка задач и разработка методики исследований; в проведении анализа научно-технической литературы и патентного поиска; выполнение лабораторных исследований и разработка технических решений, адаптированных к условиям действующего производства грануляции шлака; создание экспериментальной установки, проведение экспериментов и обработке результатов лабораторных исследований и промышленных испытаний; научное обобщение результатов, их публикация и апробация.

Методы исследований. В работе используются современные методы химических и физико-химических анализов: рентгенофазовый (РФА), рентгеноспектральный (РСА), дифференциально-термический (ДТА), микроструктурный. Теоретические обобщения и математический анализ данных выполняется при помощи компьютерной программы Statistica 10.

Обоснованность и достоверность. В выводах диссертационной работы обеспечивается использование современной экспериментальной техники. Использование вновь созданных экспериментальных установок и анализом результатов проведенных промышленных испытаний. Обработан

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных трудов, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, 2 входящих в перечень SCOPUS.

Апробация работы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались и обсуждались на IX Санкт-Петербургский конгрессе «Профессиональное образование, наука, инновации в XXI веке»; на III Международной конференции «Современные образовательные технологии в преподавании естественно-научных и гуманитарных дисциплин»; на конференции «Экономические проблемы и механизмы развития минерально-сырьевого комплекса»; на 3-й Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в 21 веке»; на Международной научной конференции, на базе Фрайбергской горной академии (Германия, г. Фрайберг, 2017 г.); внедрялись на двух металлургических комбинатах («Северсталь» и «Запорожсталь»).

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 148 страницах. Содержит 43 рисунка, 19 таблиц, список литературы 181 источник.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Актуальность переработки бокситовых шламов

Глиноземное производство характеризуется в индустрии развитых стран производящих алюминий. Основным сырьем служит боксит. Его остаток – бокситовый шлам складировается в шламохранилищах (шламонакопителях). В большинстве случаев они размещаются в шламохранилищах с влажностью более 50 % (массовое отношение твердого к жидкому Ж:Т от 3,5:1 до 10:1), а наращивание ограждающей дамбы осуществляется намывом песчаной фракции [31,37–40]. Твердая фаза шламов глиноземного производства не токсична. Жидкая фаза является агрессивной, поскольку содержит 4-15 г/дм³ натриевой каустической щелочи и рН до 12,9.

Площади шламохранилищ занимают сотни гектаров, высоты достигают 30-35 м для бокситового «красного» шлама и 100 м для нефелинового. В случае чрезвычайной ситуации и прорыва ограждающей дамбы как действующего, так и закрытого шламохранилища, такой материал способен залить большие прилегающие производственные и другие площади, перекрыть дороги, загрязнить водоемы и подземные воды и т.д.

Влияние шламохранилищ глиноземного производства на окружающую среду выражается в пылении и брызгоуносе при сильных ветрах и тепловом воздействии.

Пыление пляжей при обычном складировании подавляется их затоплением и подтоплением, а также может предотвращаться орошением или разбрызгиванием закрепляющих эмульсий. Низовые откосы ярусных берм и дамб по мере наращивания закрепляются отсыпкой непылящего грунта с последующим посевом трав, или покрытием закрепителями на основе битумов. Брызгоунос щелочных вод поглощается в пределах санитарной зоны, которая составляет 100-300 м.

Тепловое воздействие шламохранилища обусловлено поступлением на него шламовой пульпы с температурой около 60°C, но, учитывая расположение глиноземных заводов в теплой и средней климатических зонах, его влияние весьма незначительно.

Естественные поверхностные воды могут загрязняться стоками дождевых вод с внешних откосов намывного шламохранилища. Поэтому по периметру шламохранилища прокладываются дренажные канавы, по которым сток транспортируется к дренажным насосным станциям. Последние перекачивают стоки в отстойный пруд, или в пруд дождевых стоков, расположенный в соответствующей зоне шламонакопителя.

Тем же путем отводится и щелочная подшламовая вода, отдавшая шламовые отложения.

Окружающая местность защищается от аварийного затопления щелочными водами дополнительной дамбой, отсыпаемой по внешнему периметру шламохранилища вне дренажной канавы и кольцевой служебной автодороги.

Геосферой на участке шламохранилища является естественное грунтовое основание, с которым ним контактирует гидросфера в виде грунтовых вод. От загрязнения грунтовых вод предусматривается сплошное экранирование всей площадки шламохранилища в пределах, ограниченных дренажной канавой.

Экранирующим материалом служит полиэтиленовая пленка толщиной от 1 мм или слой суглинка толщиной 0,6-0,8 м. На некоторых ранее построенных шламохранилищах происходит фильтрация загрязненных (щелочных) вод. Контроль загрязнения грунтовых вод осуществляется путем отбора и анализа проб воды и изменения ее уровня в специально выполненных наблюдательных и пьезометрических скважинах, размещенных по периметру шламохранилища.

Для предотвращения вредного воздействия на окружающую среду разрушения магистральных шламопроводов на трассе их от завода до шламохранилища и водоводов возврата загрязненных вод, предусматриваются мероприятия по перехвату и локализации аварийных утечек пульпы,

промывочных, возвратных и дождевых вод из трубопроводов, устройством обваловочной защитной зоны на всем протяжении трассы.

Техническая и экологическая безопасность шламоохранилищ при проектировании предусматривается нормативными повышающими коэффициентами в расчетах устойчивости ограждающих дамб, осадок основания, расходов стока, расчетов аварийной зоны оползней и проливов, пропускной способности коммуникаций и прочности конструкций, необходимого резервирования, расчетов рисков и их последствий, устройством приборов мониторинга безопасности.

Во время строительства и эксплуатации должны соблюдаться проектные схемы возведения дамб, требования местной инструкции по эксплуатации и действующих общих правил безопасности при эксплуатации гидросооружений Федерального горного и промышленного надзора, осуществляться постоянный мониторинг безопасности шламоохранилища.

Экологическое воздействие шламоохранилищ - отхода глиноземного производства байеровского бокситового шлама (БШ) минимизируется заменой наливного способа складирования на его условно «сухое» складирование (с влажностью 40-60 %).

Впервые «сухое складирование» БШ совместно разработали и внедрили на ряде заводов фирмы «Краусс-Маффей» и «Джиулини» [41–43]. Способ включает вакуумное фильтрование байеровского БШ на специально сконструированных для него барабанных фильтрах. Его транспортировку и укладку в шламонакопитель с влажностью около 45%. Экология вокруг шламонакопителя существенно улучшалась. Выпыливание и загрязнение водоемов практически исключались. Примерно в 3-4 раза уменьшались размеры площадей, отторгаемых под шламонакопители. Наполовину сокращались потери уносимых шламом глинозема и щелочей.

По поверхности шламонакопителя через 7-10 дней могли передвигаться обычные транспортные средства. Впервые появилась возможность забирать БШ для транспортировки на небольшие расстояния и переработки.

Для транспортировки на большие расстояния и широкого использования БШ с такой влажностью не годится из-за его тиксотропии - способности разжижаться при вибрации. Он вытекает из вагонов, забивает бункеры и питатели, налипает на конвейерные ленты, смерзается.

Химический состав шламов глиноземного производства по наиболее представительным компонентам и крупность приведены ниже (Таблица 1).

Таблица 1. Химический состав и крупность отвальных шламов глиноземного производства

Сырье	Способ производства	Химический состав, масс. %						Крупность (преимущ.), мкм
		Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	R ₂ O	п.п.п.	
Боксит	Байер	42-55	5-8	12-17	8-13	2-9	6-10	0-0,05
	Байер-спекание	42-47	7-10	12-15	13-16	4-8	6-7	0-0,05
	Спекание	8-21	16-20	8-10	37-42	2-3	4-5	0-10,00
Нефелиновый концентрат	Спекание	2,51	30,30	2,66	58,05	2,03	2,28	0-0,63
Нефелиновая руда	Спекание	4,20	28,50	3,20	55,30	1,90	0,90	0-1,00

В последние годы передовые фирмы применяют «сухое» складирование БШ с применением «глубокого» сгущения до влажности 50-60 %. Используются новые флокулянты и высокопроизводительные сгустители: высокие конусные и «суперсгустители» большого диаметра [44,45]. Такое складирование также сокращает площади для складирования БШ и потери уносимых шламом

глинозема и щелочей. Наполненные шламом «карты» засыпают плодородной почвой для создания защитного растительного слоя.

Бокситы содержат в небольших количествах ценные элементы: ванадий, скандий, галлий, рубидий, стронций, иттрий, ниобий, серебро, золото, платина и другие. Некоторые имеют в своем составе, в допустимых пределах, вредные вещества: мышьяк, 6-валентный хром и другие.

Ряд бокситов, в том числе высокого качества по химическому составу, имеет тонкодисперсную или рыхлую структуру, поэтому пылит при перегрузках и открытом хранении, затрудняет работу и снижает производительность сгустителей и промывателей бокситового шлама.

"Мировая глиноземная промышленность в основном перерабатывает бокситы высокого качества гидрохимическим способом Байера" (Рисунок 1) [46–48].

Этот способ наиболее экономичен. Топливо затрачивается лишь на процесс кальцинации глинозема, который и дает основную массу выбросов в атмосферу. К ним добавляются выбросы твердых веществ в атмосферу от бокситов при перегрузках и хранении в открытых штабелях.

В России месторождения качественных бокситов отсутствуют и в основном перерабатываются бокситы среднего качества способами параллельного или последовательного Байер-спекания, или прямого спекания. Способом спекания перерабатывается также нефелиновое сырье: концентрат и руда, в том числе по безотходной технологии [49,50].

Подготовка и утилизация бокситовых шламов заслуживает особого внимания. Отдельные виды бокситов и получаемые из них БШ имеют свойствами, позволяющие применять этот материал с высокой эффективностью.

Извлечение БШ в значительных объемах из шламонакопителя сопровождается рядом проблем из-за его влажности более 50% и тиксотропных свойств. При транспортировке БШ принимает более жидкий вид и вытекает из вагонов, а также наблюдается налипание на стенки транспортных емкостей, на

конвейерную ленту. При прохождении через трубопроводы и питатели БШ образует настыли, особенно при низких температурах.

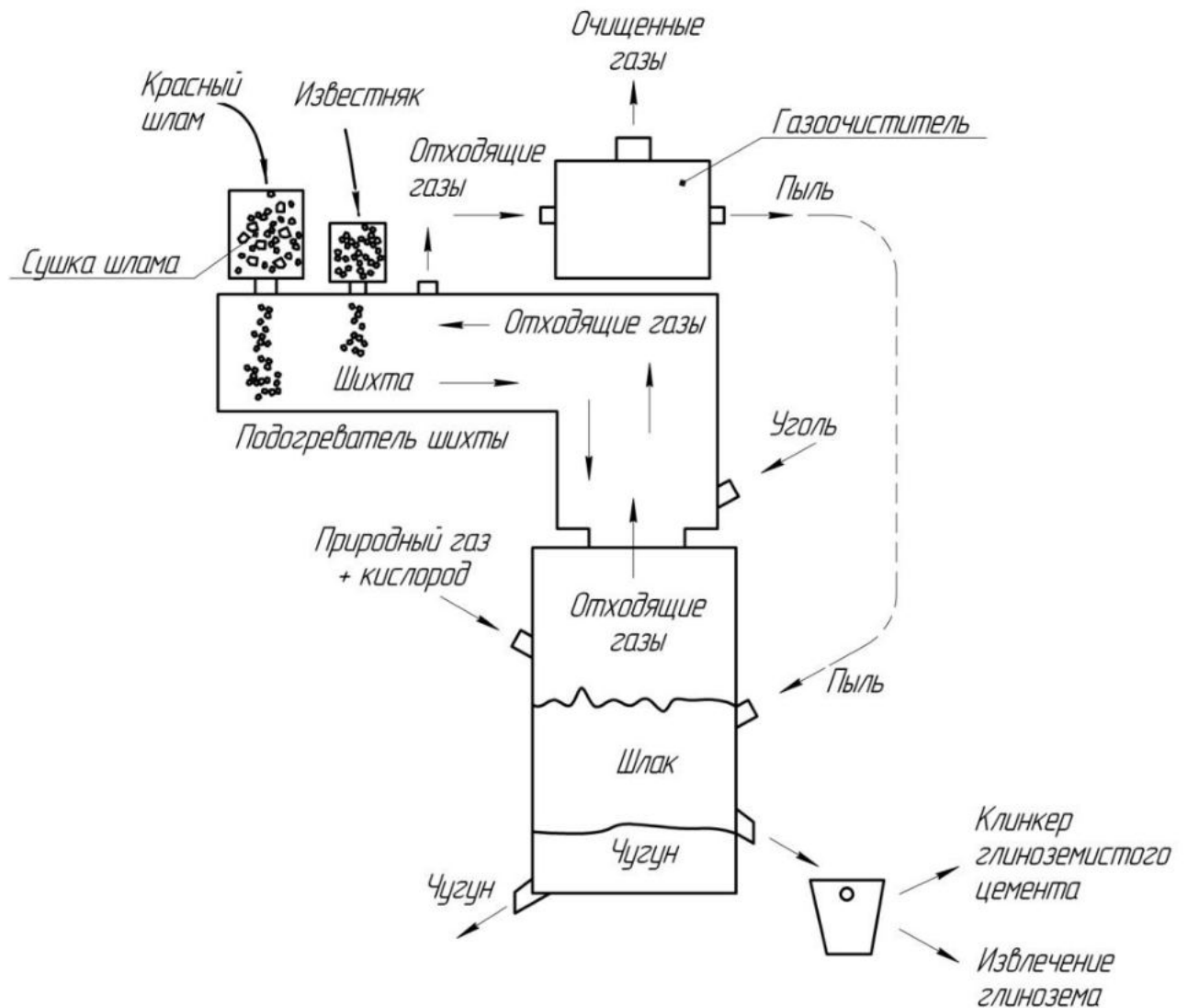


Рисунок 1. Схема переработки бокситовых шламов одностадийным процессом

Специалистами ВАМИ выполнена большая работа в области изучения обезвоживания БШ с целью его промышленной крупнотоннажной транспортировки для дальнейшей переработки. Результатом является уникальный теоретический и практический опыт в этом направлении (Рисунок 2).

вагонов, а также наблюдается налипание на стенки транспортных емкостей, на конвейерную ленту. При прохождении через трубопроводы и питатели БШ образует настывы, особенно при низких температурах.

Испытаниями ВАМИ установлено, что обезвоживание БШ в мощных сушильных камерах связано с большими затратами. Процесс усложняется тем, что при влажности около 12-15 % верхний слой материала образует пыль. Опытно установлено, что для БШ, обладающего специфическими свойствами, транспортабельная влажность принимается от 15 до 25 %. Такую степень влажности можно получать посредством фильтр-пресса.

Первые крупные партии БШ, подготовленные для транспортировки, получили специалисты ВАМИ на предприятии ДАЗ (ныне - ЗАЛК). Установка нескольких позиций фильтр-прессов типа ФПАКМ-25, долгое время способствовала эксплуатации этого оборудования на участках обезвоживания шламов при газоочистке близлежащего ферросплавного завода.

Получаемый на ЗАЛКе кек БШ, имеющий влажность до 25%, представлял собой пластину толщиной до 40мм, которая при выгрузке с фильтра разрушалась на части крупностью около 250 мм. Материал испытывался по опытному уральскому методу одновременно на всех 6 агломерационных машинах аглофабрики «Запорожстали» [51–53]. Качество агломерата с применением БШ в составе шихты заметно выросло, а производительность практически достигла прироста до 15 %. (по сравнительным провесам вагонов с обычным и опытным агломератами). Посредством акта промышленных испытаний установлено увеличение производительности до 6%, что является весьма существенным для экономики фабрики.

Институт ВАМИ впервые выполнил и реализовал проект на НГЗ строительства головной промышленной установки (ГПУ) производительностью до 20 тыс. т/год, с помощью чего на «Запорожстали» успешно выполнены промышленные испытания транспортабельного БШ с утвержденным названием «Железоглиноземистый шламофлюс» (ЖГШ), используемый в процессе доменной плавке. На ГПУ установлены основные этапы технологии

обезвоживания БШ с помощью фильтр-прессов, что необходимо для последующего проектирования и строительства на территории НГЗ промышленного комплекса по обезвоживанию, и дальнейшей отгрузке материала потребителям различных отраслей [54,55]. Несмотря на большой спрос у предприятий черной металлургии на этот материал, мощность ГПУ для постоянной отгрузки БШ является недостаточной. Общая потребность предприятия «Азовсталь» порядка 50 тыс. т/год, а спрос у ТЭО УкрГИПРОМЕЗа достигает около 1,1 млн. т/год.

Основное здание ГПУ НГЗ предназначалось для использования в качестве химического корпуса завода, складом и перегрузочным узлом, отгружающим песчаный БШ, в основном для нужд цементных заводов. В настоящее время объемы отгрузки составляет порядка 100 тыс. т/год.

Зарубежных компании также проявляют интерес к получению товарной продукции на основе БШ для ее эффективного сбыта, в качестве средства для улучшения экологии окружающей среды на производственных участках. Снижения себестоимости повысит конкурентоспособность предприятий производства глинозема [56,57].

Завершив строительство на НГЗ промышленного комплекса по фильтрации и отгрузке бокситового шлама, компания РУСАЛ-УК способна стать ведущей компанией промышленной реализации данной технологии.

Комплексная пиро-гидрохимическая безотходная переработка БШ на площадке глиноземного производства с доизвлечением щелочи и глинозема, получением литейного чугуна и цемента мало вероятно, так как это не профильные производства. Также пирометаллургические производства существенно повысят выбросы и ухудшат экологию.

В составе бокситов и, соответственно, бокситового шлама (БШ) содержатся элементы практически всей таблицы Д.И. Менделеева. Поэтому исследованию и разработке схем полной комплексной переработки этого отхода изначально уделялось наибольшее внимание, в первую очередь, имея в виду организацию этого производства на площадке глиноземного производства. Эта задача при

активном участии ВАМИ частично решена для бокситов применительно к способу Байер-спекание (ПАЗ), а также для комплексной переработки нефелинового сырья (ВАЗ, ПГК, АГК).

ВАМИ предложена технология комплексной переработки БШ. Учитывался опыт по получению качественных чугуновых изделий из БШ во вращающихся печах Круппа (Германия), а также результаты исследований по распределению химических составляющих БШ в среде металл-шлак (Югославия). Данные работы проводились "совместно с институтами Metallургии Уральского научного центра (ИМЕТ УрО РАН), и Уральского Политехнического института (УПИ, г. Екатеринбург)" [58–60].

В опытно-заводских условиях на Алапаевском металлургическом заводе (АМЗ) и на ЛОЗ ВАМИ были получены результаты исследований двух аппаратурно-технологических схем. На первой схеме (ИМЕТ УрО РАН) представлены следующие этапы:

1. Просушивание пульпы БШ с восстановлением железа во вращающейся печи № 1;
2. Плавление материала, подающегося с печи №1, во вращающуюся печь №2 с отдельной выгрузкой литейного чугуна, а также саморассыпающегося шлака, обогащенного глиноземом;
3. Извлечение глинозема из шлака при содовом выщелачивании;
4. Получение цемента из саморассыпающегося шлама.

На второй схеме (ВАМИ) присутствовали отличия от первой:

- доизвлечение из шлама щелочи посредством известковой каустификации предшествовало первой стадии;
- Плавление и выгрузка чугуна и шлака на второй стадии производилась в электропечи.

В ВАМИ было выполнено ТЭО, установившее, что по капитальным затратам и производственным площадям схема переработки бокситового шлама близка к основному производству, которое организовывать экономически выгоднее, а

увеличение мощностей печного парка на 1т глинозёма существенно увеличивает нагрузку и на экологию предприятия. Поэтому Минцветметом было принято решение о целесообразности осуществлять на площадке глиноземных заводов только подготовку БШ к отгрузке для отгрузки потребителям, в т.ч. и для комплексной переработки.

Пункт 2 результатов исследований кафедры цветных металлов УПИ предлагал поменять порядок схем на конечной стадии и посредством кислотного выщелачивания получать дорогостоящие лантан и скандий. Но при этом оставалась проблема утилизации нового, образующегося материала в виде фосфогипсового отхода, который составляет основную часть материала и является экологически вредным.

Основная сложность решения проблемы кислотной комплексной перерабатывающей технологии БШ заключается в том, что материал не является обогащенным сырьем для извлечения различных полезных компонентов. Технология комплексной переработки экономически эффективна только при условии полного сбыта всех видов товарной продукции, что делает ее конкурентоспособной. Большое количество такого продукта на мировом рынке существенно усложняет эту задачу в плане сбыта, при этом имеет место сомнительное качество продукта, что делает его невостребованным при отсутствии дефицита.

Образование более токсичных, чем БШ, отходов и в ряде случаев увеличение их количества при гидрохимической кислотной комплексной переработке БШ, приводит к увеличению затрат на ее реализацию.

С вышеуказанного, исследовательские работы на НГЗ по этому направлению были проведены совместно со специалистами ВНИИХТа, а производственные испытания выполнялись на специальных заводах Средмаша (Украина). Технология отмечена Золотой медалью ВДНХ, что определило решающее значение для принятия дирекцией НГЗ решения о реализации проекта отгрузочного комплекса БШ, а также сотрудничества с итальянской компанией

«Дж. Диффенбах» на поставку нового класса оборудования фильтр-прессов повышенной мощности.

Работы по реализации и развитию технологии кислотной переработки БШ продолжают специалисты организации ВНИИХТа, института химии УрО РАН, института металлургии им. А.А. Байкова, кафедры легких металлов УГТИ, МИСиС и др. [61–63].

В Результате досконального изучения возможных вариантов обогащения БШ специалистами организаций «Механобр» (Санкт-Петербург), ВИМСа (Москва), ВАМИ и УФ ВАМИ, установлены основные проблемы, которые сдерживают работы в данном направлении:

- весьма тонкие прораствания минералов в боксите не позволяют получать продукты с концентрацией любого из компонентов, приближающейся в достаточной степени к используемому в промышленности минеральному сырью, в т.ч. для черной металлургии;

- хвосты обогащения усложняют проблемы как эксплуатации больших шламохранилищ, так и обезвоживания оставшегося БШ для получения товарного продукта, пользующего спросом у потребителей.

- необходимость создания дорогостоящих универсальных аппаратурно-технологических схем обогащения из-за разнообразия минерального состава привозных бокситов, что вместе с высокой стоимостью полиградиентных сепараторов окончательно выводит себестоимость продукта обогащения за рамки рентабельности.

Вышеизложенные направления могут отвергаться, когда из шламов от некоторых бокситов получают концентраты золота, циркония, рутила [64,65].

Специалистами ВАМИ разработан новый способ обогащения БШ посредством гидроциклона, в процессе выделения из шламовой пульпы, которая затем возвращается в шламохранилище. Технология внедрена на предприятии НГЗ. Песчаная фракция БШ значительно богаче основной массы на наличие

железа и скандия, что позволяет ее использование при комплексной переработке, а также для нужд черной металлургии.

Песчаная фракция БШ НГЗ транспортируется посредством железнодорожной линии для цементных заводов в количестве до 100 тыс. т/год через склад и погрузочное устройство спроектированное специалистами ВАМИ головной промышленной установки (ГПУ) по приготовлению БШ для отгрузки потребителям.

На основании полученных результатов испытаний ТЭО Укрگیпромеза, спрос БШ на аглофабриках Украины может составлять около 1 млн. т/год. На НГЗ построена головная промышленная установка (ГПУ) по приготовлению транспортабельного БШ производительность которой составляет 20 тыс. т/год. Результаты представительных промышленных испытаний доменной плавки получены на «Запорожстали». По рекомендации комбината товарный продукт на основе БШ был представлен в виде смеси с известью и известняком: «Железоглиноземистого шламофлюса» (ЖГШ), который отличается лучшей транспортабельностью и повышенной дозирующей способностью.

Всего специалистами ВАМИ организованы и проведены 16 опытно-промышленных и промышленных испытаний только по агломерации, в т.ч. на 8 промышленных предприятиях, а также с доменной плавкой - на 4 предприятиях. С помощью накопленного опыта они способны доказать, что в условиях любого металлургического предприятия положительные физико-химические свойства БШ (при соблюдении разработанной технологии) перекрывают в сумме негативные моменты, связанные с его химическим составом.

Улучшение качества окучкованного сырья традиционно является важным резервом черной металлургии.

Производимые агломераты и окатыши обладают низкой механической прочностью. Их загружают в доменные печи с содержанием мелочи (0-5 мм): от 15 до 25 %. Агломераты и окатыши имеют также недостаточную «горячую» прочность, разрушаются внутри печи при нагреве и восстановлении. Вынос из нее пыли достигает 20-40 кг/т чугуна. Уменьшение количества мелочи (0-5 мм),

подаваемой в доменную печь на 1,5 % эквивалентно приросту производительности печи на 1% и близкой к этой величине экономии кокса. Равнозначный эффект дает увеличение на 1 % содержания в агломерате и окатышах железа [66,67].

Большую часть окучкованного сырья составляет агломерат. Главными причинами его пониженной прочности и склонностью к разрушению после изготовления и при транспортировке в доменный цех являются внутренние напряжения и, как следствие, микротрещины в спеке от полиморфизма двухкальциевого силиката и гидратации неусвоившейся в агломерате извести, сопровождающихся увеличением объема того и другого вещества на 10 %.

"Исследованиями полиморфизма двухкальциевого силиката установлено, что БШ способен предотвратить этот процесс. Прочность спека повышается также из-за лучшего усвоения извести. В итоге повышение с помощью БШ прочности агломератов различного состава подтвердили более 20 серий спеканий на чашевых агломерационных установках и 8 испытаний на агломерационных фабриках" [68].

Для упрочнения агломератов достаточно вводить в исходную шихту до 2 % БШ. Это приводит к уменьшению содержания железа в агломерате из различных шихт на 0,2-0,6 %.

Потери компенсируются за счет повышения прочности окатышей и агломератов. Это повышает выход «годного» агломерата до 10 %, уменьшение количества мелочи до 5 мм в скиповом агломерате до 5 % и формирования пыли крупностью до 0,5 мм при повышении температуры в процессе восстановления в шахте доменной печи порядка 40%.

Кроме этого, следует учесть существенное повышение производительность агломерационных машин и снижение оптимального расхода технологического топлива.

Повышение скорости спекания на колосниковой решетке, как правило, снижает прочность агломерата. Но после ввода в шихту БШ одновременно с повышением

скорости спекания происходит упрочнение агломерата. Производительность агломерационных установок увеличивается на 8-15%.

Процесс упрочнения агломератов представлен выше. Улучшение газопроницаемости шихты зависит от работы вяжущих свойств БШ, что повышает скорость спекания, который способствует окомкованию шихты и прочность сырых гранул в зонах переувлажнения, а также от сушки и интенсивного повышения температуры.

Увеличивается скорость спекания с последующим выходом «годного» (+ 10 мм) после грохочения агломерата устанавливает, что о БШ способен работать в качестве минерализатора, снижающего температуру, при которой начинает образовываться жидкая фаза и увеличивается ее ассимилирующая способность относительно СаО. Это объясняет и уменьшение расхода технологического топлива до 5 %.

Вышеуказанные выявленные свойства определяют товарное марку продукта на основе БШ «Факринт» - (ферро-алюмокальциевый реагент интенсификатор процесса спекания), что востребовано для нужд черной металлургии [69]. Запас повышения скорости спекания из-за хорошей газопроницаемости агломерируемой шихты можно использовать для дополнительного упрочнения агломерата, последовательно наращивания слои спекаемой шихты. Это сопровождается дополнительным сокращением удельного расхода топлива. Установлено, что подъем высоты спекательного слоя на 100 мм, при содержании мелочи крупностью менее 5 мм снижается до 6 %, а расход топлива на процесс спекания снижается порядка 10% [70].

Указанное улучшение свойств агломерационной шихты особенно результативно при агломерации шихты с большим содержанием тонкоизмельченных концентратов, или в высоком слое, когда вынуждены производить и вводить в шихту большое количество извести. Соблюдение отработанной технологии применения товарного БШ только в агломерационном производстве гарантирует эффект за счет увеличения выхода «годного» агломерата на 5-10 %, прироста производительности агломерационных машин на

8-10 %, сокращения на 4-5 кг/т (8-10 отн. %) удельного расхода технологического топлива.

Некоторые металлургические комбинаты отделяют мелочь агломерата, направляемого в доменную печь, и возвращают на агломерацию. Упрочнение агломерата с увеличением выхода «годного» и снижения объёма ретура даст также ощутимый экономический эффект.

Вводить «Факринт» в состав агломерационной шихты выгоднее, чем организовывать крупное производство обожженной извести, или устанавливать дорогостоящие и потребляющие высокий расход электроэнергии.

Продолжительностью опытного периода доменных плавков составляла от 10 до 40 суток. За базу для сравнения принимались не менее чем по 15 суток нормальной работы доменных цехов до и после опытного периода, исключая переходные режимы.

Испытания показали, что использование БШ по оптимальной технологии способно при снижении содержания железа в агломератах на 0,2-0,6 % компенсировать соответствующие потери за счет повышения их прочности, в т.ч. при нагреве и восстановлении, - на 20-40 % и в итоге, увеличить производительность доменных печей не менее чем на 1,2-2,5 %, с экономией 1,5-1,8 % удельного расхода доменного кокса.

В ходе промышленных испытаний не возникало проблем с вязкостью доменных шлаков, несмотря на некоторое повышение содержания в них оксидов алюминия и титана, что подтвердило результаты проведенных предварительно лабораторных исследований. Не было отмечено и ухудшения качества металла.

Крупные промышленные испытания агломератов и окатышей, полученных с использованием БШ, в доменном производстве проводились на 4-х заводах (им. Серова, «Запорожсталь», «Криворожсталь» и «Азовсталь»). Средние результаты приведены ниже (Таблица 2).

Таблица 2. Эффективность использования БШ в агломерационном и доменном производстве

Содержание работ	Количество экспериментов или промышленных испытаний (сырьевых вариантов), шт.	Увеличение производительности, %	Уменьшение выхода мелочи после испытаний на прочность, отн. %	Экономия технологического топлива, %
Крупные лабораторные спекания на колосниковой решетке	Более 130 (21)	8 -15	3-5 (7- 20)	4-15
Испытания на агломерационных фабриках	8 (6)	4-10	2-5 (8-16)	8-12
Гарантируемые показатели для агломерационного производства		5-10	3-5 (10-15)	8-10
Испытания в доменном производстве	4 (4)	1,15 -1,25	2-6 (8-16)	1,2-1,8
Гарантируемые показатели для доменного производства		1,2-2,5	4-6 (12-17)	1,5 – 1,8

Наиболее близким к внедрению является «Азовсталь», где испытания первых тысяч тонн произведенного на отгрузочном комплексе товарного БШ - «Факринта» показали: прирост производительности агломерационных машин на 8-10 %;

-Сокращение удельного расхода технологического топлива на 4-5 кг/т агломерата:

-Уменьшение количества мелочи 0-5 мм в скиповом агломерате (в доменном цехе) на 5%.

Взаимовыгодная цена поставляемого на «Азовсталь» «Факринта» принята на уровне \$20/Mt по натуральной массе- с влажностью около 25 %

Преимущество использования БШ как связующий материал в производстве железорудных окатышей, известно достаточно давно [71].

"Указанные полезные свойства БШ – товарного «Альтбентофакринта» делают его в производстве окатышей конкурентоспособным в сравнении с лишенными этих свойств, традиционно - используемым бентонитом и модным сегодня органическими связующими" [72].

Испытания на ЦГОКе и СевГОКе, успешно проведенные НГЗ, ВАМИ и Механобрчерметом следует развивать. Сервисные услуги по надлежащей подготовке «Альтбентофакринта в условиях конкретных аппаратурно-технологических схем шихтоподготовки ускорит его сбыт. Осуществлена договоренность с «Криворожсталью» о возможности покупки окатышей этих ГОКов по более высоким ценам, если качество окатышей будет существенно улучшено. В этом заинтересованы и ГОКи, поскольку менее затратных резервов у них не имеется.

Суммарная потребность в БШ – «Альтбентофакринте» на указанных ГОКах близка к 250 тыс. т/год.

Брикетирование БШ невыгодно, т.к. для этого его нужно высушить до влажности не менее 10-15%, или вводить сухие добавки, которые у потребителей, использующих, как правило, переувлажненные железорудные концентраты и собственные шламы, найти практически невозможно. Кроме этого, себестоимость брикетирования на имеющихся брикетных фабриках настолько высока, что не оправдывает в данном случае осуществление этого процесса.

Получение из БШ окатышей. Возможность получения из БШ прочных окатышей с применением особой технологии показана совместной работой ВАМИ и ИМЕТ УрО РАН. Изучены особенности изменения состава окатышей при окислительно-восстановительной обработке. Из-за отсутствия свободных мощностей по получению и восстановлению окатышей эти работы не продолжались [73].

Получение из БШ агломератов. Специалистами ИМЕТ УрО РАН уже давно получены не только в лабораторных, но и в промышленных условиях на

металлургическом заводе им. Серова качественные агломератов из БШ для дальнейшей доменной или электродоменной (рудотермической) плавки с целью получения литейного чугуна и извлечения глинозема из обогащенного им шлака.

Важно, что при агломерации из БШ можно удалить 40-50% щелочей и серы.

Допустима с этой точки зрения и наиболее эффективно дозировка БШ в шихту для агломерации на уровне 2 % по технологии ВАМИ. Для проплавки 100% БШ более надежна рудотермическая электропечь" [74].

В производстве литейного чугуна при восстановительной плавке БШ, как выявлено специалистами ВАМИ, этот чугун обладает сверхпрочными свойствами. В результате работы комплекса РЗМ, который входит в состав чугуна, углерод приобретает сферическую форму, как определено специалистами МИСИС и ИМЕТ УрО РАН, такой чугун идет на изготовление прокатных валков и изделий повышенной прочности.

Получение ферросплав проблематично. Попытки получения из БШ ферросилиция в электродуговой печи не нашли продолжения, поскольку, во первых, для этого потребуются ощутимые затраты на сушку и спекание БШ, а во вторых, возможно получение из этого материала только низкокремнистого ферросилиция, спрос на который практически отсутствует.

Повышение степени шлакообразования при получении стали. Фильтрованный БШ, (глинозёмистый кек), некоторое время применялся в качестве шлакообразующего компонента, заменяя собой боксит, и руды необходимые для получения стали в мартеновских печах Северо-Днепровского трубного завода. Кек БШ с влажностью до 25 %, и Северо-Онежский боксит использующиеся для подобных целей, требует обезвоживания для предупреждения взрывов внутри мартеновской печи с выбросом расплавленного металла на рабочую зону, что сопровождалось трагическими последствиями для рабочего персонала.

По данной причине БШ без предварительной подготовки и специального оборудования не рекомендуется применять в мартеновском производстве.

Целесообразность получения агломератов, окатышей или высушенных брикетов из БШ для использования в мартеновской и конвертерной плавках бесспорна и зависит от наличия в конкретных условиях конкурентоспособных материалов.

Использование БШ в производстве цементного клинкера давно теоретически обосновано и известно в мировой практике (Германия, Югославия, Венгрия и др.). Шлам для этого забирают из старых, заброшенных участков закрытых шламохранилищ.

Начальная стадия работ по внедрению выполнялась при участии ВАМИ. В последние годы к ним подключились НИИСМИ и НИИТИТАН [75].

По технологии ВАМИ получают транспортабельный БШ для отгрузки на цементные заводы, выделяя его в виде песчаной фракции из шламовой пульпы, сливаемой в емкость действующего шламохранилища, что указано ранее.

Имеются работы, свидетельствующие о способности БШ, вводимого в цементный раствор получать кислото- и щелочестойкие бетоны, которые могут быть применены и для получения долговечных полов в цехах гидрохимии и сооружений (причалов и др.), граничащих с морской водой.

Применение БШ в комплексе сырьевых смесей для изготовления керамзита за рубежом практикуется уже многие годы (Венгрия, Югославия, Германия).

Выполнены работы по изучению песчаного БШ НГЗ - на Корчеватском заводе (Украина). Установлен положительный результат. Повышается качество продукции, оптимизируется удельный расход технологического топлива. Прогнозируется потребление БШ в производстве керамзита около 50 тыс. т/год. Но отпускная цена на БШ оказалась неприемлемой для спроса керамзитовых заводов, вследствие чего работа получила развития.

Производство изделий из керамического шамота, плитки, черепицы и стенового кирпича. Варианты применения БШ в сырьевых смесях для изготовления керамических изделий: плитки, черепицы, бокситового стенового кирпича тщательно изучалась при участии ВАМИ, ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТОМ (г. Харьков), ВНИИСТРОМОМ (г. Красково), а также НИИСМИ (г. Киев).

Выявлено, что оптимальное количество ввода БШ в объем исходной сырьевой смеси не более 25 % [75–77].

Керамические заводы создаются на базе дешевого местного сырья. Транспортабельный БШ дороже местного сырья. Повышение стоимости сырьевой смеси и, соответственно, товарной продукции снижает ее конкурентоспособность. Ухудшаются с применением БШ и ее товарные качества: повышенное содержания щелочей приводит к появлению на поверхности изделий и стен домов высолов в виде белого налёта. Увеличение содержания железа особенно невыгодно для кирпича, поскольку возрастает удельная стоимость транспортных расходов и объемы инвестирования более основательных фундаментов под утяжеленными кирпичными зданиями. Работы в этом направлении продолжаются в Индии [78].

"НИИСМИ нашел "БШ НГЗ пригодным для производства шамота - отощающей добавки в сырьевые керамические смеси, применяемой с целью предотвращения растрескиваемости керамических изделий при сушке. Для этого требуется получить из БШ спёк во вращающейся печи. Несмотря на предполагаемый большой спрос на шамот – порядка 800 тыс. т/год, работы после выпущенного ТЭО не нашли своего продолжения. Использование в качестве красящего пигмента возникает первой мыслью каждого, кто впервые к БШ прикасается. Практические вопросы использования БШ по этому назначению решались рядом специализированных институтов и предприятий. Проблема оказалась трудно решаемой ввиду высоких содержания в БШ растворимых щелочей и оксида кальция и затрат на их глубокую отмывку. Однако уральские специалисты нашли благоприятные варианты и довольно большой рынок сбыта БШ по этому направлению" [79].

Предложено изготовление из БШ пигмента для производства грунтовок, а также для других направлений лакокрасочной промышленности.

Исследования прибалтийских специалистов показали, что использование БШ для изготовления декоративных облицовочных бетонов, применяемых для промышленного и гражданского строительства, выявляет долговременную стойкость материала против потери цвета под солнечными лучами.

Значительная часть БШ НГЗ применяют в производстве цветного бутылочного стекла и декоративной окраски силикатного кирпича [80].

Землеустройство представляется, как самое перспективное по объемам потребления БШ, превышающее образования БШ даже при удвоенной производительности НГЗ [40].

Факторы полезного влияния на почвы:

- увеличение всхожести семян некоторых сельскохозяйственных культур;
- уменьшение заболеваемости растений;
- ввод в сельскохозяйственный оборот засоленных земель и другие.

К сожалению, организация производства из отфильтрованного БШ крупнотоннажного товарного продукта, обладающего такими главными требованиями, как сыпучесть, способность наноситься на поверхность почвы равномерным тонким слоем и др. остается без внимания.

Получение минерально - органического комплексного гранулированного удобрения «УМКгр». Выявлены практические варианты реализации этих технологий с учетом некоторой специфики химического состава БШ.

Работа тормозится отсутствием ясности по уровню реального спроса и цен на товарную продукцию БШ по данному сегменту сбыта. Профессиональный маркетинг не проводился.

1.2.Актуальность улучшения экологии доменного производства за счет очистки газов от серы на переделе грануляции доменного шлаков

Доменные шлаки черной металлургии используют в больших количествах, особенно, в производстве шлакопортландцемента. Для получения транспортабельного продукта расплавленный шлак проходит стадию грануляции путем быстрого охлаждения в емкости, наполненной водой. Шлаки в своем составе содержат серу, и при грануляции выделяется большое количество токсичных ее соединений, которые создают на рабочих площадках грануляции тяжелые условия труда обслуживающего персонала. Для их улучшения в состав

охлаждающей жидкости вводят тонкоизмельченный мел, известь или известняк. В результате серовыделения в атмосферу уменьшается на 60—80 %, что недостаточно и требуются специализированные участки для дробления и тонкого измельчения этих материалов. Необходима менее капиталоемкая и более эффективная технология.

Способность БШ связывать тяжелые металлы, растворенные в промышленных сточных водах, доказана зарубежными специалистами [81,82].

Это направление принято на вооружение из опыта Италии, где БШ используют для очистки дымовых газов ТЭЦ от сернистых веществ, использующей дешевые сернистые мазуты (Рисунок 3) [83].

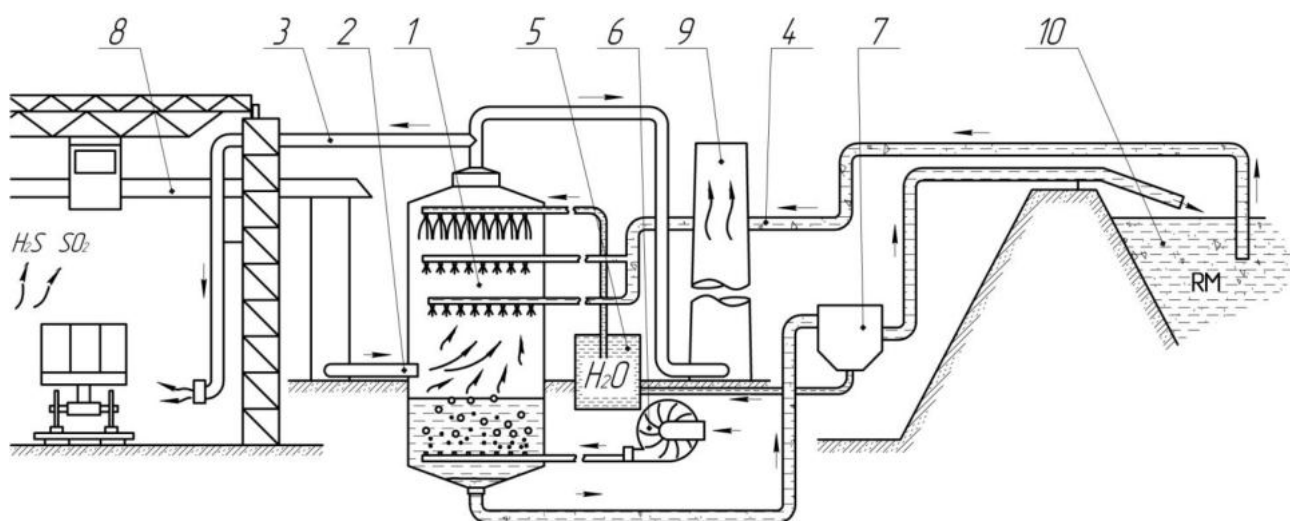


Рисунок 3. Схема протекания процесса в системе улавливания серы с помощью бокситового шлама в компании Eurallumina: 1 – скруббер; 2 – загрязненный воздух; 3 – очищенный воздух; 4 – БШ с поля; 5 – бак с водой; 6 – нагнетатель воздуха; 7 – дренаж; 8 – вытяжка; 9 – промышленных газов; 10 – поле с БШ

Согласно данным около 20 % доменного шлама утилизируется в гранулированный продукт мокрым или полусухим способом на центральных грануляционных установках.

Классическая технология мокрого способа грануляции состоит в следующем.

Доменный шлак в жидком виде транспортируется в ковшах по железнодорожному пути к месту слива в бассейн, заполненный охлаждающей

жидкостью, и при сливе взаимодействует с водой и образует гранулы. Из бассейна граншлак посредством грейфера в мокром виде поступает в железнодорожные вагоны. Конструкция бассейна выполняется из железобетона, габариты которого около 23x8 м и глубиной до 6 м. Для организации одновременного слива расплавленного шлака и погрузки граншлака в железнодорожные вагоны, в бассейнах организуется до 7 технологических секций. Опорожнение ковша от шлака выполняется на поверхность наклонных желобов или непосредственно в охлаждающую жидкость. Одновременно опорожняется около 1-3 ковшей, при этом затрачивается 2-5 минут.

После сброса шлака ковши транспортируются на шлаковый отвал, где проходит очистка от настывшей. На современных установках удаление корок включено в технологический процесс близости от места опорожнения ковшей.

Загрузка граншлака в вагоны происходит посредством грейферных мостовых или порталных кранов. Конструкция грейферов имеет отверстия диаметром до 10 мм для сброса воды, при гравитационном обезвоживании. Используются также перегрузочные средства типа скреперных лебедок, экскаваторов и др.

Большинство систем оборудовано устройствами для снижения уровня влаги граншлака: перегрузочными участками, дополнительными бункерами обеспечивающими выпуск отстойной воды.

Производительность бассейновых грануляционных систем весьма разнообразна от 5 до 950 тыс. т/год. Выход годного сырья на одну штатную единицу, обслуживающую грануляционную установку в зависимости установленной производительности, колеблется от 2 до 260 т/сутки граншлака.

Преимущество центральных бассейновых грануляционных установок определяется:

- большой единичной мощностью;
- высокой производительностью на одну штатную единицу при механизированной погрузке шлака для транспортировки по авто и ж/д линиям;

– минимального времени задержки ковшей для доставки шлака до места слива порядка 2-5 минут.

Недостатки:

– производство мокрого гранулированного шлака с влажностью порядка 30 %, что сопровождается непроизводительной погрузкой материала в вагоны, застывание шлака, обледенение ж/д путей и частей вагонов в холодное время и увеличение энергозатрат в ходе последующей переработки граншлака на цементных предприятиях;

– большое число пунктов перегрузки материала;

– пары воды усложняют обслуживание системы, которые являются причиной коррозии частей механизмов;

– транспортировка расплавленного шлака от участка слива из доменных печей к бассейновому сливу в ковшах проходит с понижением температуры на 100-150 °С, вследствие чего снижается качество граншлака и уменьшается выход годного до 25 % из-за формирования на открытых местах корок. Обслуживание после налипания застывшего шлака на стенках ковша сильно затягивает технологический процесс.

Ковшечная разгрузка шлака используется также для его транспортирования к другим типам центральных грануляционных установок, где применяется желобной или гидрожелобной процессы грануляции. Желобной способ использует длинный желоб, расположенный под наклоном, в который из шлакоприемника подается поток расплавленного шлака, а снизу через ряд форсунок, расположенных под шлакоприемником, в пространство желоба под давлением подается вода для образования гранул при резком охлаждении шлака; граншлак в виде водо-шлаковой смеси подается на склад, где частично подсушивается. Гидрожелобной способ имеет преимущество перед желобным способом из-за использования потока воды под давлением, что обеспечивает однородность состава в процессе перемешивания, а также обеспечивает транспортировку шлака по желобу.

При проектировании центральных грануляционных установок желобного и гидрожелобного типа зачастую применяют естественные или сооруженные скаты, которые образуются в процессе шлаковых отвалах, образованных ранее. Классическая конструкция грануляционной установки представлена ниже (Рисунок 4).

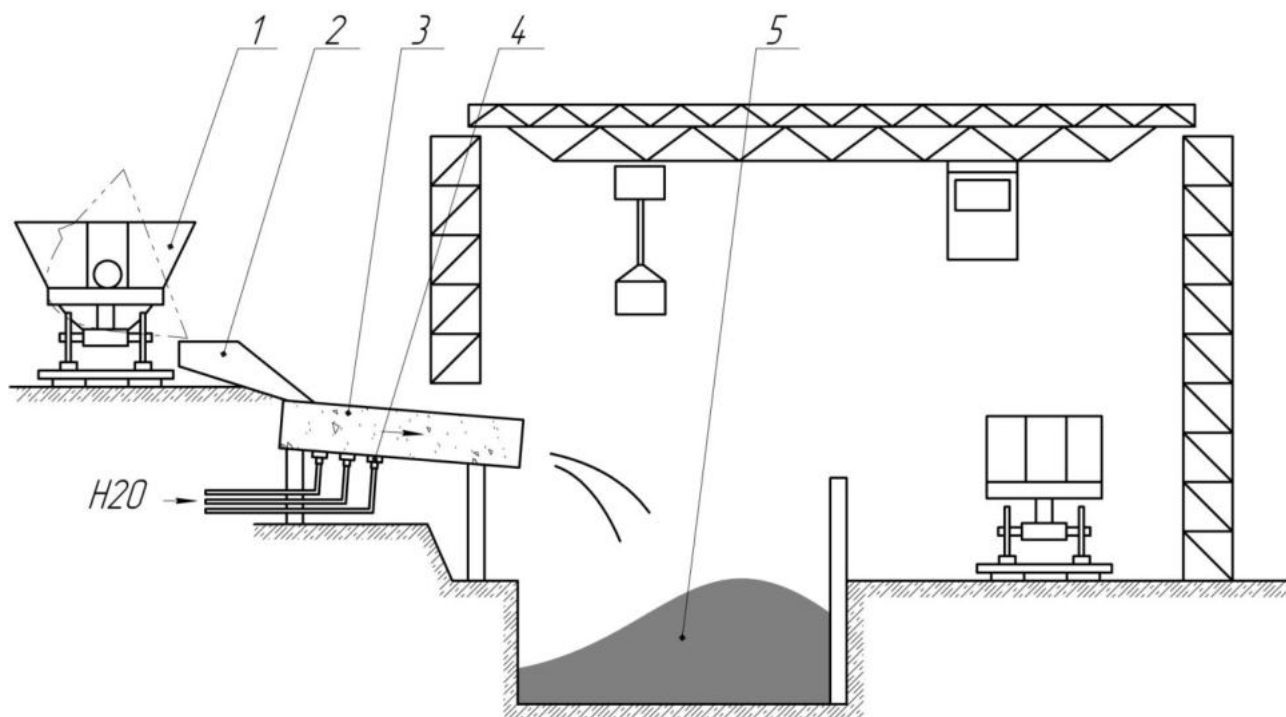


Рисунок 4. Схема центральной желобной грануляционной системы: 1- шлаковозный ковш; 2 – шлакоприемник; 3 – желоб; 4 - насадки для подачи воды.

Расплавленный шлак транспортируется до места участка грануляции в шлаковозных ковшах 1 и далее поступает в шлакоприемник 2, который предназначен для формирования потока шлака перед соприкосновением его с водой. Затем шлак, проходя по желобу 3, образует пену из-за струй воды подаваемых из насадок 4, расположенных на днище желоба. Готовый граншлак, в виде водно-шлаковой смеси, сбрасывается в бассейн 5, где протекает естественное обезвоживание шлака. Влажность гранулированного шлака, получаемого на желобных конструкциях, снижается до 20 %, что достаточно для его транспортировки.

Как правило, грануляционные желоба устанавливают под углом 5-15° при длине конструкции 6-20 м. Сопловые форсунки, используемые для обеспечения водно-грануляционной пены при смешивании со шлаком, отличаются по конструкции, но практикой установлено, что сложность конструкции форсунок не влияет на технологические параметры процесса грануляции шлака.

Преимущество центральных желобных грануляционных систем заключается в простоте конструкции и применении, низкая влажность по сравнению с мокрым способом. Недостатком является потребность в использовании большой номенклатуры шлаковозных ковшей, наличие взрывов, внезапные выбросы пара в атмосферу участка, а содержание соединений серы достигает 250-500 г на 1 т шлака [91–93].

В некоторых случаях центральные грануляционные установки снабжаются механическими диспергаторами, с конструкцией барабанного типа. Схема такой конструкции (Рисунок 5) содержит следующие составляющие: ковш с расплавленным шлаком 1, приёмную направляющую воронку 2, грануляционный диспергационный желоб 3, диспергатор барабанного типа 4, форсунки для подачи воды 5, устройство для отвода избытков воды 6, защитный экран 7, транспортная ж/д линия 8, отстойник готовой продукции 9 и погрузочный механизм 10. Последние исполнения установки не содержат приёмную ванну и нижний грануляционный желоб; в этих вариантах охлаждающая система представлена конструкцией, где вода поступает под струю шлака, а шлак падает на барабанный диспергатор.

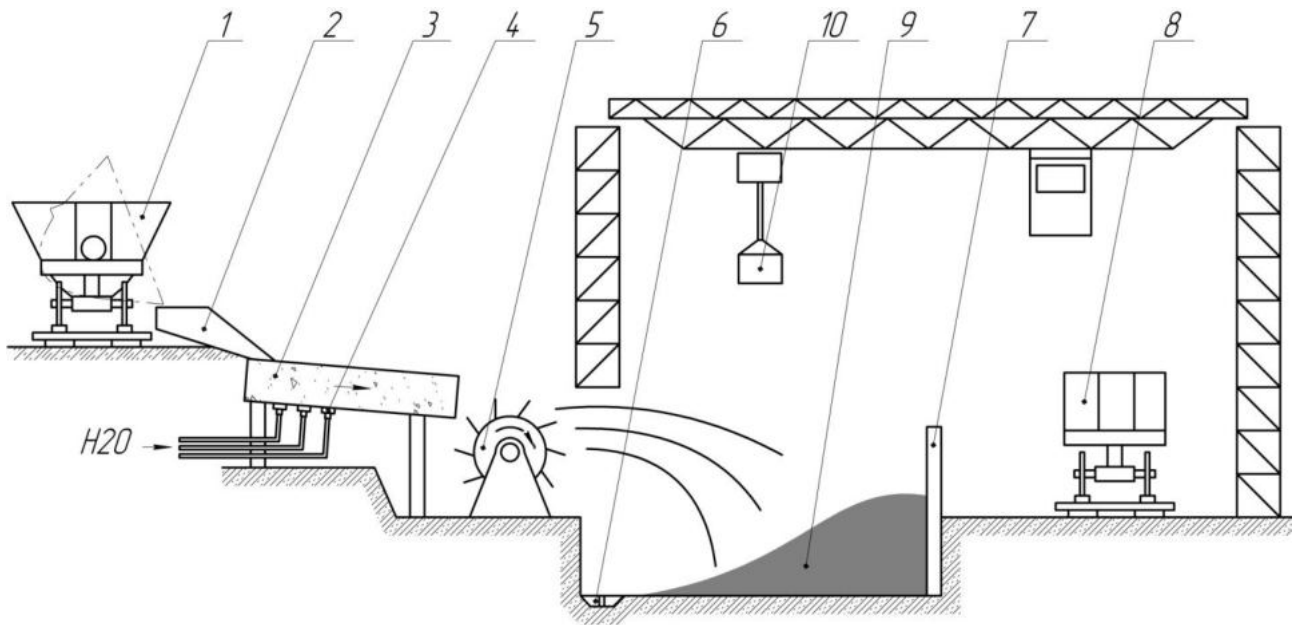


Рисунок 5. Схема центральной грануляционной системы с механическим диспергатором жидкого шлака: 1- шлаковозный ковш; 2 – шлакоприемник; 3 – желоб; 4 - насадки для подачи воды; 5 - барабанный диспергатор; 6 - каналы для отвода избыточной воды; 7 - защитная стенка; 8 - железнодорожные пути; 9 - склад готовой продукции; 10 - механизм погрузки.

Охлаждение барабана происходит посредством циркуляции воды, поступающей на поверхность лопаток совместно с горячим шлаком. Скорость вращения барабана составляет около 240 об/мин, а расход воды порядка $1,2 \text{ м}^3$ на тонну шлака.

Основные преимущества механического метода разбрызгивания - получение гранулированного шлака с низкой влагой около 6-18 % при малом расходе воды, а при малой контактной поверхности воды со шлаком, уменьшается выделения сероводорода в атмосферу участка на 5-10 порядков. Но при этом падает качество готового граншлака за счёт формирования нитевидных образований, а мелкие фракции являются причиной загрязнения окружающей среды. При этом охлаждающая вода, попадает на рабочие поверхности лопастей барабана, создаёт грохот вызванный микровзрывами, причиной которых является большой градиент температур [94,95].

1.3. Применяемые технологии припечной грануляции

В классических припечных грануляционных установках применяются распространенные способы мокрой грануляции:

- а) расплавленный шлак из доменной печи по желобу попадает непосредственно в бассейн с охлаждающей жидкостью;
- б) расплавленный шлак образует гранулы при взаимодействии с водой, проходя по желобу, а образованная пульпа сливается в бассейн;
- в) грануляция происходит в желобе, а готовая пульпа поступает непосредственно в железнодорожный вагон.

Преимущество технологии припечной грануляции заключается в прямой подаче жидкого шлака к участку грануляции. Но высокая влажность гранулируемого шлака, что понижает степень безопасности при возникновении взрывов с последующим снижением экологических показателей, что является недостатком процесса.

В 1994 году в предприятие НПО «Тулачермет» на участке доменной печи № 3 начала работу малогабаритная установка припечной грануляции шлака, созданная согласно проекту компании ОАО «Гипромет», схема которой показана в тексте (Рисунок 6).

Достоинствами этой конструкции являются способность ее установки на малой площади часть тепла, получаемого от шлака, идет на его подсушку при быстром извлечении его из охлаждающей жидкости лопастями барабана, где происходит остывание частиц шлака. Недостатком устройства является ограничения по интенсивности приёма шлака до 3-5 т/мин, при том, что интенсивность выпуска шлака из доменных печей достигает 10-15 т/мин, а также низкая взрывоопасность при попадании крупных сгустков чугуна в шлак из-за применения классической конструкции гидромонитора в качестве разбрызгивателя шлака.

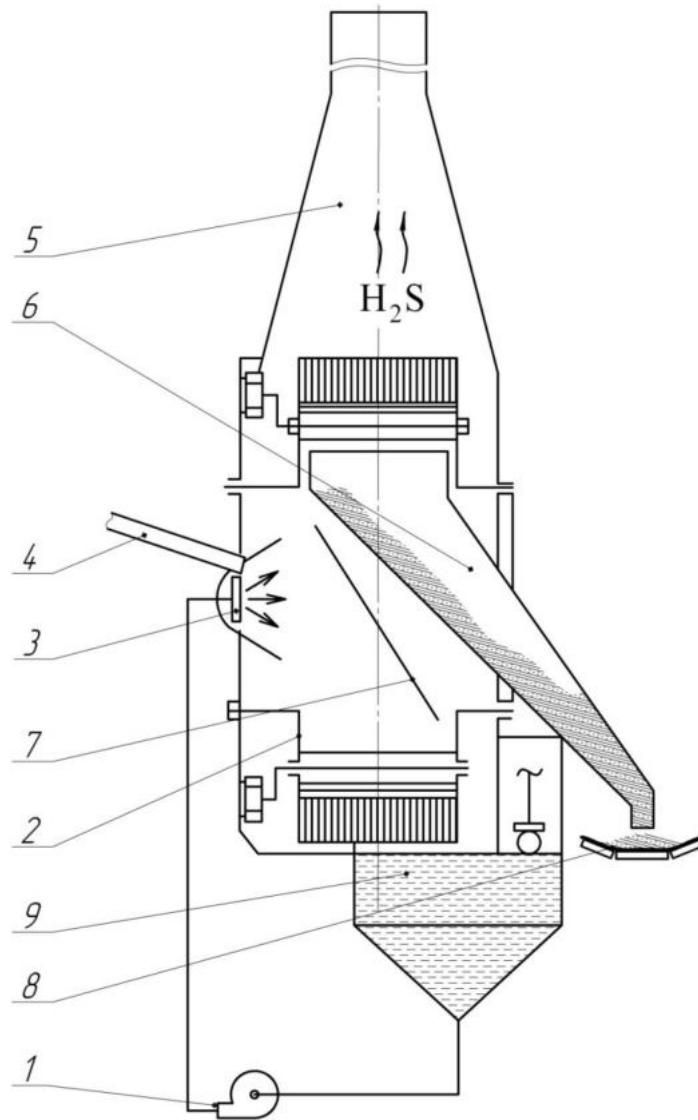


Рисунок 6. Малогабаритная установка грануляции шлака (Гипромез): 1 - насос; 2 - барабан; 3 - гранулятор; 4 - желоб; 5 - труба; 6 - лоток; 7 - экран; 8 - конвейер; 9 – накопительная емкость

Процесс припечной грануляции шлака с возможностью контроля очагов парогазовых выбросов был освоен в середине шестидесятых годов на участке грануляции шлака вблизи от производства доменных печей завода «Криворожсталь» и доменной печи небольшого объема (395м^3) Салдинского металлургического завода. Грануляционные системы завода «Криворожсталь» были построены по разработке института «Гипростром» (г. Киев), а на Салдинском металлургическом заводе - по конструкторской документации, предложенной ВНИИМТ [96,97].

Технологическая схема установки грануляционного комплекса, впервые введена в эксплуатацию на Салдинском металлургическом заводе. Она представлена в тексте (Рисунок 7).

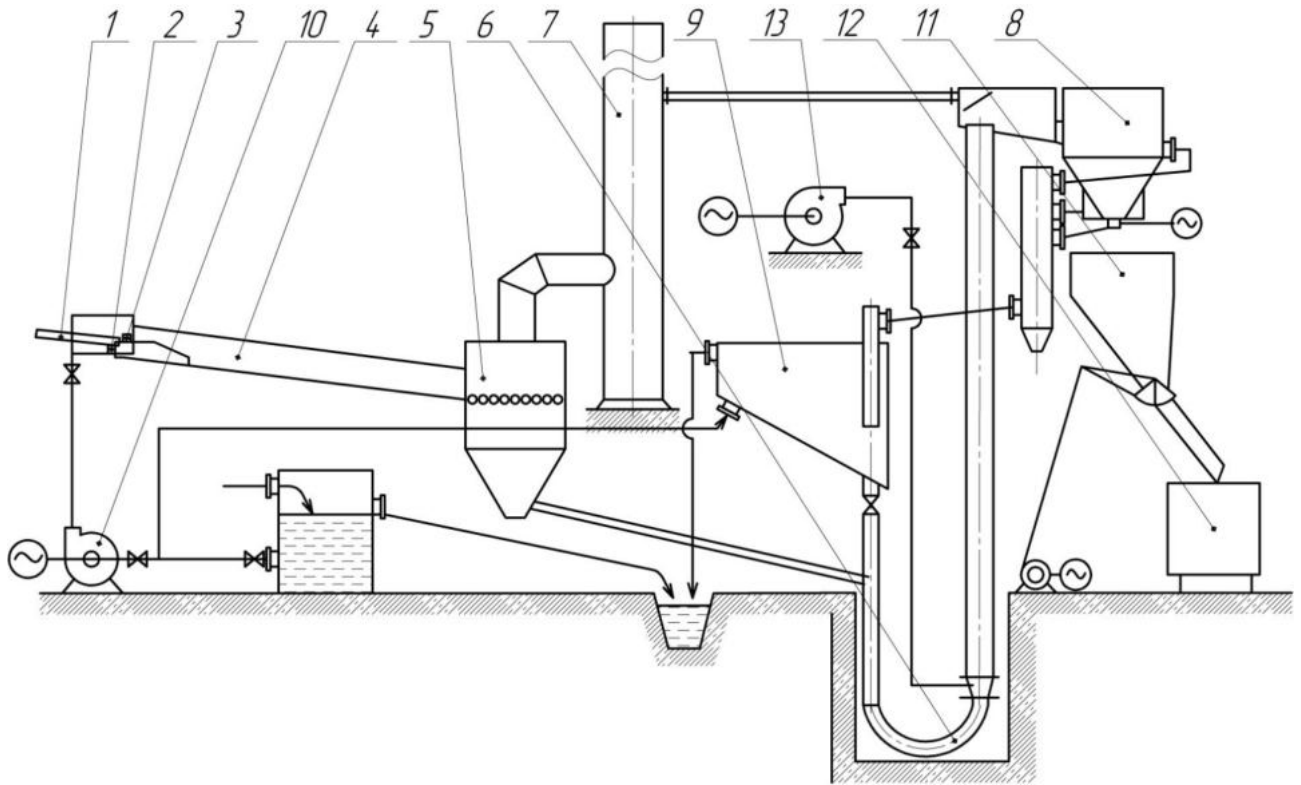


Рисунок 7. Схема припечной грануляционной системы, внедренной на Салдинском металлургическом заводе: 1 – желоб; 2 и 3 - камеры грануляционной воды с сопловыми блоками; 4 – паро-пульпопровод; 5 – бункер; 6 – эрлифт; 7 – вытяжная труба; 8 - бункер-отстойник; 9 - бак дополнительного осветления; 10 – насос; 11 - бункер-силос; 12 - железнодорожный вагон; 13 – воздуходувка.

Расплавленный шлак по желобу 1 поступает в устройство грануляции, в котором находится две камеры с водой 2 и 3 с установленными сопловыми блоками. Под мощным потоком струй шлак охлаждается и распадается на гранулы в желобе, далее по пульпопроводу 4 смесь сливается в бункер 5 и подается под давлением собственного веса на устройство эрлифта 6. Верхняя часть бункера 5 закрыта кожухом с газоотводящей трубой 7, через которую парогазовая отработанная смесь выбрасываются в атмосферу. Доставленная посредством эрлифта пульпа поступает в отстойный бункер 8 для обезвоживания под собственным весом методом. Вода из бункера отводится в бак

9, где происходит дополнительное осветление, а затем забирается насосом 10. Осушенный до необходимой степени граншлак поступает в силосной бункер 11, а затем поступает в бункеры для транспортировки посредством железнодорожных вагонов 12. Для обеспечения устройства эрлифта дутьем установлен нагнетатель потока воздуха 13. Особенностью грануляционной установки Салдинского металлургического завода является то, что для эвакуации гранулированного шлака из бассейна используется эрлифтовая пневмо-гидравлическая система. При установке и пуско-наладочных работах были сложности при осуществлении выгрузки гранулированного шлака из отстойного бункера 8.

Грануляционная система, внедрённая на доменных печах завода «Криворожсталь» (Рисунок 8) реализует следующую технологию.

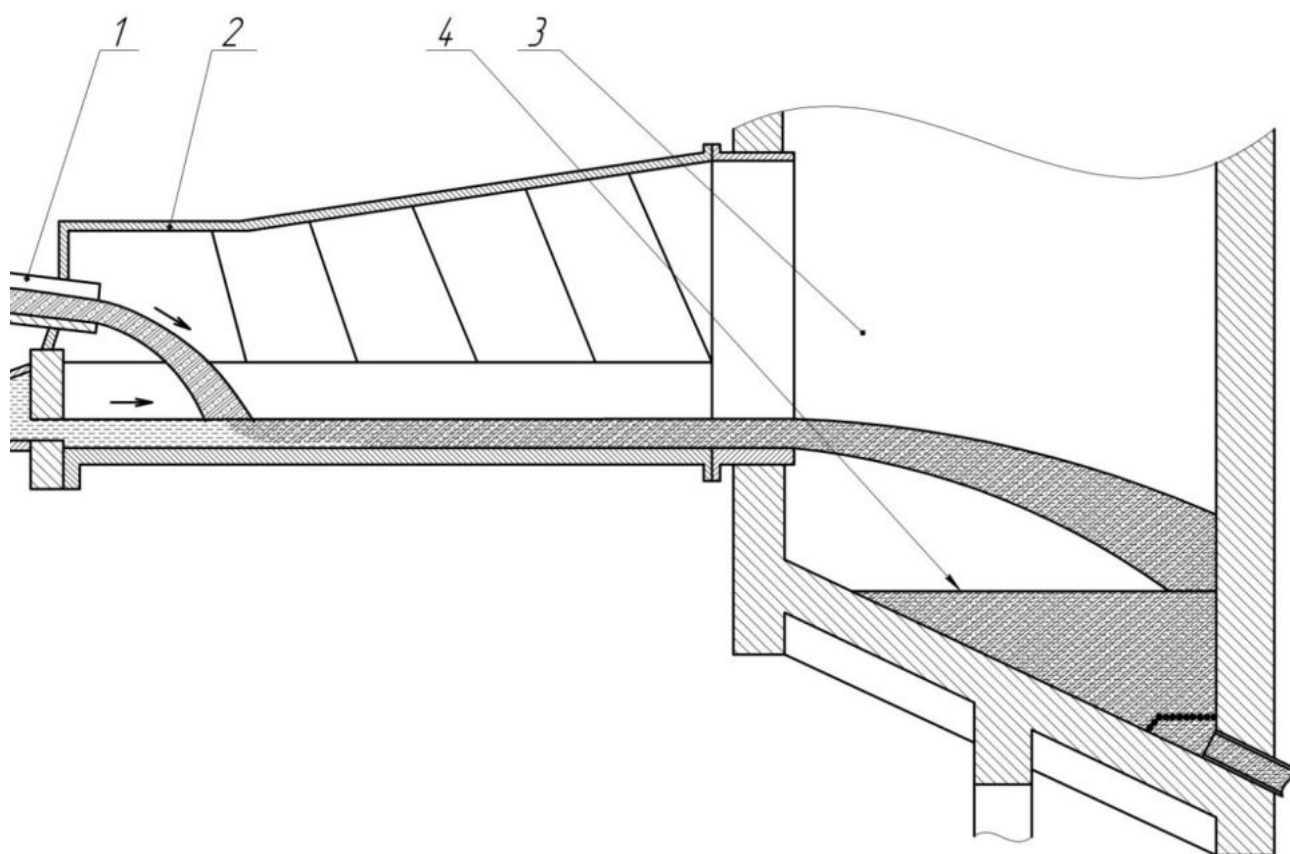


Рисунок 8. Продольный разрез грануляционной системы доменной печи завода Криворожсталь:

- 1- желоб подвода жидкого шлака; 2- гидро-желоб с укрытием; 3- бункер пульпы;
- 4- уровень гранулированного шлака.

Шлак в жидком виде поступает из печи в защищенный гранулятор желобного типа. Гранулированный шлак смешивается с водой и поступает по желобу в бункер и посредством пульпо-насоса направляется в камеру осаждения и обезвоживания, а накапливающийся при этом пар удаляется за пределы участка. Грануляции подвергается легкий и тяжелый шлаки; в последнем содержание чугуна достигает 4 %, а из готовой продукции он частично удаляется с помощью магнитной сепарации.

Положительный результат внедрения новой припечной грануляционной на Салдинском металлургическом предприятии, был получен благодаря общетехническому представлению В. А. Успенского и инженерной разработки М. А. Шаранова, дало начало перспективного освоения в сфере производства шлака в больших объемах на государственном уровне. Появился ряд указов Минчермета об актуальности строительства новых сооружаемых припечными грануляционными системами на территории доменного производства с возможностью переработки порядка 2000-5000 м³. По результатам собрания Госкомитета по науке и технике вышел указ на освоение денежных средств для открытия проектных и научно-исследовательских работ в данном направлении; в институте «Гипрометз» (г. Москва) был создан отдел по проектированию шлакоперерабатывающих производств, во ВНИИМТ создана лаборатория изучения грануляционных процессов в расплаве, где выявлен ряд факторов, непосредственно влияющих на качество получаемого граншлака [98–101].

Новая разработанная технология грануляции включает в себя:

- а) полную утилизацию всего шлака полученного в результате работы доменной печи в высококачественный продукт для нужд цементной промышленности;
- б) обнаружение очагов вредных парогазовых выбросов и их отведение за пределы производственного участка через вытяжную трубу;
- в) нейтрализация вредных соединений серы, содержащихся в парогазовых выбросах при грануляции;
- г) взрывобезопасная диспергация и резкое остывание частиц шлака посредством слабо-осветлённой оборотной воды;
- д) транспортировка сгущенной водо-шлаководяной пульпы от места выгрузки смеси в бункер отстойник с помощью эрлифта;

е) сушка водо-шлаковой пульпы в непрерывно вращающемся аппарате карусельного типа;

ж) обезвоживание гранулированного шлака за счёт его физического тепла.

Грануляционные комплексы, расположенные около печей, применяющие мокрый способ грануляции, которые полностью утилизируют шлак, выпускаемый из доменной печи. Но гранулированный шлак, имеющий высокую температуру в процессе грануляции (более 1100°С) в таких условиях становится пористым и с меньшей плотностью, что повышает влагоудерживающую способность. Содержание влаги граншлака после естественного просушивания составляет около 15%, что влечет за собой дополнительные энергозатраты при применении на цементных заводах, а также вызывает определенные проблемы при транспортировке по железнодорожным линиям в холодный период.

Уменьшение влаги в составе граншлака в грануляционных системах, расположенных вблизи печей, может выполняться на следующих этапах этого процесса [102–104]:

- В процессе грануляции с образованием малопористых крупнозернистых частиц граншлака;

- на этапе потери влаги при более продолжительном пребывании граншлака в обезвоживающем аппарате;

- после просушивания - обезвоживание граншлака в специализированных обезвоживателях или в процессе замораживания для предотвращения застывания в зимнее время в процессе транспортировки.

После мокрой грануляции такие качества, как плотность и влагоудерживающая способность граншлака определяется химическим составом материала, его температурой, интенсивностью слива и перемешивания и температурой диспергирующей воды, степенью передачи энергии от воды к расплавленному шлаку, формирования и распределения потока водо-шлаковой смеси. Установлено, что при интенсивном дроблении расплава шлака с получением мелких и однородных частиц, а также при более холодной воде и меньшей температуре шлака, тем ниже его способность влагоудержания. Для увеличения плотности и уменьшения

влагоудерживающей способности граншлака рекомендуется использовать диспергаторы, имеющие специальные конструктивные особенности или рациональные составы охлаждающей жидкости, с учетом требований по улучшению экологии передела грануляции доменных шлаков [105–109].

Выводы и рекомендации к 1 главе

1. Бокситовый отвальный шлак, который еще называют красным шламом, является не используемым до настоящего времени отходом производства глинозема из бокситового сырья, который при нахождении в шламохранилищах наносит вред окружающей среде и таит в себе экологические катастрофы.
2. Актуальность разработки способов переработки этого отхода повышается с требованием ко всем промышленным предприятиям не складировать, а перерабатывать образующиеся производственные. Множество разработанных технологий переработки бокситовых шламов цветной металлургии не реализуется по причине отсутствия на глиноземных заводах свободных площадей и больших сроков окупаемости инвестиций, а внешние известные потребители не имеют в бокситовом шламе достаточной заинтересованности.
3. В черной металлургии имеется также актуальная проблема, касающаяся улучшения экологии на переделе грануляции расплавленных шлаков, где загазованность атмосферы соединениями серы на рабочих площадках многократно превышает ПДК. Химический состав и крупность отвального бокситового шлама должны позволить применять его вместо используемых в настоящее время значительно более дорогостоящих поглотителей газообразных соединений серы в виде тонкомолотых минеральных материалов – известняка и извести.
4. Поэтому представляется полезным проведение углубленных лабораторных исследований и анализ промышленных испытаний, указанных шламов без их дорогостоящей предварительной и последующей обработки с разработкой соответствующих технологий и аппаратурных решений и выполнением экономических расчетов.

ГЛАВА 2 ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТВАЛЬНЫХ БОКСИТОВЫХ ШЛАМОВ

Гранулированный доменный шлак устойчиво используют в больших количествах при производстве цементов, в дорожном строительстве, сельском хозяйстве и в других областях техники и технологий. Особенностью процесса его получения является активное взаимодействие расплавленного металлургического шлака с охлаждающей жидкостью. Одновременно и мгновенно происходят затвердевание шлака и разрыв массы последнего в атмосфере острого пара на мелкие частицы из-за возникающих критических напряжений. Проблема состоит в том, что при грануляции шлаков, как правило, содержащих серу, в атмосферу выделяется большое количество вредных веществ (оксид серы и сероводород). Его концентрация на рабочих площадках - участков грануляции многократно превышает ПДК. Для борьбы с этим явлением в состав охлаждающей жидкости, вводят тонкодисперсные дорогостоящие известь или известняк. Это связано с большими затратами на сооружение дробильного, измельчительного и пылеочистного оборудования. К тому же размещение такого оборудования затруднено отсутствием в доменных цехах свободных площадей. В данной работе показано, что известь и известняк могут быть заменены тонкодисперсным бокситовым шламом (БШ) – отходом производства глинозема из бокситов. Этот материал также обладает свойствами поглощения из газовой фазы соединения серы. Проблема его переработки является также актуальной задачей. В настоящее время БШ размещается в шламохранилищах, наносящих вред окружающей среде, а разрушение ограждающей дамбы приводит к экологической катастрофе (Венгрия, 2010 г). В данной статье приведены результаты исследования по использованию БШ. В лабораторных условиях изучалась поглотительная способность БШ 6 заводов. Исследовались полученные образцы гранулированного шлака, полученного в процессе взаимодействия с БШ. Проведены лабораторные и промышленные испытания. Обнаружено, что с его

помощью концентрация сернистых газов на рабочих площадках грануляции может быть уменьшена на порядок (Рисунок 9). Важно, что новый гранулированный шлак, названный в рассматриваемом случае «шламошлаком», не уступает обычному по основным технологическим свойствам.

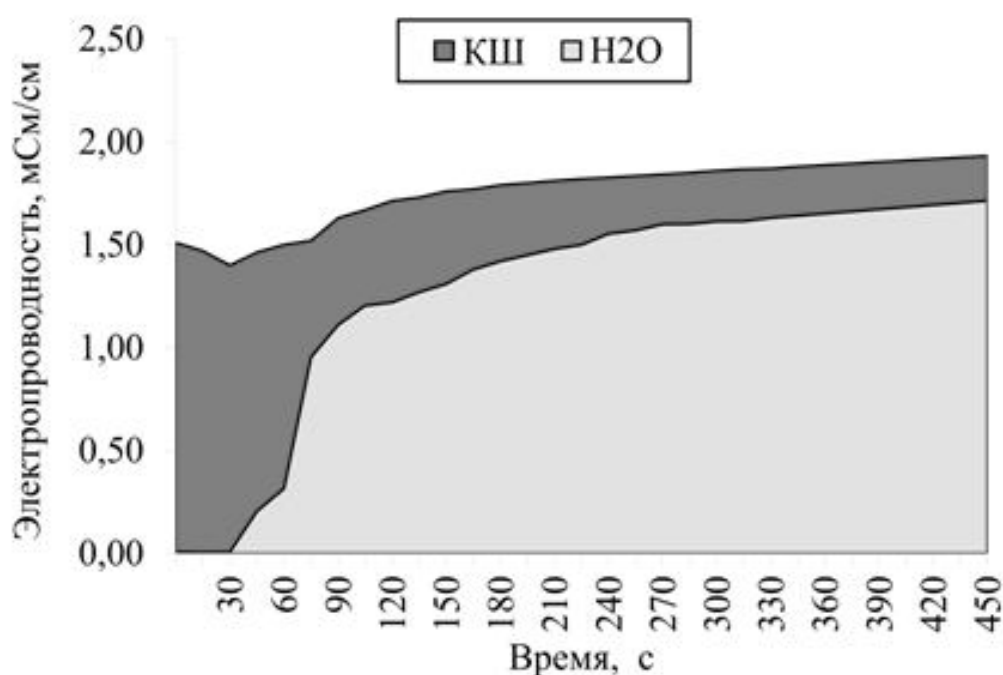


Рисунок 9. Поглощительная емкость бокситового шлама

Для исследования поглощительной способности БШ выбрано одиннадцать образцов материала бокситового шлама, полученного в процессе различных технологий, на разных глиноземных предприятиях. Химический состав по основным компонентам весьма разнообразен, что дает возможность исследовать наиболее широко весь спектр этого материала. Это позволит определить наиболее универсальный состав, с последующей доработкой технологии глиноземного производства, что позволит массово использовать складываемый отработанный материал в полезных для производства целях.

Для сравнения и определения наиболее оптимального состава поглотителя предложены образцы шламов, байеровского (образцы 1 – 4 и 7), спекательного (образцы 5, 8 и 11) и байер-спекательного производств (6, 9, 10). Образцы

представленные ниже (Рисунок 12). Название образцов определяется по месту отгрузки и подразделяются на 1, 2 – НГЗ (Николаевский глиноземный завод, г. Николаев); 3 – ЗАалК (Запорожский алюминиевый комбинат, г. Запорожье); с 4 по 6 – УАЗ (Уральский алюминиевый завод, г. Каменск-Уральский); с 7 по 9 – БАЗ (Богословский алюминиевый завод, г. Красноуральск); 10 – ПАЗ (Павлодарский алюминиевый завод, г. Павлодар); 11 – БГЗ (Бокситогорский глиноземный завод, г. Бокситогорск).

Для определения поглотительной емкости бокситового шлама собрана установка (Рисунок 10).

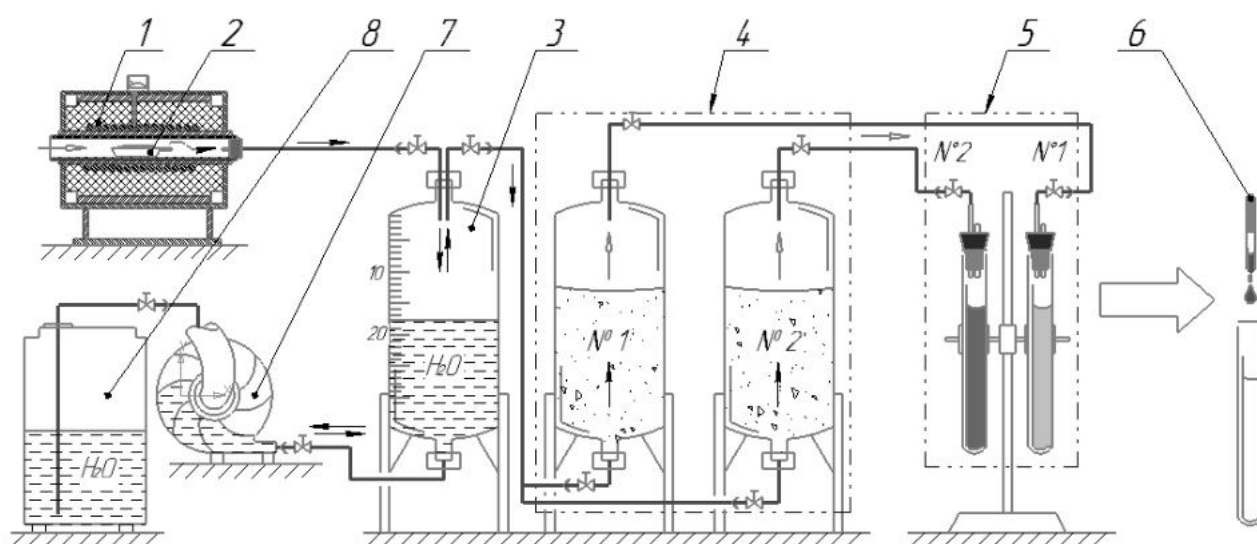


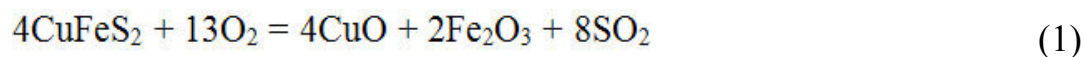
Рисунок 10. Установка для анализа степени очистки серосодержащих газов:

- 1 – печь; 2 – навеска пробы; 3 – накопитель; 4 – Фильтры; 5 – проба после очистки; 6 – анализ;
7 - насос; 8 – емкость с водой.

Конструкция установки состоит из следующих частей:

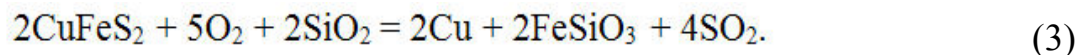
1 – печь для повышения температуры до 1000°C и последующей выдержкой в течение 30 мин.

2 – навеска, содержащая медный колчедан для протекания следующих реакций:





Также возможно протекание реакции с участием соединения SiO_2 и образованием чистой меди:



При дальнейшем взаимодействии с кислородом воздуха протекает реакция (2).

Полученный газ (сернистый ангидрид) посредством системы трубопроводов, имеющей соединительные муфты и запирающие вентиля, поступает на следующую стадию очистки.

3 – емкость в качестве накопителя, имеющего мерную шкалу для точного определения объема газовой составляющей. При изменении уровня воды накапливает или наоборот избавляется от исследуемой порции вещества.

Сернистый ангидрид поступает в проходной сосуд в одностороннем порядке, где происходит накопление загрязненного воздуха с фиксированной концентрации серосодержащих соединений.

4 – две емкости для забора газовой составляющей. Функциональное разделение на максимально возможную очистку, которая выполняется в емкости с наилучшим поглотителем, содержащим один из образцов (бокситовый шлам), и на очистку, которая выполняется в соседней емкости, для последующего сравнения с другими образцами.

5 – отбор в специальные емкости и последующее сравнение степени очистки проб.

6 – инструмент для дозирования раствора (стандарт – титр йода $C(\frac{1}{2} \text{I}_2) = 0,1$ моль/дм³) в исследуемый объем газа с последующим определением степени насыщенности серой.

7 – насос создает парциальное разрежение в накопителе при откачивании воды из емкости, что способствует понижению уровня жидкости в проходном сосуде. При повышении уровня воды исследуемый газ парциальным давлением вытесняется на следующую стадию технологии очистки.

8 – остатки откаченной жидкости поступают в резервный сосуд и остаются там до востребования.

При взаимодействии серного ангидрида с бокситовым шламом протекают следующие реакции с образованием сульфатных соединений [107]:



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

2.1. Результаты изучения поглотительной способности бокситового шлама

В ходе проведенных испытаний было показано, что БШ обладает наилучшими поглотительными свойствами, по сравнению с известью $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которая используется в качестве добавок в рассмотренной технологии (Рисунок 11). При производстве обожженной извести образуется большое количество парниковых газов, выбросы которых в атмосферу снижают экологические показатели, что влечет за собой дополнительные выплаты.

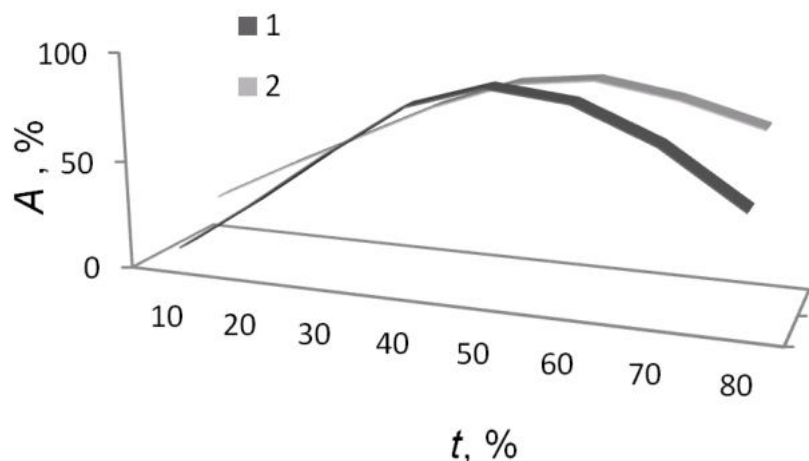


Рисунок 11. Сравнительная относительная поглотительная способность БШ по SO_2 (A) от времени (t): 1 – известковые растворы; 2 – пульпа с БШ

Из проведенных наблюдений можно подвести итог, что присутствие оксида кальция в материале поглотителя играет значительную роль. Также отсутствие этого компонента снижает емкостную способность всего вещества до минимума.

Многокомпонентный химический состав БШ значительно меняет емкостные свойства этого материала (Рисунок 12).

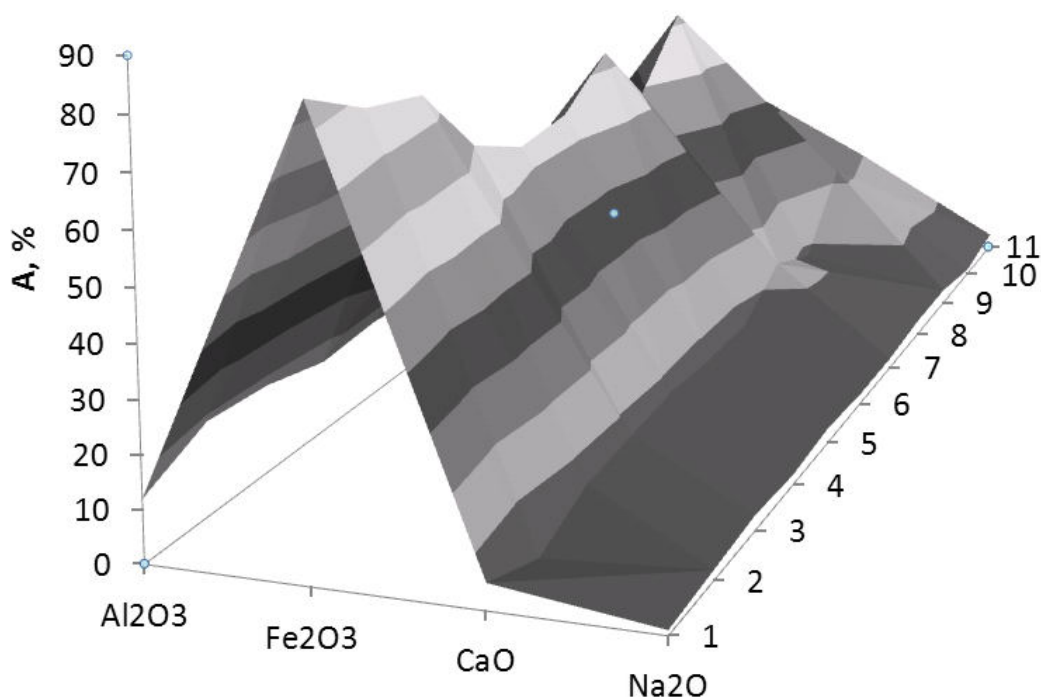


Рисунок 12. Теоретическая емкость (A) 11 проб отвальных шламов глиноземного производства по серному газу

Из графика видно, что теоретической наибольшей поглотительной способностью по сернистому газу обладает оксид железа, который кратно повышает показатели поглощения серосодержащих веществ. Результаты теоретической емкости бокситовых шламов показаны в тексте (Рисунок 13).

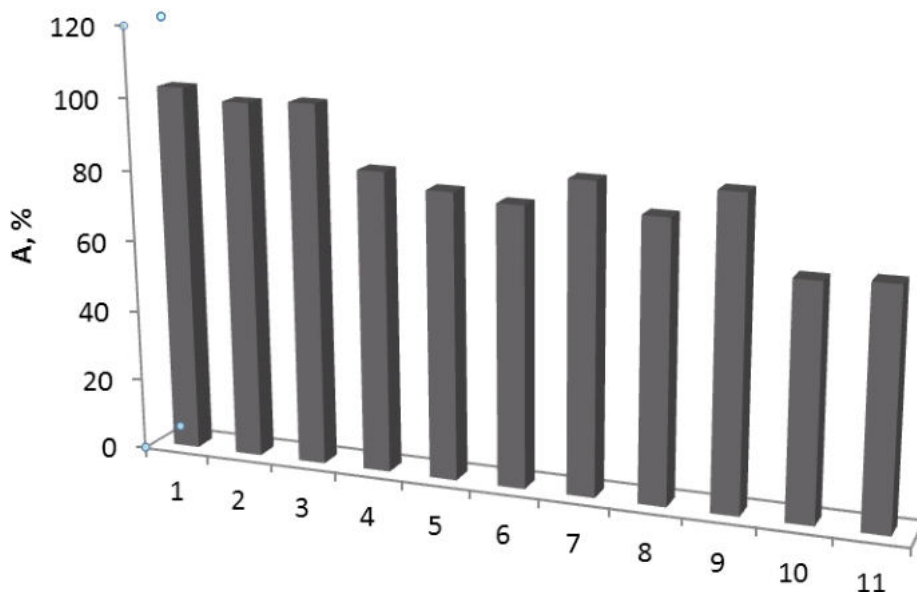


Рисунок 13. Общая теоретическая емкость (А) 11 проб отвальных шламов глиноземного производства по серному газу

2.2. Проведение испытаний

Для различных производственных целей, в основном, используется чистый сжатый газ, это наиболее отвечает запросам потребителей. Работа с отработанным газом составляет некоторую проблему потому, что содержит в себе соединений серы, которые являются загрязнителем и ухудшают работу оборудования, а также снижают работоспособность при попадании его в атмосферу воздуха участка. При решении этой проблемы представляло бы возможным использовать энергию горячего газа для наиболее широких производственных задач, что может кратно повышать экономические показатели [168–171].

Температура промышленных отходящих газов с участка грануляции шлака, содержащие значительную долю H_2S находится в пределах от 540° до $800^\circ C$. Поэтому использование тепла промышленного газа может приносить экономический эффект для нужд производства электроэнергии. Для этого необходимо предварительно извлечь H_2S , содержащегося в этом газе. Что впоследствии даст возможность отказаться от использования жидких поглотителей, а также ограничит процесс использованием твердых поглотителей, которые могут вступать в реакцию с H_2S при повышенных температурах. Материал поглотителя также должен быть регенерируемым воздухом для повторного использования в течение нескольких циклов поглощения H_2S из отработанных газов [166,172].

Имеется ограниченное число литературных источников по очистке промышленного газа в температурном диапазоне $540-800^\circ C$ для нужд производителя. Имеется информация о десульфурации промышленных газов диапазоне $20-700^\circ C$ с оксидом железа -16 + 100 крупности, где также содержатся данные о статических и слоях пульпы поглотителя между 320 и $400^\circ C$ [172–174].

1. Статические слои поглотителя испытывали при объемной скорости (100 единиц объема газа, пропускаемого за час, на единицу объема поглотителя). Слой пульпы поглотителя при 3000 об/ч. Емкостная способность массы серы на единицу массы поглотителя составила около 30%. При более высоких температурах и эффективность удаления H_2S увеличилась от 95 до 100 %. Была построена полномасштабная промышленная установка, способная обрабатывать до 100 млн. л коксового газа в день [175,176].

2. Оксид железа является поглотителем в слое пульпы, работающем в температурном диапазоне от 325° до $400^\circ C$. Общая работа установки показала удовлетворительный результат, т.к. по сообщениям наблюдались большие скопления мелкодисперсной оксидной пыли, в различных частях окружающей среды. В данной работе приводятся результаты исследования готовых твердых веществ, способных удалять H_2S из горячего промышленного отработанного газа с участка грануляции шлаков. Для этого использовали твердые вещества: (1)

спеченную смесь оксида железа (Fe_2O_3) смешанную с золой; (2) пемза, которая покрытая коркой расплавленного Fe_2O_3 ; и (3) спеченные гранулы, полученные из бокситовых шламов, остатки переработки глинозема, которые содержат около 50% Fe_2O_3 .

2.2.1. Методология проведения испытаний на поглотительную способность материала

Сканирующий прибор, используемый в этом исследовании, использовался при сжигании элементарной серы. Газы, содержащие серу, подаются с определенной скоростью для образования потока имитируемого потока газа с участка грануляции. Данный газ не содержит золы и смолы, а содержание H_2S приблизительно до 1,5 %.

Искусственно созданный газообразный продукт пропускают через слой испытуемого поглотителя, содержащегося в секции с электрическим нагревом из материала стойкого к щелочно-кислотной среде. Глинозем, находящийся в нижней части трубы превышал 250 мм в горячей зоне печи. Эти зоны поддерживают поглотительный слой и предварительно нагревают газ. Регенерационная установка, показанная в правой части технологической схемы, состояли из подачи воздуха регулятором давления и расходомером. Очищенный газообразный продукт и регенерирующий газ выделялись через общую систему. Поглотитель подвергали продувке загрязненными газами на высоте 380 мм. Скорость потока смоделированного газа составляла около 30 л/мин. Концентрация сероводорода в смоделированном газообразном продукте, варьировалась в пределах 20-23 мг/л. Эксперименты проводились при температурах 540°, 670° и 800°C. Опыты повторялись до установления концентрации H_2S в потоке эффлюентного газа испытательного слоя поглотителя на отметке 2,3 мг/л. При достижении этого порога процесс отдачи поглощенного материала считается завершенным. Сероводородные емкость поглотителя

рассчитывается по продукту концентрации H_2S , скорости потока и продолжительности испытания [177,178].

Концентрация сероводорода в газовом потоке определялась по методу Тутвилера и проверялась с помощью индикаторных трубок и газовой хроматографии. Было найдено оптимальное комбинирование этих методов. Поглотители регенерировали посредством пропускания воздушного потока через трубку при температуре от 540 до 800°C. Во время первых нескольких испытаний SO_2 , высвобождаемый во время регенерации, поглощался в 2,5 раза быстрее. В растворе каустической соды, жидкость подкисляли HCl и титровали йодом до полного обесцвечивания крахмала. Рассчитывался вес регенерированной серы и сравнивался с рассчитанной массой поглощенной серы для определения погрешности в балансе серы. Эти балансы обычно варьируются в пределах 20%. Дисперсия объясняется тем, что во время регенерации часть серы выделялась в элементарной форме и собиралась на отходящем конце реакционной трубки, поэтому не была измерима. Позднее концентрации SO_2 измерялась с помощью пропитанных пробивных силикагелевых труб.

2.2.2. Объект исследования

В рамках исследования были испытаны некоторые коммерческие поглотители, но они не дали удовлетворительных результатов, и все они распадались в используемом температурном диапазоне. Среди них были оксид железа, промотированный хромом, кальцинированные гранулы доломита и алкализованные гранулы оксида алюминия. Для получения более удовлетворительных поглотителей было подготовлено несколько других материалов для исследования. Первый материал (образец 1) состоял из смеси летучей золы (-4 + 6 крупности) с битумной угольной электростанции (Таблица 1) и чистого Fe_2O_3 . Летучую золу и оксид тщательно перемешивали, добавляли воду и получали гранулы и спекали при температуре около 980°C. Были также проведены испытания для спеченного таконита, и для спеченного чистого Fe_2O_3 .

Таблица 3. Химический состав спеченной зольной пыли, используемой для поглощения H₂S

Образец	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Проч.
№1	48,2	24,3	16,1	4,5	1,7	2,0	2,1	3,2	-
№2	64,2	13,8	1,4	3,1	3,4	7,8	7,2	0,1	-
№3	8,3	18,3	42,5	5,5	2,7	5,7	4,6	0,2	12,5
№4	21,2	7,5	17,6	46,6	2,4	3,8	3,5	0,2	6,0
№5	3,7	12,6	53,3	7,8	2,2	2,3	7,3	0,2	11,4
№6	7,6	13,8	19,3	34,8	5,9	2,8	6,1	0,2	9,0

№1-Спеченной зольной пыли; №2-Гранулированной пемзы; №3-Бокситовый шлам БАЗ (Богословский алюминиевый завод, г. Краснотурьинск); №4-Бокситовый шлам УАЗ (Уральский алюминиевый завод, г. Каменск-Уральский); №5-Бокситовый шлам НГЗ (Николаевский глиноземный завод, г. Николаев); №6-Бокситовый шлам ПАЗ (Павлодарский алюминиевый завод, г. Павлодар)

Второй поглотитель (образец 2), который был приготовлен, состоял из гранулированной пемзы с крупностью -4 + 8, с 99% содержанием Fe₂O₃, (Таблица 3). Гранулы пемзы были покрыты оксидом следующим образом: увлажненные гранулы помещали в стакан, добавляли сухой оксид и перемешивали до тех пор, пока не наблюдалось достаточно однородное покрытие гранул. Затем их нагревали при 800°C в течение 2 часов для спекания этих материалов. Некоторая усадка происходила во время нагрева, но гранулы оставались пористыми, и оксид хорошо прилипал к поверхности пемзы. Чрезмерная усадка и потеря пористости возникали при нагревании поглотителя до 1030°C.

Третий материал состоял из бокситового шлама (отхода после переработки глинозема). Они получались в виде порошка или гранул, поэтому перед использованием его предварительно размалывали. Порошок увлажняли достаточным количеством воды для образования пластической массы, которая была сформирована в гранулы диаметром около 8 мм, с предварительным нагревом до температуры 260°C, а затем при 1100°C выдерживали в течение 10-20

минут для получения твердого осадка. Химический анализ бокситовых шламов (образцы с 3 по 6) приведен в тексте выше (Таблица 3).

2.2.3. Результаты промышленных испытаний на участке грануляции шлака

Зола (75%) и Fe_2O_3 (25%) образовывали осадок с высокой поглощающей способностью серы, и не разрушались в условиях испытаний. Тесты одной партии поглотителя подтвердили поглощающую способность этой смеси золы- Fe_2O_3 и содержат результаты девяти последовательных циклов регенерации очищенного воздуха от H_2S . Данные показывают, что нет потерь в поглощающей способности, а также не наблюдалось заметного разрушения гранул. Поглотители с содержанием Fe_2O_3 более чем 37% трудно тестировать, по причине разрушения либо сплавления между собой гранул.

Результаты испытания композиционных материалов на основе пемзы покрытой оксидом железа, приведены в тексте (Рисунок 14). Они устойчивы к распаду, но проявляет некоторую тенденцию сливаться в более крупные частицы [179].

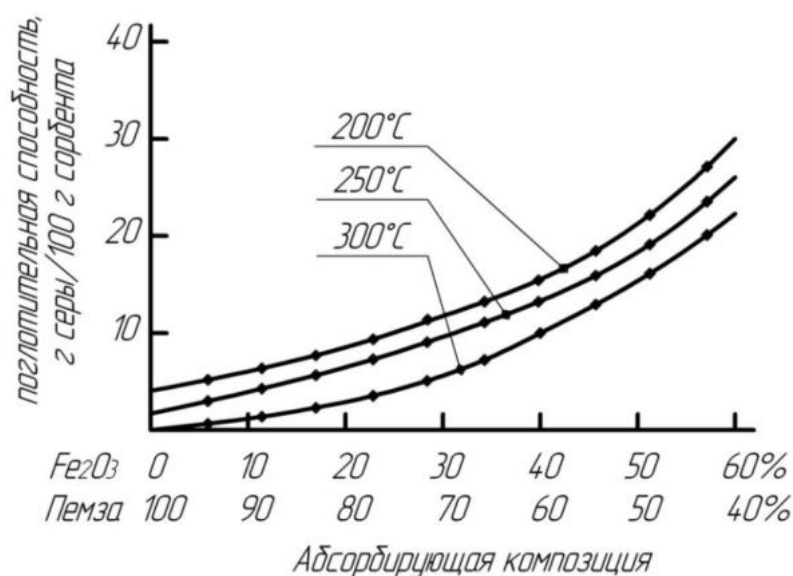


Рисунок 14. Поглощающая способность спеченной пемзы

Образец золы- Fe_2O_3 сформировала очень прочную структуру гранул, и имел самую высокую емкость по сравнению с другими протестированными образцами на этой основе.

Показана способность составов по поглощению серы, без разрушения структуры зерна или слипания в единые гранулы, что наиболее отвечает требованиям к материалам, используемых в качестве поглотителей для улавливания H_2S (Рисунок 15).

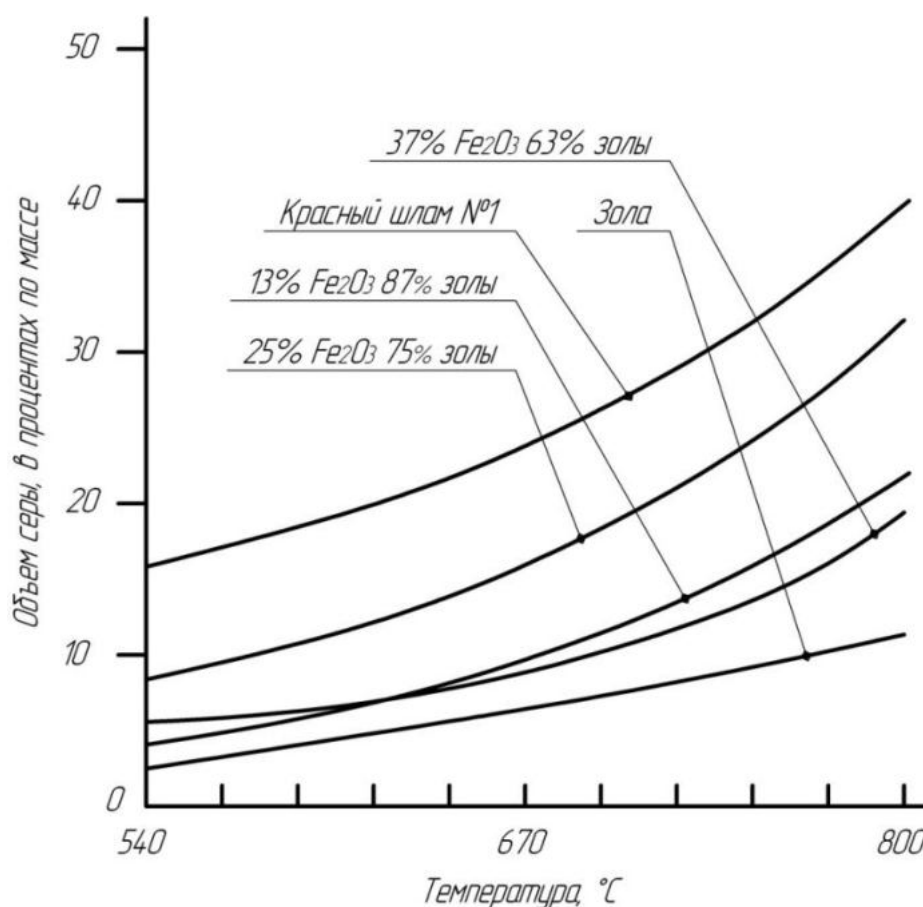


Рисунок 15. Поглотительные способности поглотителей по сероводороду при температуре 540-800°C

Во время регенерации всех поглотителей при объемных скоростях 57000 $\text{м}^3/\text{ч}$, рассчитанных при стандартных условиях (20°C и давление 1 атм.), мгновенные концентрации SO_2 измерялись с помощью труб химических детекторов. Ошибка в балансе серы составляла около 15% или менее, когда температура регенерации составляла 540° или 650°C. Когда температура

достигала 800°C , материал сливался с массой, которая, в последствие, не могла быть регенерирована. Температура в окрестности 540°C оказалось оптимальной для регенерации этих типов поглотителей. Выделение тепла при реакции экзотермической регенерации является достаточным для повышения температуры слоя до 200°C [180,181].

Полная регенерация поглотителей практически невозможна, по завершении процедуры остается малая часть SO_2 , что показали измерения после выдержки в течение 80 часов. Регенерация протекает с высокой скоростью (от 6 до 10 % SO_2) в течение первых 30-50 минут, затем падает примерно до 1% по объему через 1 час, затем быстро уменьшается и медленно приближается к нулю. График представляет собой зависимость концентраций SO_2 от времени для испытаний, при которых температура поглощения составляла 540° , 670° и 800°C , а температура регенерации составляла 540°C (Рисунок 16).

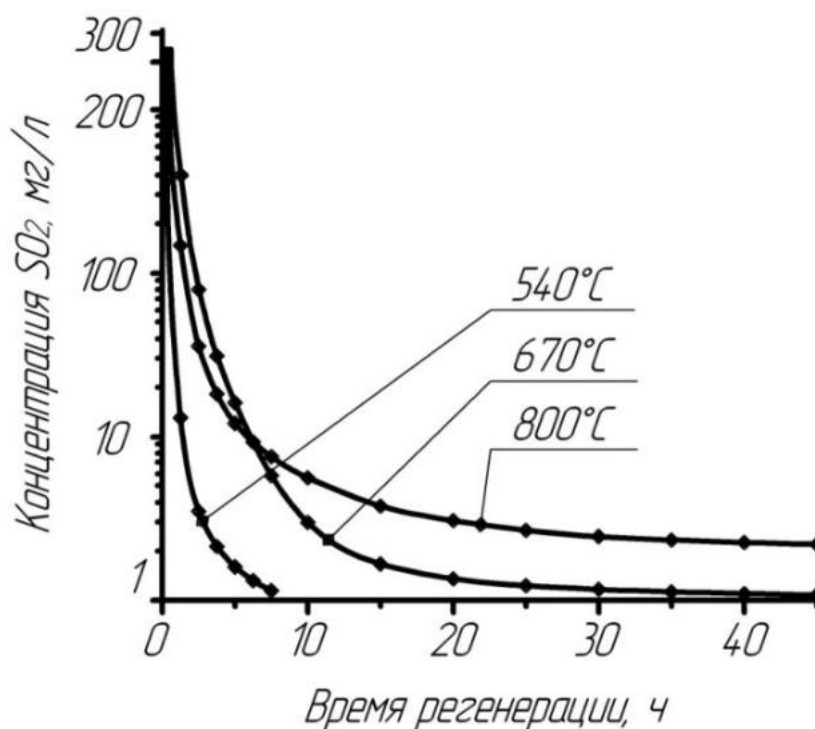


Рисунок 16. Обычная концентрация SO_2 в зависимости от времени регенерации

Вес серы, регенерированный в любом из этих трех испытаний в течение первого часа, составлял, по меньшей мере 80% от общего количества, которое

участвовало в реакции. Испытания материала с 63% золы и 37% Fe_2O_3 проводились при температуре регенерации 800°C , что являлось достаточным для быстрой регенерации гранул поглотителя с низким содержанием серы (около 8%). Но не обеспечивала быструю регенерацию в образцах, в которых гранулы имели высокое содержание серы до 34%. Гранулы с низким содержанием серы (10% или менее), по-видимому, регенерировали быстрее, чем гранулы с содержанием серы 30% или более, что указывает на то, что регенерация должна быть начата до достижения предела емкостной способности.

Смеси 75% золы и 25% Fe_2O_3 давали емкостную способность улавливания серы от 8% при 540°C , и до 43% при 800°C . Гранулы, содержащие 40% пемзы и 60% Fe_2O_3 , показали, что их емкость по сере составляет 23% при 540°C , и до 30% при 800°C . Наиболее эффективным поглотителем был бокситовый шлам, имеющий емкость от 16% при 540°C , и до 45% при 800°C . Этот продукт является отходом металлургического производства и на данный момент стоит остро вопрос об его утилизации в больших объемах. Данная технология открывает возможности использования этого материала в качестве поглотителя для улавливания соединений серы на участке грануляции. Спеченный поглотитель значительно уменьшит расходы на подготовку и использование этого поглотителя для регенерации воздуха (Рисунок 17).

Это обусловлено способностью материала восстанавливать свои емкостные свойства после прохождения термической обработки без разрушения структуры зерна.

Спектрографический анализ продуктов реакции выявил образование троилита (FeS). Стехиометрические расчеты указывают на образование сульфида железа (Fe_2S_3) и пирита (FeS_2) в качестве продуктов реакции. Точно определить стехиометрию не представлялось возможным из-за многочисленных форм, в которых может образовываться сульфид железа. Реакция осложняется еще тем, что в поглотителе присутствуют другие оксиды металлов, которые могут иметь способность поглощать H_2S в исследуемых условиях.

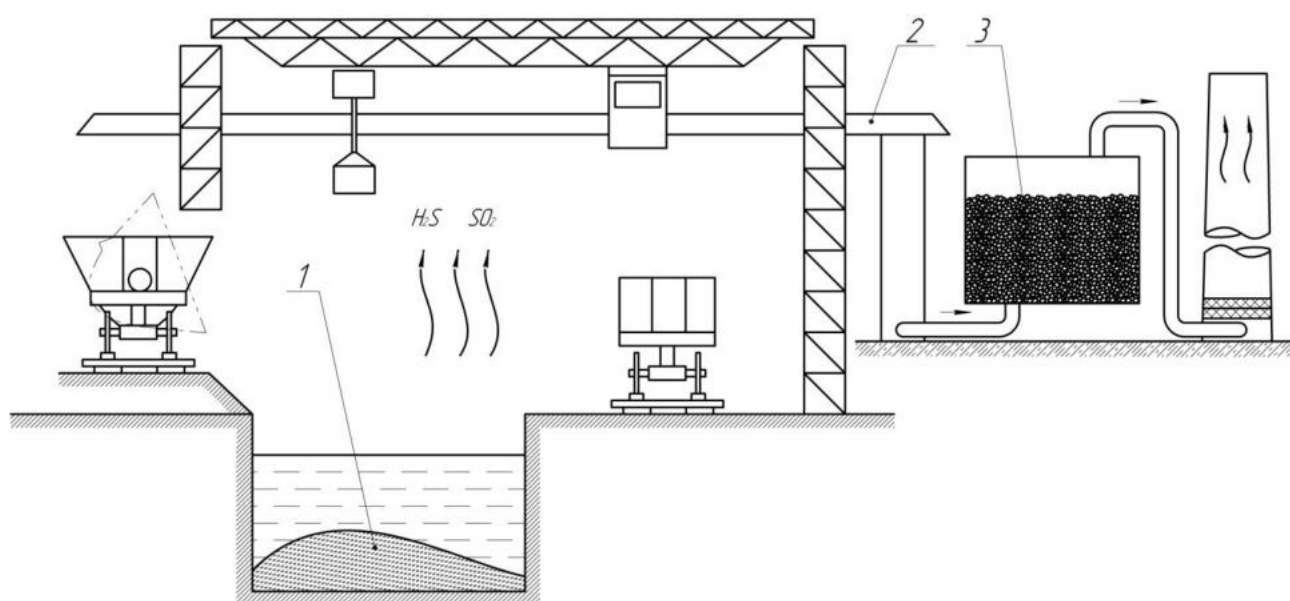


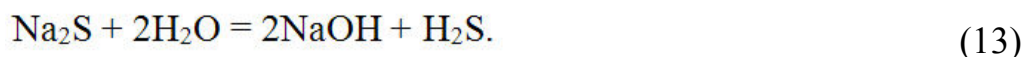
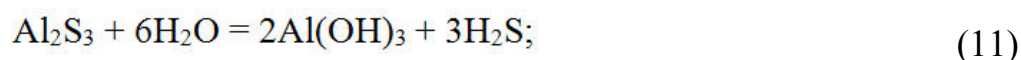
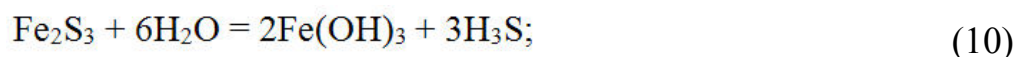
Рисунок 17. Схема очистки атмосферного воздуха от соединений серы на участке грануляции: 1 - граншлак; 2 - паро-газоулавливатель; 3 - емкость со спеченным поглотителем

Возможные способы извлечения серы, содержащейся в SO_2 в процессе регенерации, представляют собой каталитическое превращение в SO_3 , с последующим получением серной кислоты или реакцию SO_2 с некоторым количеством газа в присутствии катализатора с образованием элементарной серы.

Были проведены газохроматографические анализы, как потоков входящего, так и отходящего газов (при использовании спеченного оксида золы - трехвалентного железа), для определения происходит ли перегруппировка состава газа, а также образуются ли газообразные соединения серы, которые не обнаруживаются титрованием по H_2S . При $800^\circ C$ образовывал водяной пар и небольшая концентрация метана (0,4%).

2.3. Анализ результатов промышленных испытаний

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



На втором этапе образуется сернистый газ по следующей реакции:



Как видно из реакции (12), вода, помимо участия в реакции газообразования, исполняет роль охлаждающего агента, повышает вязкость шлака и его способность удерживать газы [110–113]. 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 18).

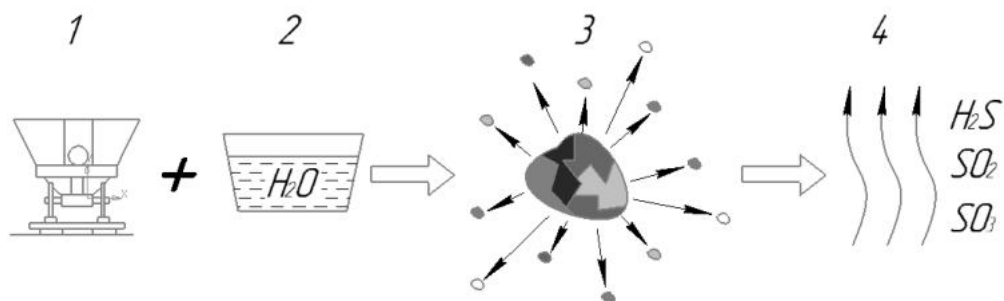


Рисунок 18. Образование газообразных серосодержащих выделений в ходе процесса грануляции шлака: 1 – шлак; 2 – бассейн с водой; 3 – грануляция; 4 – выделение серосодержащих соединений

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 улавливания значительной части сероводорода и сернистых газов [106,114].

Структура гранулированного шлака (рисунок 18) после предварительной обработки, имеет пористость, которая способствует улавливанию газов. Причина улавливания серосодержащих соединений объясняется процессом поглощения. Поглотитель шлака в основном скапливается в порах, размер которых соизмерим размеру поглощаемого вещества. Выделившиеся газы в момент соприкосновения шлака с водой несут в себе положительно заряженные частицы, при взаимодействии с бокситовым шламом происходит притягивание и осаждения на поверхности пористой структуры серосодержащих веществ. Таким образом, насыщение поглотителя проходит посредством межпористого пространства, от которого зависит общая емкостная способность материала [107,115–117].

Отрицательно заряженные частицы поглощаемого материала также осаждаются на поверхности, примыкая к ранее притянутым частицам, и образуют диффузионный слой. Следствием взаимодействия этих материалов является практически полное исключение серосодержащих выбросов в атмосферу рабочего пространства. Химический состав доменного шлака следующий: 39,38 % SiO_2 ; 1,42 % S; 4,80 % MgO ; 6,10 % Al_2O_3 ; 0,28 % MnO ; 47,68 % CaO ; 1,02 % FeO ; 0,50 % K_2O ; 0,60 % Na_2O .

2.2.1. Исследование поведения бокситового шлама в условиях грануляции

Изучение емкостных свойств бокситового шлама – отхода глиноземного производства. В процессе переработки на участках припечной грануляции шлака происходит повышенное выделение сероводорода в атмосферу, что является вредно для здоровья человека. Применение исследуемого бокситового шлама в качестве поглотителя токсичных соединений серы, содержащихся в промышленных газах, может составить альтернативу дорогостоящим извести и известняку. Для изучения емкостных свойств бокситового шлама была собрана лабораторная установка гран-бассейна. В качестве охлаждающей жидкости

использовалась пульпа бокситового шлама с соотношением Ж:Т=5:1. Для расплавления доменного шлама использовалась высокотемпературная печь с открытым дном. При достижении критической температуры расплавленный материал, попадая в воду, гранулировался. Для определения содержания вредных соединений в атмосфере пространства установки использовался портативный прибор ПГА-200. Установлено оптимальное соотношение компонентов состава бокситового шлама для максимальной степени улавливания соединений серы, что подтверждается его поглотительной активностью. Изучены емкостные свойства материала. Его высокая поглотительная способность обусловлена отношением оксидов кальция, магния и алюминия к оксиду кремния. Установлено, что модифицированный граншлак, по сравнению с обычным граншлаком, обладает повышенными техническими свойствами (скорость сушки и затраты энергии на размол). На основе проведенных лабораторных исследований установлено, что бокситовый шлак может применяться в качестве нового поглотителя как для систем очистки атмосферного воздуха, так непосредственно и на рабочем участке. Применение бокситового шлама в качестве модификатора при грануляции шлама имеет большое преимущество по сравнению с другими способами грануляции, использующими оксид и гидроксид кальция. Добавка является не только десульфуратором, но и служит ценной составляющей для переработки шлама с дальнейшим применением его в строительной индустрии – производстве цемента, керамзита и т.д., что улучшает технические характеристики этого продукта [88,108,120–122].

2.2.2. Методика исследования поведения бокситового шлама в условиях грануляции

Цель исследования показать возможность применения бокситового шлама в качестве модифицирующей добавки, применяемой в технологии грануляции шлама. Это позволит решить задачу утилизации техногенных отходов, которые ежегодно накапливаются в больших объемах вблизи металлургических

предприятий, что отрицательно сказывается на окружающей среде. Дальнейшее снижение экономической составляющей путем замены традиционно используемых материалов, нуждающихся в предварительной обработке на предлагаемый отход глиноземного производства – бокситовый шлам.

Материалом для исследования служили шлаки различных производств указанные в тексте (Таблица 4).

Таблица 4. 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–	32,0–	6,0–	7,0–	7,0–	0,2–	3,0–	1,0>
	42,0	40,0	9,0	10,0	11,0	0,3	7,0	
мартеновский	24,0–	24,0–	4,0–	8,0–	6,0–	1,0–	13,0–	1,2–1,8
	28,0	25,0	5,0	11,0	7,0	2,0	27,0	
конвертерный	40,0–	7,0–	2,0–	6,0–	13,0–	9,0–	12,0–	>2,0
	55,0	18,0	6,0	10,0	14,0	17,0	28,0	
Электро- сталеплавильный	32,0–	17,0–	2,0–	11,0–	1,0–	>2,0	1,0–	>3,0
	55,0	22,0	9,0	17,0	5,0		25,0	
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaCl ₂	P ₂ O ₅	KCl	NaCl
Алюминиевые шлаки	–	1,8–	6,5–	2,0–	–	3,0–	38–59	11,4–34,1
		3,5	12,6	7,2		4,2		
Шлаки химической промышленности	44,7–	34,0–	1,1–	0,9–	–	до	–	–
	50,0	45,0	3,3	4,4		2,5		

Гранулирование шлаков не является сложной емкой операцией. Процесс состоит в том, что расплав шлака резко охлаждается в среде пара, воды или воздуха [123–125].

Доступная технология изготовления гранулированного шлака не несет сложных технологических отличий, зависящих от его вида. Поэтому подвергать грануляции можно любые шлаки. Наилучший результат приносят шлаки, богатые оксидом кальция (доменные, мартеновские), в результате резкого охлаждения шлакового расплава образуется 2-кратное увеличение объема материала, что

предотвращает силикатный распад [110,126]. Состав граншлака обладает вяжущими свойствами из-за стекловидной структуры. Схема структуры представлена в тексте (Рисунок 19).

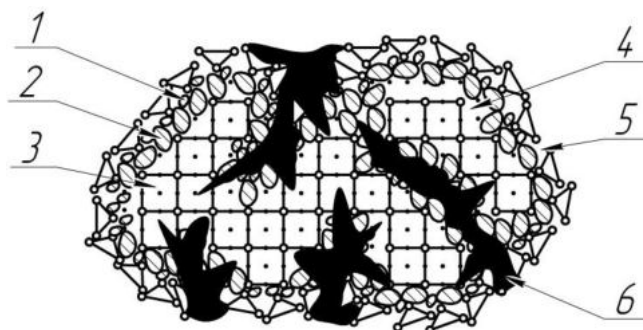


Рисунок 19. Схема строения крупной гидратированной частицы шлака:

- 1 – отрицательно заряженные глинистые частицы в диффузионном слое;
- 2 – положительно заряженные частицы гидроксида алюминия в поглощающем слое, контактирующие с поверхностью ядра;
- 3 – кристаллическая решетка ядра, состоящая из оксидов металлов;
- 4 – поглощающий слой;
- 5 – диффузионный слой;
- 6 – пористость

Полусухой способ осуществляют преимущественно в гидрожелобных установках. Заключающийся в том, что расплав, доставляемый шлаковозным ковшом, сливается в грануляционный желоб, где подхватывается струей воды, охлаждается и разбивается на гранулы. Образовавшийся граншлак, в полном объеме, поступает на участок подсушки, и затем его отгружают на склад.

Как правило, практически все способы первичной переработки шлаков сопровождаются выбросами высокотоксичных загрязняющих веществ. Это связано с химическим составом шлака, в котором сера содержится в пределах 0,01–3,50%, и способами гранулирования: (Таблица 5).

Таблица 5. 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	–
Пемза	Гидроэкранныя с барабанным холодильником	3,00–4,00	1,40–3,30
		0,30–0,70	0,70–2,60
Щебень	Траншеи	0,05–0,10	0,10–0,20

В зависимости от применяемой технологии вида получаемой продукции, сера может находиться в газовой фазе в соединении серного ангидрида и сероводорода [127–130].

Таким образом, существует необходимость обезвредить парогазовые выбросы шлакоперерабатывающих предприятий с целью защиты окружающей среды и обеспечения нормальных условий труда.

Существует множество способов, подтвержденных многочисленными испытаниями, по обезвреживанию вредных веществ, содержащихся в отходящих газах шлакоперерабатывающих технологий:

- подача известкового раствора в охлаждающую воду (разработка УралНИИ «Экология», г. Пермь);
- обработка расплава раствором с добавлением щелочи, щелочноземельных металлов, карбонатов (фирма «United States Steel», США);
- десульфурация газов в поглотителях суспензий металлургического шлака (фирмы «Мицубиси Дзюкоге», «Син-Ниппон Сэйтецу», Япония).

Наибольшее предпочтение отдается способам, которые в качестве реагента используют известь как недорогой и доступный материал [131–134].

Донецким филиалом Всероссийского научно-исследовательского и проектным институтом «Черметэнергоочистка» разработана технология обезвреживания

парогазовых выбросов непосредственно в гидрожелобе в момент выделения соединений серы путем подщелачивания оборотной воды, используемой для обработки шлака, до значения рН 12,0–12,5. Данная технология внедрена в схемах обезвреживания выбросов на шлакопемзовой установке НЛМК (Новолипецкий металлургический комбинат), Криворожсталь (Кривой Рог, Украина). Эффективность способа высока по сравнению с «традиционной» водной грануляцией, но существует необходимость ввода специальных добавок-регуляторов затвердевания шлаковых частиц, так как известь повышает гидравлическую активность гранулированного шлака и уменьшает его подвижность в установке. Применение данного способа снижает выделение серосодержащих соединений на 70–80% (концентрация H_2S составила 80 мг/м^3 , что восьмикратно превышает уровень ПДК для H_2S , который составляет 10 мг/м^3) [135–137].

Вредные выбросы шлакоперерабатывающих предприятий рассеиваются на уровне поверхности земли, что повышает степень загрязнения на рабочих площадях и близлежащих районах. Причем, количество этих выбросов, интенсивность их выделения обуславливаются свойствами, составом шлаков и условиями их обработки. В технологии грануляции доменного шлака основным токсичным веществом является H_2S . При производстве литого щебня в соотношении 1:1 образовывается сероводород и сернистый ангидрид. При производстве пемзы с применением барабанных холодильников (разработки УралНИИ «Экология», «ЛЕННИИГИПРОХИМ», г. Санкт-Петербург, Россия), соотношение выделившегося сероводорода и сернистого ангидрида составляет 1:4 [138].

На промышленном комбинате «Запорожсталь» (г. Запорожье, Украина) совместно с ВАМИ (г. Санкт-Петербург, Россия), ДАЗ (г. Днепропетровск, Украина), НИИСМИ (г. Киев, Украина), НИИОГАЗ (г. Москва, Россия) было проведено испытание другого способа переработки шлака. Преимуществом данной технологии является применение отходов глиноземного производства –

бокситового шлама вместо традиционно используемых материалов, содержащих известь [139].

Как известно, при переработке бокситов по способу Байера на каждую тонну глинозема получается более 1 т отхода (бокситового шлама), а в способе спекания – до 2,5 т. Бокситовый шлак состоит из оксидов, мас. %: железа (38–52), алюминия (12–15), кремния (7–12), кальция (10–14), титана (4–5), натрия (3–5), и прочих – сера, фосфор (2–8). Складировается на шламохранилищах, отвалах, чем наносит большой ущерб природе и негативно влияет на экономику предприятия из-за штрафных санкций на землепользование и загрязнение окружающей среды. Ввиду высокой поглотительной способности бокситового шлама к соединениям серы данный материал показал хорошие результаты при применении его в качестве добавки в охлаждающую жидкость при грануляции шлама. Состав бокситового шлама представлен в тексте (Таблица 6).

Таблица 6. Химический состав бокситового шлама

Содержание оксидов, % по массе									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
27,04	11,21	34,76	1,36	10,35	0,44	0,68	1,20	0,08	13,00

Нами были проведены исследования по изучению поглотительной способности добавок в составе охлаждающей жидкости в условиях грануляции. В качестве пульпы в лабораторной установке гранбассейна (Рисунок 20) был использован бокситовый шлак в соотношении Ж:Т = 5:1, который подавался через дозатор 4 в емкость бассейна, залитую водой. Химический состав шлама приведен в таблице 7. Посредством устройства 10 поддерживалась однородная концентрация охлаждающей жидкости 3. Metallургический шлак 1, расплавленный в печи 2, установленной на подвижный кронштейн 11, попадал в среду охлаждающей жидкости, где происходило разрушение частиц шлама и оседание гранул 12 на сите 8.

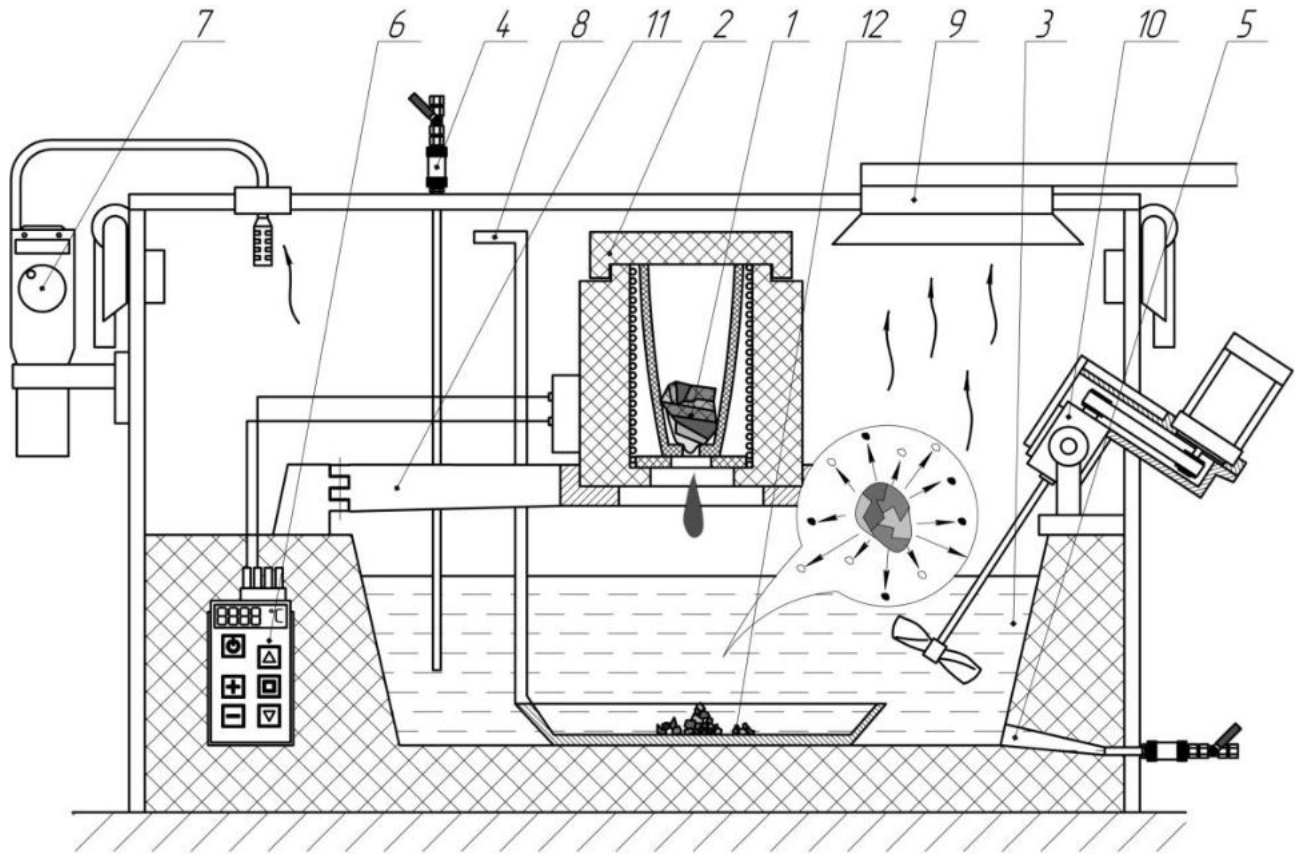


Рисунок 20. Схема лабораторной установки грануляции шлака (описание в тексте).

Режим работы печи задается и поддерживается пультом управления 6. Основной поток газовой составляющей удаляется из пространства установки через газоотвод 9. Другая часть фиксируется газоанализатором 7 для установления концентрации вредных примесей в атмосфере установки. В процессе выпуска через слив 5 опытной партии охлаждающей жидкости уровень кислотности грануляционной среды составлял $\text{pH} \geq 3,0$.

Японскими специалистами разработан способ использования бокситового шлама при грануляции шлаков. Так как активность (K) и отпускная стоимость доменных шлаков прямо пропорциональна содержанию в них оксида алюминия, кальция и обратно пропорциональна содержанию оксида кремния [140–142]:

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} \geq 1,5 \quad (15)$$

Поэтому для оптимальной работы поглощения серы соотношение бокситового шлама должно соответствовать следующим параметрам:

$$K = \frac{(5 \div 25\%)CaO + (7 \div 17\%)Al_2O_3}{(5 \div 10\%)SiO_2} \geq 2 \quad (16)$$

2.2.3. Результаты изучения поведения бокситового шлама в условиях грануляции

Нами была изучена поглотительная способность бокситового шлама в условиях грануляции. Изменение состава материала по основным компонентам приведено ниже ("Рисунок 21). Оно свидетельствует о том, что чем выше концентрация бокситового шлама в жидкой фазе, тем больше поглощается соединений серы на поверхности и в объеме частиц граншлака, количество которого при выпаривании уменьшается.

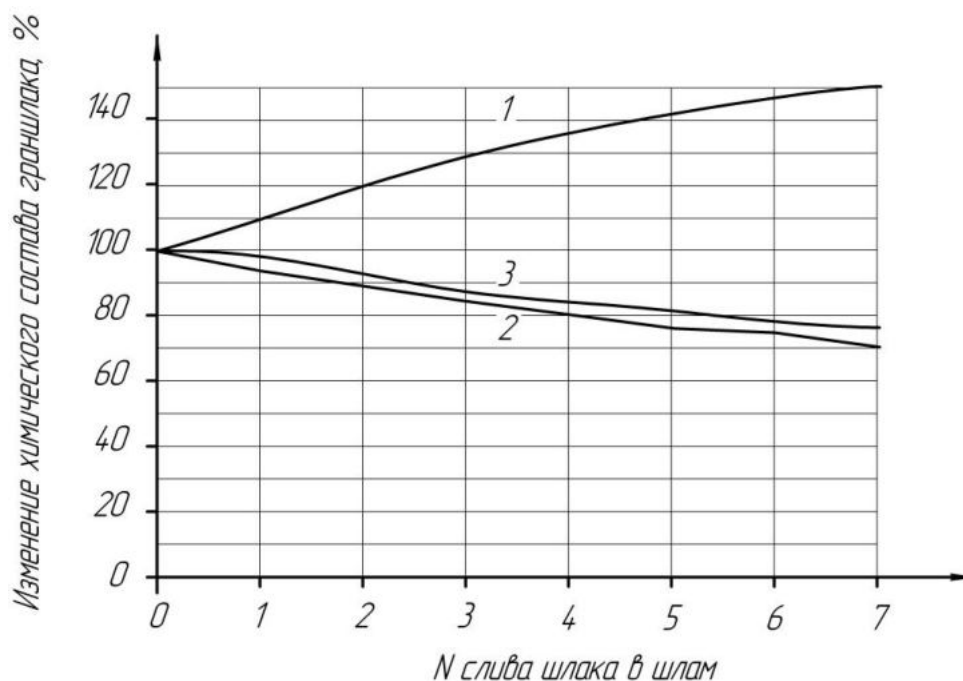


Рисунок 21. Изменение химического состава граншлака оптимального количества сливов шлака в бокситовый шлам по основным компонентам:

1 – Al₂O₃, 2 – SiO₂, 3 – CaO (за 100% принимается состав применяемого граншлака)

Кинетику сушки обоих материалов определяли на приборе «АКИП-9302» с ИК-измерителем (Россия). Полученные кривые на графике свидетельствуют о

том, что скорость сушки (угол наклона линии тренда) шламошлака выше, чем у обычного граншлака.

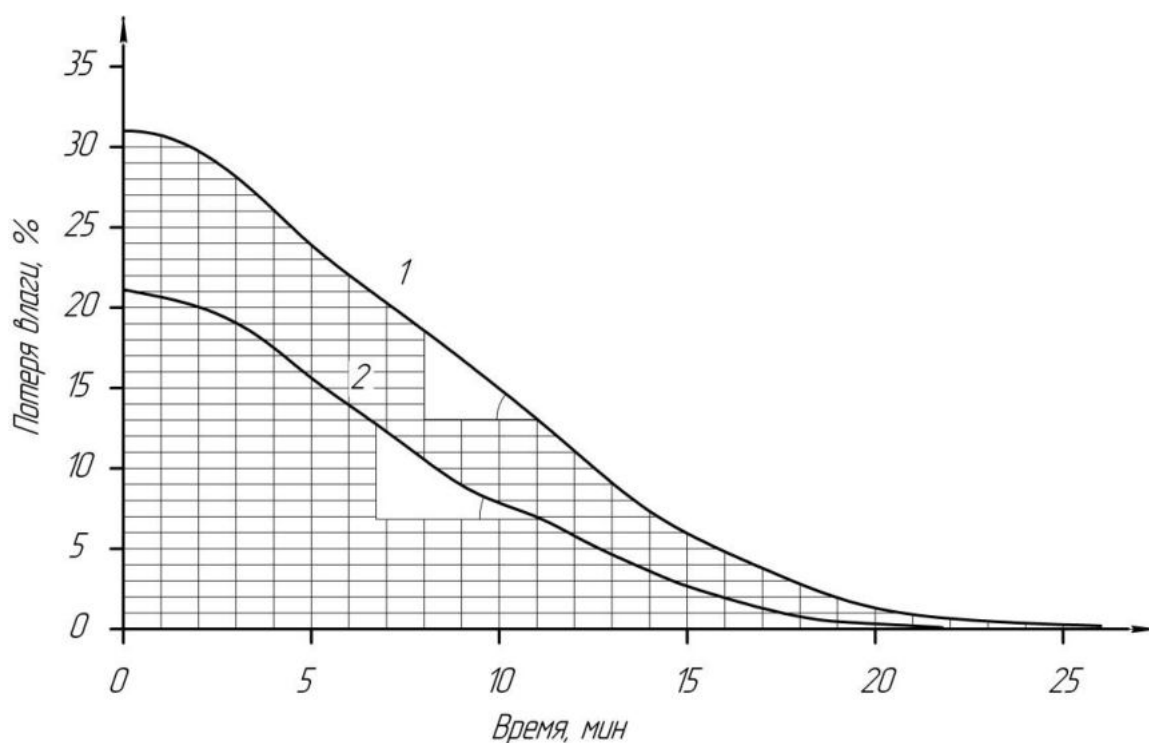


Рисунок 22. Скорость потери влаги: 1 – шламошлак, 2 – граншлак

В то же время, более пористый материал легче и быстрее размалывается, что способствует экономии на переделе размолла и улучшению качества шлако-портландцемента. Действительно, как показали испытания, время помола до 8%, крупности 0,08 мм у модифицированного граншлака, по сравнению с обычным, 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 (Рисунок 23), а также на качестве цемента.

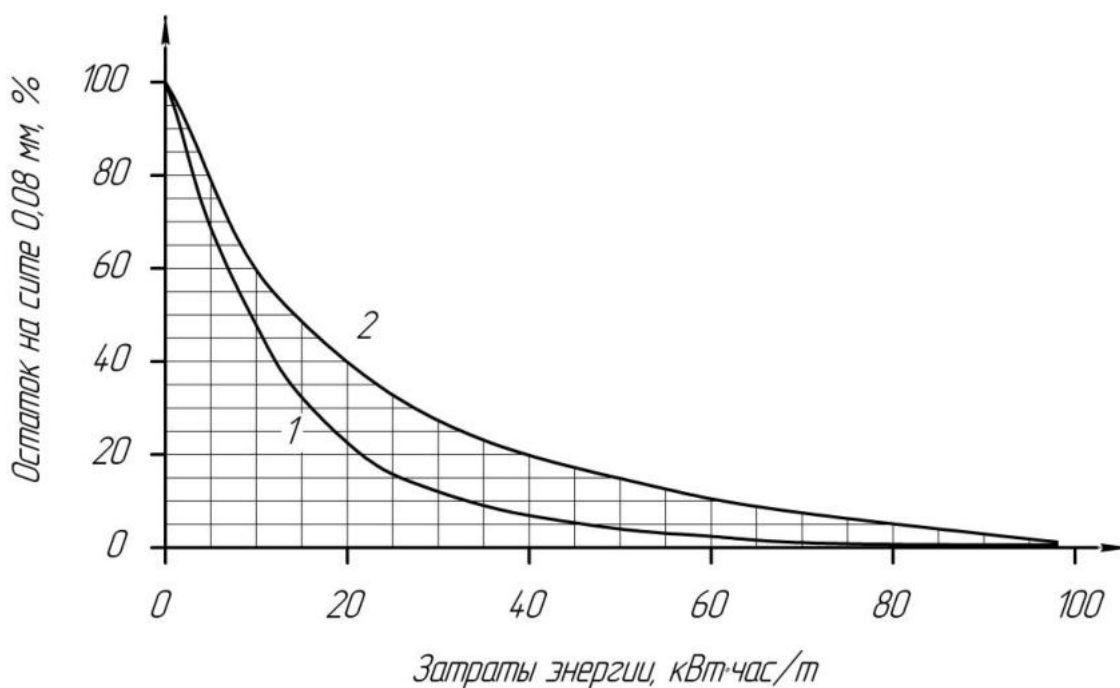


Рисунок 23. Кинетика размола: 1 – шламошлак, 2 – граншлак

Для определения концентрации примесей в воздухе атмосферы установки использовался портативный прибор «ПГА-200» (Россия). При определении концентрации H_2S в парогазовых выбросах опыт показал положительный результат. Грануляция шлакового расплава в среде охлаждающей жидкости, в составе которой пульпа бокситового шлама, приводит к уменьшению концентрации соединений серы в паровоздушных выбросах до 10 мг/м^3 , т.е. в 100 раз по сравнению с грануляцией в воде. При других способах грануляции содержание сероводорода в составе граншлака остается значительно выше.

Таким образом, выявлена возможность получения в промышленных условиях модифицированного граншлака, с введением в состав его БШ по технологии грануляции мокрым способом.

Результаты исследования процесса грануляции с применением добавки бокситового шлама показали положительный экологический и экономический эффекты. Скорость сушки модифицированного граншлака увеличивается на 25%, по сравнению с обычным граншлаком, а усилия на размол материала снижаются на 15%. В целом это снижает время на подготовку материала для последующего применения.

2.2.4. Результаты испытаний при грануляции шлака

Поскольку на практике для очистки от сернистого газа в большинстве случаев используют известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$, экспериментальными исследованиями на пульпах было установлено, что БШ по сравнению с известью обладает не худшими емкостными свойствами. Приведены данные по использованию тонкомолотой извести и БШ по своей эффективности они практически равны, но БШ значительно технологичнее и дешевле (более чем в 5 раз) [146–149].

Технология использования БШ при грануляции серосодержащих расплавленных шлаков была испытана в промышленных условиях. Одним из наиболее распространенных серосодержащих шлаков являются шлаки доменного производства.

Промышленные испытания по использованию БШ для очистки от серы выбрасываемых в атмосферу промышленных газов были проведены на предприятии "Северсталь" (Череповец, Вологодская обл., Россия). Результаты показывают, что с помощью БШ степень очистки от этих газов в атмосфере может достигать 97-100%.

Недостатком использования БШ для очистки промышленных газов от серы является проблема с использованием насыщенного поглотителя, который сливается в шламохранилище. Более выгодным является использование БШ вместо извести при грануляции доменных шлаков (Рисунок 24). Предлагаемый метод грануляции доменных шлаков обеспечивает безотходную технологию. Процесс грануляции страдает от выделения на рабочую площадку большого количества сероводорода на много превышающих ПДК ($0,008 \text{ мг/м}^3$) [153–156]. Были проведены промышленные испытания, показавшие, что с помощью БШ в виде пульпы с Ж:Т=3:1, содержание сернистых газов в атмосфере участка может быть уменьшено на два порядка.

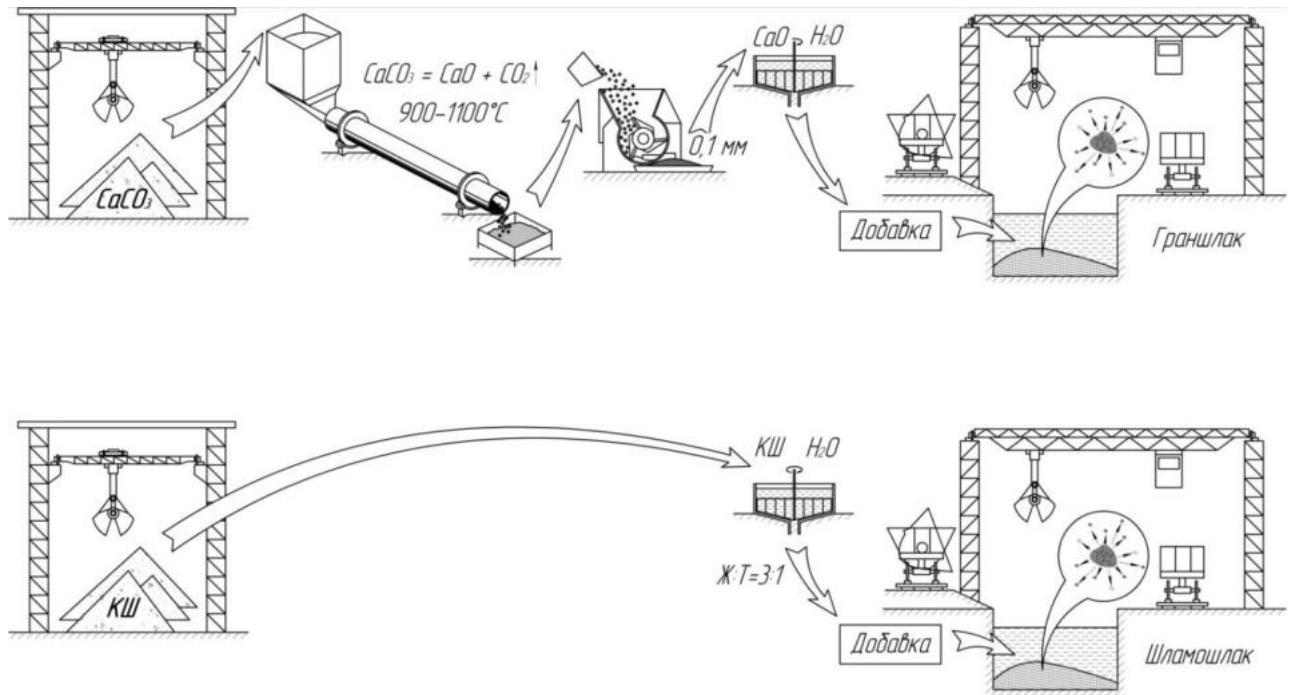


Рисунок 24. Сравнительная схема подготовительной поглотительной добавки в охлаждающую жидкость при грануляции расплавленных металлургических шлаков

Технология использования БШ при грануляции доменных шлаков является безотходной технологией. БШ входит в состав граншлака, улучшая его технологические свойства. Увеличивается скорость сушки этого материала для снижения затрат на транспортировку. А также уменьшается расход электроэнергии на размол граншлака перед вводом в состав шлакопортландцементов [157,158]. Кинетическая зависимость количества поглощенного из газовой фазы оксида серы от времени взаимодействия с тонкодисперсным БШ в качестве добавки в охлаждающей жидкости с Ж:Т=5:1 представлена в тексте, где α показывает скорость снижения скорости насыщения (Рисунок 25).

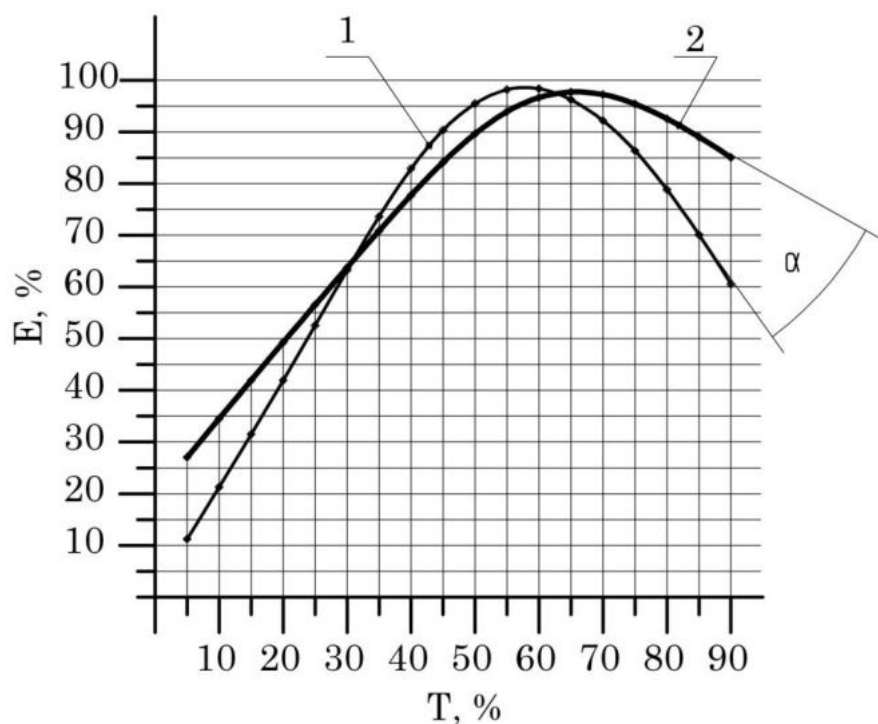


Рисунок 25. Кинетическая зависимость количества поглощенного из газовой фазы оксида серы:
 1 - пульпа на основе $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 2- пульпа БШ; E- поглотительная емкость пульпы,
 T – время взаимодействия.

В промышленных испытаниях было использовано около 200 тонн БШ. При определении содержания SO_2 в парогазовых выбросах опыт показал положительный результат. Содержание сероводорода $7,0\text{-}8,0 \text{ мг/м}^3$ значительно ниже показателей его содержания при других способах грануляции.

Выводы по главе 2

1. Опубликованный зарубежный опыт использования бокситовых шламов при глиноземных заводах для очистки от соединений серы выбрасываемых газов котельных установок, работающих на дешевых сернистых мазутах, не содержит технологических деталей и неприемлем по причине возврата отработавших шламов в шламонакопитель, препятствующего использованию замкнутого щелочного водооборота.

2. Для исследований рациональной технологии использования бокситовых шламов для очистки газов от сернистых соединений была создана специальная лабораторная установка.
3. С ее использованием определена оптимальная технология применения отвального бокситового шлама (БШ) по данному направлению в виде пульпы с отношением Ж:Т около 5:1, которая позволяет заменять известковые минеральные материалы для очистки отходящих промышленных газов от соединений серы в соотношении по твердому оксиду кальция извести, в том числе, известняка в соотношении $\text{CaO}:\text{БШ}=1:1$.
4. Анализом проведенных опытно-промышленных испытаний по оценке эффективности использования бокситовых шламов для очистки от сернистых соединений отходящих газов ТЭЦ, аглофабрики и сталеплавильного агрегата установлена возможность сокращение выброса в атмосферу этих соединений более, чем на 98 - 99%.
5. Необходимы технологии безотходного использования емкостных свойств отвальных бокситовых шламов, к примеру, для грануляции серосодержащих расплавленных шлаков.

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТВАЛЬНЫХ БОКСИТОВЫХ ШЛАМОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИИ НА ПЕРЕДЕЛЕ ГРАНУЛЯЦИИ РАСПЛАВЛЕННЫХ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ И УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ

3.1. Очистка от серы

Цель опытов заключалась в определении емкости бокситового шлама и сравнения ее с показателями теоретической емкости. Для опытов использовались образцы шламов в сухом виде, фракции -2мм; - 5+2мм; +5мм и в виде пульпы с Ж:Т от 3:1 до 8:1. В печь помещалась навеска алунита, выделяющего сернистый газ, в восстановительных условиях при нагреве до 800-850°C. Через установку пропусклся воздух, смешанный с SO₂, со скоростью 1 л/мин. Использовались две емкости, в первую из которых смесь воздуха и SO₂ проходила через слой шлама. Во второй - непоглощенная часть SO₂ дополнительно проходила через раствор NaOH (0,5N) с перекисью водорода. Момент нейтрализации раствора щелочи, определялся по исчезновению окраски индикатора фенолфталеина. Количество серы, поглощенной шламом, определялось по разнице между выделенной навеской алунита и поглощенного в склянке со щелочью. Каждый опыт включал в себя обжиг десяти навесок алунита по 10 г. Результаты опытов по поглощению SO₂ из воздуха отвальным шламом показали, что поглощение SO₂ проходит интенсивнее при использовании более мелкой фракции. Навеска алунита, весом 10 г, при полном разложении давала 1,1 г SO₂ за 15 - 30 мин. Средняя концентрация SO₂ в воздухе составляла 0,05 г/л. Количество 10 г. достаточно для насыщения 50 г шлама и снижения степени поглощения до 10 - 12%. В случае с растворенным в воде шламом наблюдалось частичное растворение оксидов натрия и алюминия. Практически весь оксид кальция при взаимодействии превращается в гипс. На основании опытов удалось определить, что емкость экспериментальная значительно меньше теоретической емкости. Взаимодействие

первых порций SO_2 с поверхностью частиц образует CaSO_4 , что закрывает доступ в поры частицы и процесс поглощения значительно падает. Обработка газом, взятого в виде пульпы с Ж:Т от 3:1 до 8:1 приводит к поглощению SO_2 более активно по сравнению с материалом взятом в твердом виде. Установлена возможность доизвлечения полезных компонентов, таких как Na_2O и Al_2O_3 . А практически весь CaO шлама превращается в гипс $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, что является полноценным заменителем извести для процессов очистки газов от кислотных оксидов и соединений серы.

3.1.1. Методика проведения работ по определению технологических свойств гранулированного шлама

С целью моделирования пульпы бокситового шлама использовался БШ с влажностью 10-20% в количестве 180 т, который был загружен в секцию гран-бассейна и залит водой в количестве 800м^3 , что соответствует Ж:Т=5:1.

Таблица 7. Температура выпуска шлакового расплава в период выпуска партии

№ замеров	№ партии ковшей	Температура расплава
1	1	1322
2		1345
3		1320
4	2	1340
5		1340
6	3	1335
7		1325
8		1330
9		1320
10	4	1330
11		1335

Перед грануляцией шлакового расплава (каждой партии ковшей) содержимое бассейна перемешивалось грейфером. Темп слива расплава 10-13 т/мин., т.е. обычно применяемый.

Оптическим пирометром «Промиль» в процессе каждого слива замерялась температура шлакового расплава. Результаты представлены в тексте (Таблица 7).

После обработки каждой партии ковшей отбирались пробы грануляционной среды для определения рН и фактического соотношения в ней жидкой и твердой фазы, пробы полученного продукта (шламошлака) для определения его химического состава. рН среды определялась в соответствии с ТУ 6-09-11-81-76. Результаты представлены в тексте (Таблица 8).

Таблица 8. Результат определения рН грануляционной среды

№ пробы	Тип грануляционной среды	рН среды
1	Охлаждающая жидкость с добавлением бокситового шлама	11,0
2		10,0
3		9,0
4		11,0

С целью определения характера естественного обезвоживания шламошлака с помощью грейфера был сформирован штабель в форме конуса высотой 2,5 м и диаметром основания 7 м (Рисунок 26).

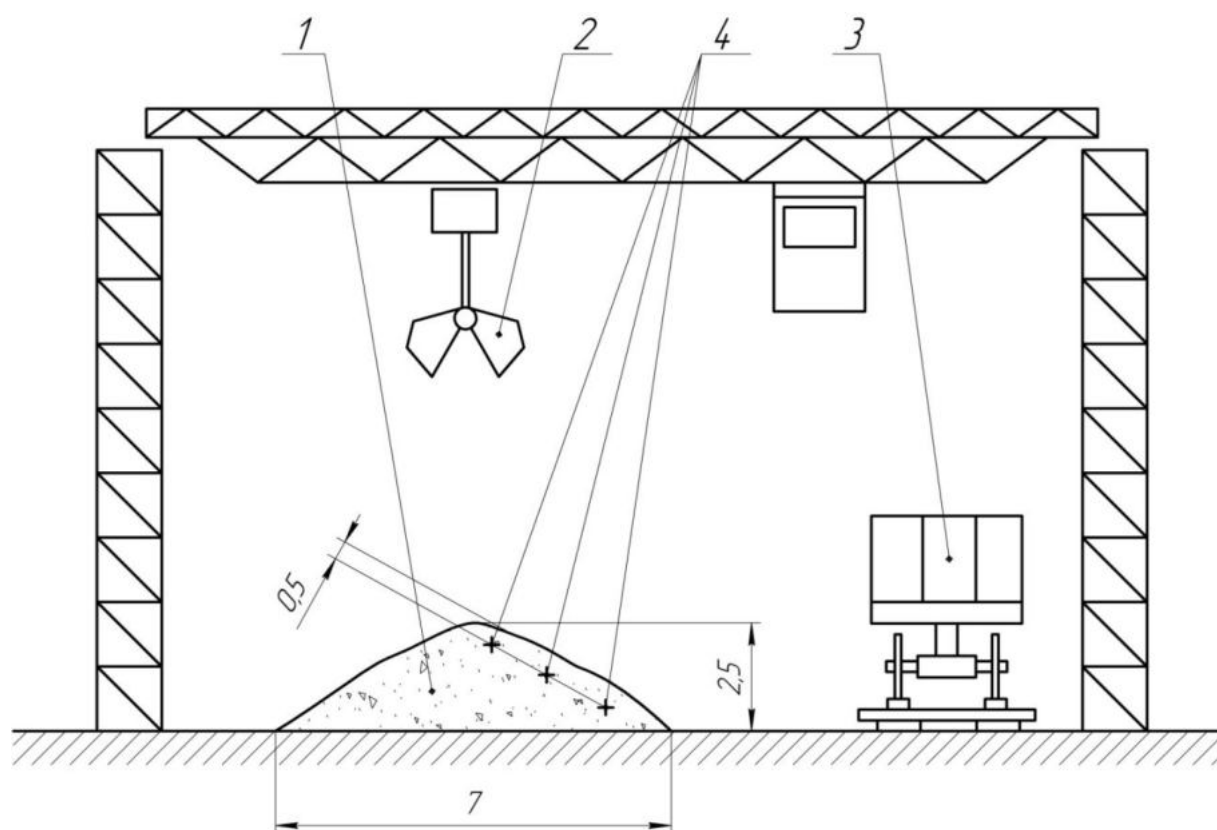


Рисунок 26. Схема штабеля для анализа влажности:

- 1 – Штабель из гранулированного материала; 2 – погрузочное устройство; 3 – вагоны для транспортировки готовой продукции; 4 – точка забора пробы.

Контрольными образцами служили пробы рядового граншлака, отобранные по той же методике.

В процессе грануляции шлака в пульпу БШ во время максимально образования паровых выбросов в атмосферу, отбирались пробы выбросов с целью определения в них H_2S . в качестве контрольных отбирались пробы выбросов при грануляции шлакового расплава в водную грануляционную среду.

От высоты конуса с трех равноотстоящих друг от друга и от основания конуса точек на расстоянии 0,5 м от образующей. В стеклянные боксы каждые 2 ч отбирались пробы для определения влажности. Влажность определялась по ГОСТ 9758-77 (Таблица 9).

Таблица 9. Результаты определения характера естественного обезвоживания шламошлака и граншлака

№ отбора пробы	Точка отбора (по высоте от основания конуса), м	Время отбора, час-мин.	Влажность, %	
			Шламошлак	Граншлак
1	2,5	10-30	17,50	17,48
	1,3	10-30	18,55	18,36
	00	10-30	18,40	18,60
2	2,5	12-30	12,80	13,00
	1,3	12-30	13,80	13,70
	00	12-30	18,10	17,72
3	2,5	14-30	12,75	12,80
	1,3	14-30	13,60	13,65
	00	14-30	17,95	17,69
4	2,5	16-30	12,50	12,60
	1,3	16-30	13,40	13,60
	00	16-30	17,80	17,87

Определение H_2S производилась на индикаторной трубке $H_2S - 0,0066$ (ТУ 12.29.13-70) путем пропускания замеряемого объема газов. Объем газов замерялся с помощью диафрагмы по методике, описанной в литературе (Гордон Г.М., Пейсахов И.А. Контроль пылегазоулавливающих установок М. Химия, 1973) всего переработано 34 ковша шламового расплава (около 850 т шлака) Результаты представлены в тексте (Таблица 10).

В процессе выпуска опытно-промышленной партии шламошлака велось визуальное наблюдение. Полученный шламошлак погружался грейфером в железнодорожные вагоны и частично складировался на площадку для отгрузки автотранспортом.

Таблица 10. Результаты определения H₂S в пробах паро-газовых выбросов

№ пробы	Вид газовой пробы	Содержание H ₂ S, мг/м ³
1	При грануляции в охлаждающую жидкость с добавлением бокситового шлама	15,0
2		12,2
3		14,7
4		12,0
5	При грануляции в воду	750,0
6		1208,0

Для определения оптимальных технологических свойств получаемого шламошлака установлен коэффициент активности материала:

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2} = 1,47 + 1,55 \quad (17)$$

Для этого проведен химический анализ состава материала после грануляции и результаты представлены в тексте (Таблица 11).

Таблица 11. Химический состав граншлака и шламошлака

Пробы	Содержание окислов, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Граншлак	39,30	6,07	0,71	0,24	45,00	5,85	2,75	0,50	0,21
Шламошлак	38,24	8,57	1,96	0,28	42,94	5,06	3,25	0,45	0,25
	37,55	7,39	2,25	0,58	45,29	6,75	3,34	0,40	0,45

Полученный шламошлак отгружен для исследований:

– на запорожский железорудный комбинат с целью проведения промышленного эксперимента по использованию его в качестве вяжущего материала в составе закладочной смеси для заполнения выработанного

пространства одной из камер Южно-Белозерского месторождения (13 ж/д полувагонов);

– на опытный завод института «Южгипроцемент» с целью получения цементных материалов на его основе (7 т);

– НИИСМИ для получения качественных характеристик шламошлака (40 кг)

В процессе выпуска опытной партии соотношение жидких и твердых фаз в грануляционной среде достигало Ж:Т=5:1.

Выполнен ситовый анализ для определения крупности фракции, что имеет большое значение для подготовки материала для нужд строительной промышленности. Крупность граншлака представлена в тексте (Таблица 12).

Таблица 12. Крупность граншлака и шламошлака

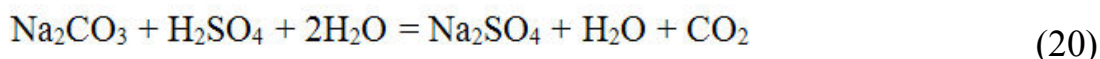
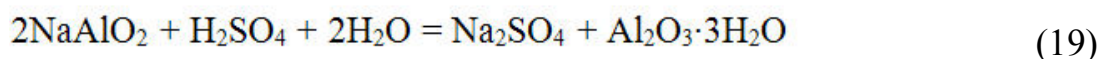
№ пробы	Наименование материалов	Остаток на сите 0,265 мм	Суммарный выход 0,074 мм	
			По плюсу	По минусу
1	Граншлак	14,7	32,4	52,8
2		16,4	30,6	53,0
3		15,2	31,8	53,0
4		17,9	28,8	53,3
5	Шламошлак	14,2	30,3	55,5
6		16,3	25,6	58,1
7		16,0	28,8	55,1
8		17,2	26,9	55,9

3.1.2. Методы очистки от серы

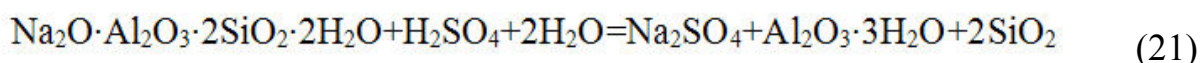
БШ отличается содержанием большого количества компонентов взаимодействующих с соединениями серы переводя их из газообразной в твердую фазу. Процесс сопровождался измерением щелочной и общей поглотительной

способности шламов. Щелочная емкость – количество SO_3 на нейтрализацию Na_2O и CaO шламов по реакциям:

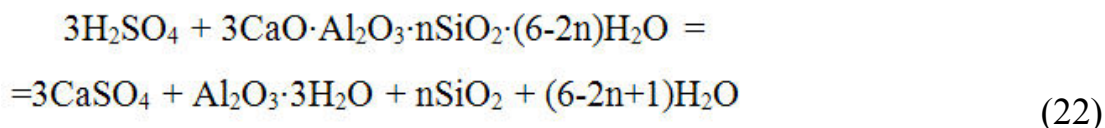
- со свободной и алюминатной щелочью, а также с содой:



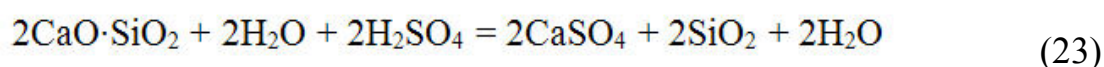
- со связанной щелочью гидроалюмосиликата (ГАСН):



- с окисью кальция, связанной в 3-х кальциевый гидрогранат:



- с окисью кальция, связанной в 2-х кальциевый силикат:



Общая емкость включает в себя, также емкость по Al_2O_3 и Fe_2O_3 .

Полная емкость шлама может быть достигнута при глубоком кислотном разложении, в то время как щелочная емкость будет расходоваться на связывание сернистых газов в условиях газовой обработки шламов с низким содержанием оксидов серы.

Расчет в себя включал определение щелочной составляющей емкости, что показывает долю работы Na_2O и K_2O по поглощению SO_2 от общей емкости.

Для экспериментальной проверки в лабораторных условиях были проведены опыты по поглощению сернистых газов из шлама.

Для опытов использовались 7 образцов БШ:

1. Шлам БГЗ (Бокситогорский глиноземный завод, г. Бокситогорск) в сухом виде, фракции – 2мм; – 5+2мм; +5мм.

2. Шлам НГЗ (Николаевский глиноземный завод, г. Николаев) в виде пульпы с Ж:Т = 3:1; 5:1; 8:1.

3. Шлам АГК (Ачинский глинозёмный комбинат, г. Ачинск) в виде пульпы с Ж:Т = 5:1.

Для проведения лабораторных исследований была собрана лабораторная установка (Рисунок 27). Установка состоит из печи 1, в которую помещалась навеска алуниита 2, выделяющего сернистый газ в восстановительных условиях при нагреве до 800-850°C. Контроль температуры определялось на приборе 3. С помощью насоса 7, через установку пропускать регулируемое, с помощью контролера 8, количество воздуха, с которым смешивался выделяющийся SO_2 в определенной пропорции. В склянке 4 смесь воздуха и SO_2 проходила через слой шлама – сухого или в виде пульпы, с заданным параметром Ж:Т. Непоглощенная часть SO_2 (проскок через шлам) дополнительно проходила через склянку 5, заполненной фиксированным количеством раствора NaOH с перекисью водорода. Момент нейтрализации раствора щелочи после пропускания SO_3 , определялся по исчезновению окраски индикатора фенолфталеина, добавленного к щелочи. Количество SO_3 , поглощенного шламом, определялось по разнице между выделенной навеской алуниита и поглощенного в склянке со щелочью с помощью аналитических бюреток 6.

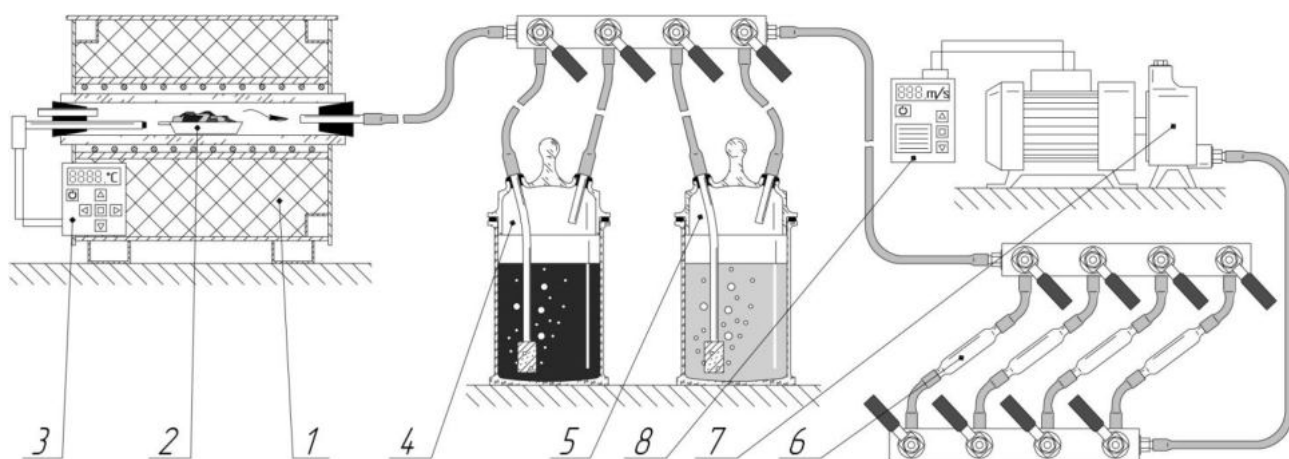


Рисунок 27. Схема лабораторной установки для измерения поглощения SO_2 шламами

Навеска шлама 50 г, при комнатной температуре, подвергалась обработке потоком воздуха до снижения содержания $\text{SO}_2=0,5\%$. Часть SO_2 поглощалось

навеской, а остальная часть улавливалась в колбе с раствором NaOH. По разнице между поглотившейся в колбе NaOH частью SO₂ и общим количеством SO₂, поступающим на поглощение, определялось количество SO₂, поглотившееся шламом.

В качестве источника SO₂ использовалась навеска алуниита Загликского месторождения следующего химического состава, мас. %: SiO₂=43,2; Al₂O₃=19,9; Fe₂O₃=3,9; CaO=0,1; TiO₂=0,4; MgO=0,02; Na₂O=1,6; K₂O=3,0; P₂O₅=0,13; SO₃=18,48; V₂O₅=0,04.

Так как при обжиге алуниита при t=600-850°C из состава минерала (NaK)₂SO₄·Al₂(SO₄)₃·4Al(OH)₃ удаляется только SO₂, связанный с алюминием, и натрий-калиевыми сульфатами, при этом они не разлагаются. Для расчета количества SO₂, выделяемого навеской, следует из общего количества SO₂ всей навески исключить SO₂, связанный с Na₂O и K₂O:

$$Q = [18,48 - (1,6/62 \cdot 80 + 3,0/94 \cdot 80)] \cdot 0,8 = 11,0 \text{ г}$$

18,48 – общее содержание SO₃ в 100 г алуниита

1,6 и 3,0 – содержание Na₂O и K₂O

62, 94 и 80 – молекулярный вес Na₂O, K₂O и SO₃.

0,8 – коэффициент пересчета SO₃ на SO₂.

Таким образом, навеска алуниита в 10 г давала при полном разложении 1,1 г SO₂; с учетом возможной неполноты разложения принималось, что навеска 10 г алуниита дает 1,0 г SO₂. Указанный 1 г SO₂ выделялся из навески за время 15 – 30 мин. Во время всего опыта через установку просасывался воздух со скоростью 1 л/мин; следовательно, средняя концентрация SO₂ в воздухе составляла, ориентировочно, 0,05 г/л.

Температура обжига составляла 600-850°C, но воздух (вместе с SO₂) поступал в поглотительную колбу уже значительно охлажденным. По визуальным наблюдениям поглотительная колба нагревалась во время опыта до 40-50°C.

Контроль степени поглощения сернистого газа в колбе со шламом осуществляется с помощью еще одной поглотительной колбы, соединенной последовательно с 1-й колбой. В качестве поглотительной среды во второй колбе

используют 0,5N раствора NaOH, подкрашенный фенолфталеином. Проскок SO₂ через слой шлама улавливался щелочью, нейтрализация которой фиксировалась исчезновением окраски фенолфталеина (рисунок 30). Этот момент служил сигналом к добавлению в колбу порции свежего раствора NaOH из бюретки с замером расхода щелочи.

Каждый опыт включал в себя обжиг десяти навесок алуниита по 10 г; предварительный опыт показал, что этого количества достаточно для насыщения 50 г шлама и снижения степени поглощения до 10-12%.

Опыты по обработке образцов шламов сернистым газом проводились в следующем порядке:

1. В лабораторных условиях были выполнены опыты по поглощению SO₂ из воздуха с помощью отвального (спекательного) шлама БГЗ. Шлама был отобран из шламопровода (средняя проба за 5 ч) и рассеян на фракции: -2 мм; +2-5 мм; +5-10 мм; +10 мм. Далее для данных опытов использовались образцы с фракцией от -2 до -10 мм следующего химического состава, вес %: SiO₂=21,2; Al₂O₃=7,3; Fe₂O₃=17,9; CaO=43,0; TiO₂=3,3; MgO=1,0; Na₂O=2,9; K₂O=0,4; P₂O₅=0,1; Cr₂O₃=0,5; MnO=0,1; SO₃=0,5.

2. Пульпа шлама НГЗ с химическим составом, вес %: SiO₂=7,3; Al₂O₃=15,4; Fe₂O₃=52,2; CaO=6,8; TiO₂=3,4; MgO=1,0; Na₂O=2,8; K₂O=0,2; P₂O₅=0,1; Cr₂O₃=0,5; MnO=0,1; SO₃=0,5.

3. Пульпа нефелинового шлама АГК с Ж:Т=5:1 и химическим составом, вес %: SiO₂=7,3; Al₂O₃=2,9; Fe₂O₃=3,7; CaO=51,8; TiO₂=3,2; MgO=1,1; Na₂O=1,7; K₂O=0,7; P₂O₅=0,1; Cr₂O₃=0,4; MnO=0,1; SO₃=0,5.

Линии динамики измерения поглощения серы представлены на графике (Рисунок 28).

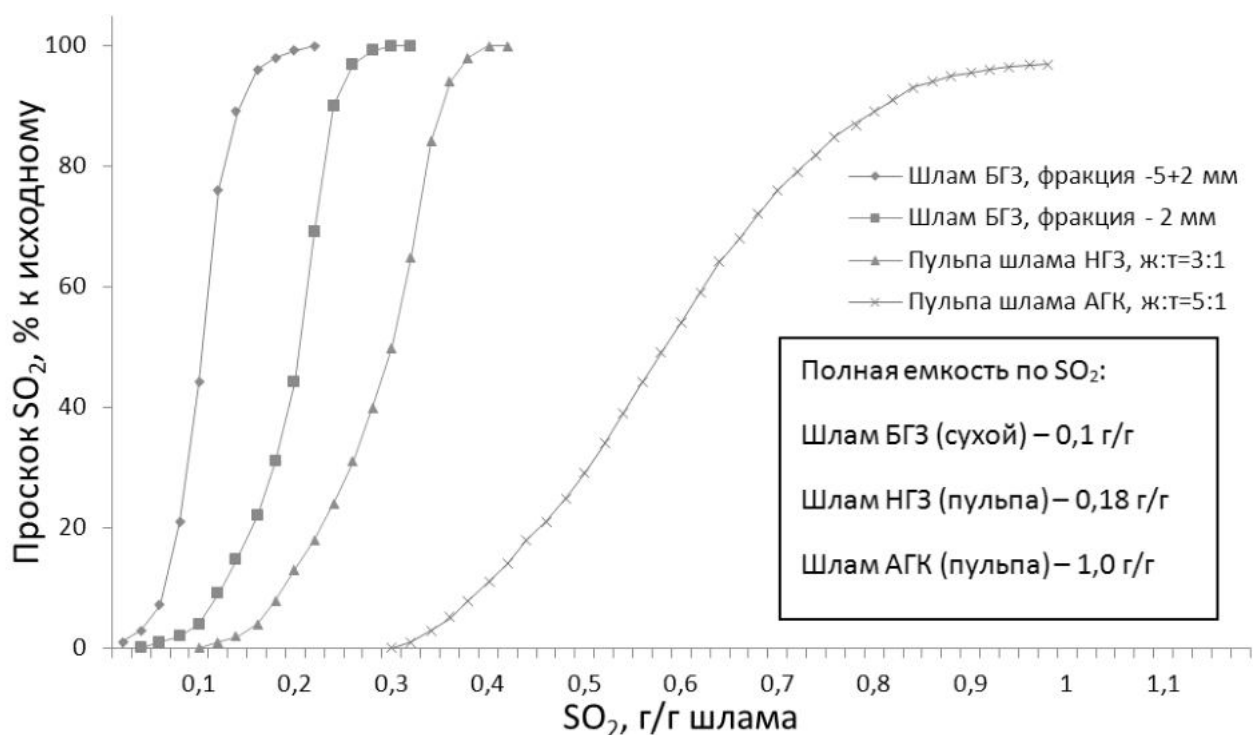


Рисунок 28. Зависимость проскока SO₂ через шламы от количества подачи SO₂

3.1.3. Результаты очистки от серы

Результаты проведения опытов показали, что химический состав всех образцов шламов после обработки сернистым газом изменился. Остаток после обработки SO₂, мас. %:

1. Для БГЗ. Поскольку при поглощении сухим шламом все продукты взаимодействия остаются в шламе, его химический состав изменился (за счет разубоживания SO₃) в сторону уменьшения всех компонентов и увеличения доли SO₃ [160–162]. Емкость шлама по SO₃ составляет 0,1 г/г шлама. Результаты опытов на фракциях -5+2 мм и 0+2 мм по поглощению SO₂ из воздуха отвальным шламом БГЗ показали, что поглощение SO₂ более мелкой фракцией идет наиболее активно.

2. Для НГЗ. В расчете на 1 г сухого шлама поглощает 0,17-0,20 г SO₂, т.е. почти вдвое больше, чем сухой шламы БГЗ. Сделанный анализ в промытом шламе показал долю содержания SO₃ равную 25,6%. Это указывает на то, что CaO исходного шлама (6,8%) связывает сернистый газ в нерастворимый CaSO₄. Кроме

того связывание SO_2 осуществляется в сульфаты и сульфиты натрия, алюминия, которые растворяются и уходят из состава шлама [163–165].

3. Для АГК. Емкость пульпы в расчете на 1 г сухого шлама получена равной 1,0-1,1 г SO_2 на 1 г шлама. Практически весь $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ из состава шлама разлагается и переходит в гипс $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и свободный SiO_2 [166]. В результате осаждаемость и фильтруемость полученного шлама имеет такие же показатели, как и у основного. Судя по цвету полученного раствора, Fe_2O_3 из твердой фазы шлама переходит в раствор [164,167] (Таблица 13).

Таблица 13. Поглощительная емкость образцов БШ по SO_2

№	Наименование образца шлама	Теоретическая Емкость, %		Экспериментально полученная емкость, %
		Щелочная,	Полная,	
1	Шлам БГЗ, сухой (фракция – 2мм)	6,5	109,0	8,5
2	Шлам БГЗ, сухой (фракция +2-5мм)	6,5	109,0	7,6
3	Шлам БГЗ, сухой (фракция +5мм)	6,5	109,0	6,8
4	Шлам НГЗ, пульпа с Ж:Т = 3:1	14,2	130,0	88,9
5	Шлам НГЗ, пульпа с Ж:Т = 5:1	14,2	130,0	97,5
6	Шлам НГЗ, пульпа с Ж:Т = 8:1	14,2	130,0	97,6
7	Шлам АГК, пульпа с Ж:Т =5:1	7,6	88,0	62,0

3.1.4. Использование бокситового шлама в очистных установках при очистке отходящих промышленных газов

Обработка твердого (сухого) шлама БГЗ потоком воздуха, содержащим 0,5-1,0% SO_2 привела к поглощению SO_2 в количестве 7-8% от веса шлама, что значительно меньше теоретической емкости. При этом с увеличением крупности частиц шлама поглощение уменьшилось от 8,5% для фракции - 2 мм, до 6,8% для фракции +5 мм. Взаимодействие первых порций SO_2 с поверхностью частиц дает основание предполагать, что образующийся CaSO_4 затрудняет доступ во внутренние слои, т.к. приводит к закупориванию пор шлама.

– Обработка газом такого же состава шлама НГЗ, взятого в виде пульпы с Ж:Т от 3:1 до 8:1 приводит к поглощению SO_2 в количестве 88,9 – 97,6%, что превышает емкость шлама в сухом виде и указывает на частичное растворение Al_2O_3 и Fe_2O_3 , что подтверждается химическим и фазовым анализом жидких и твердых фаз. Это дает основание рассчитывать на то, что с помощью шлама НГЗ возможно не только очистка газов от SO_2 , но и полное доизвлечение из шлама полезных компонентов (Na_2O и Al_2O_3).

– Обработка шлама АГК в виде пульпы с Ж:Т = 5:1 привела к поглощению SO_2 в количестве 62%, что также близко к теоретическому значению по щелочной емкости. Следовательно, практически весь CaO шлама превращается в гипс $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, что подтверждается анализами (около 75% гипса в составе осадка).

– Таким образом, шлам НГЗ может рассматриваться как полноценный заменитель извести для процессов очистки газов от кислотных оксидов и соединений (SO_2 , SO_3 , NO_2 (кроме NO), HCl , HF и др.) (Рисунок 29). Высокое содержанием железа в составе материала, дает основание предполагать. Этот материал обладает наилучшей поглотительной способностью, что подтверждается в сравнении с образцом шлама АГК с высоким содержанием оксида кальция.

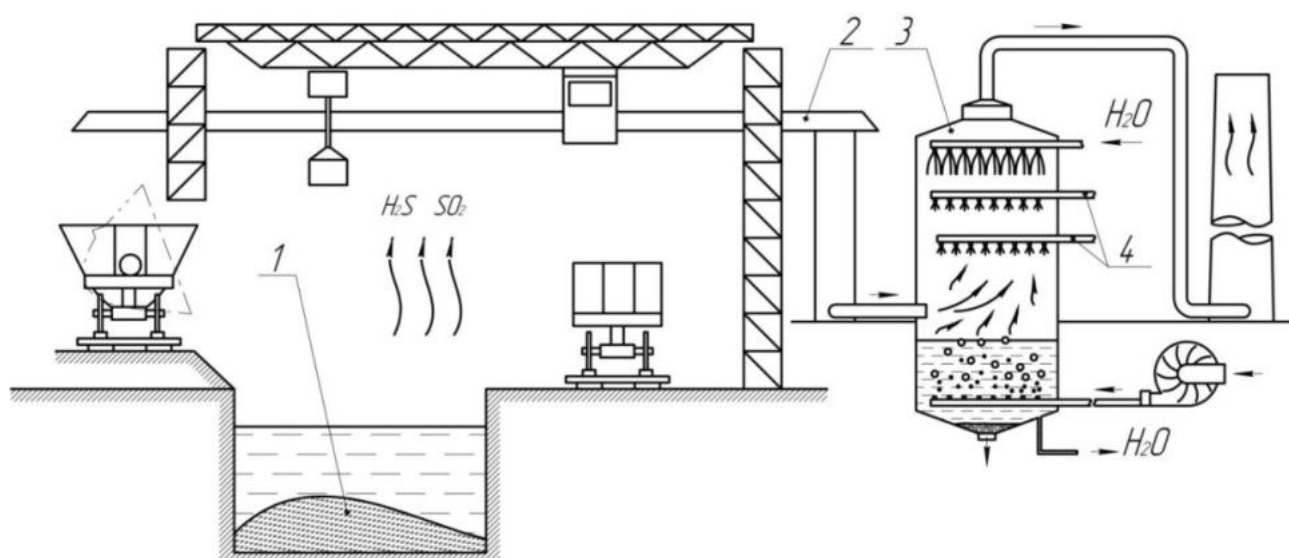


Рисунок 29. Схема применения бокситового шлама в качестве заменителя извести:

- 1 – граншлак; 2- навес для улавливания соединений серы; 3- скруббер;
4 – добавка бокситового шлама в качестве поглотителя соединений серы

3.2. Улучшение технологических свойств товарной продукции

3.2.1. Методика получения нового материала при грануляции шлама

Приведен химический состав 7 проб БШ (Таблица 14). Практически все компоненты БШ могут взаимодействовать с соединениями серы по следующим реакциям:

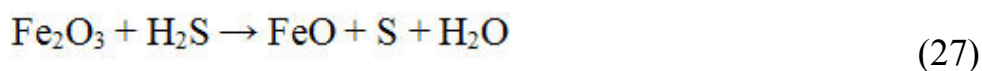
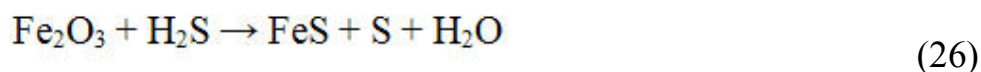


Таблица 14. Химический состав испытанных промышленных проб бокситового шлама

№	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Na ₂ O
1	11,0-13,5	50,3-57,5	8,8-10,9	4,0-5,0	1,5-2,0
2	14,8-15,4	37,6-39,7	11,1-13,3	7,0-8,0	3,2-4,0
3	14,2-16,5	32,8-35,4	13,4-15,0	11,0-13,0	4,0-6,5
4	14,4-15,9	32,5-39,6	11,3-13,4	8,2-10,1	3,3-4,5
5	13,6-14,6	36,8-42,4	11,3-13,8	13,8-16,4	3,9-4,2
6	12,6-13,3	30,4-32,7	22,5-26,1	8,3-10,1	4,8-6,5
7	12,5-14,9	38,5-40,7	13,3-15,9	18,6-21,0	4,5-5,4

Лабораторные исследования проводились на установке для исследования поглотительного материала. Схема установки приведена в тексте (Рисунок 30). На установке определялись емкостные свойства БШ по отношению к оксидам серы.

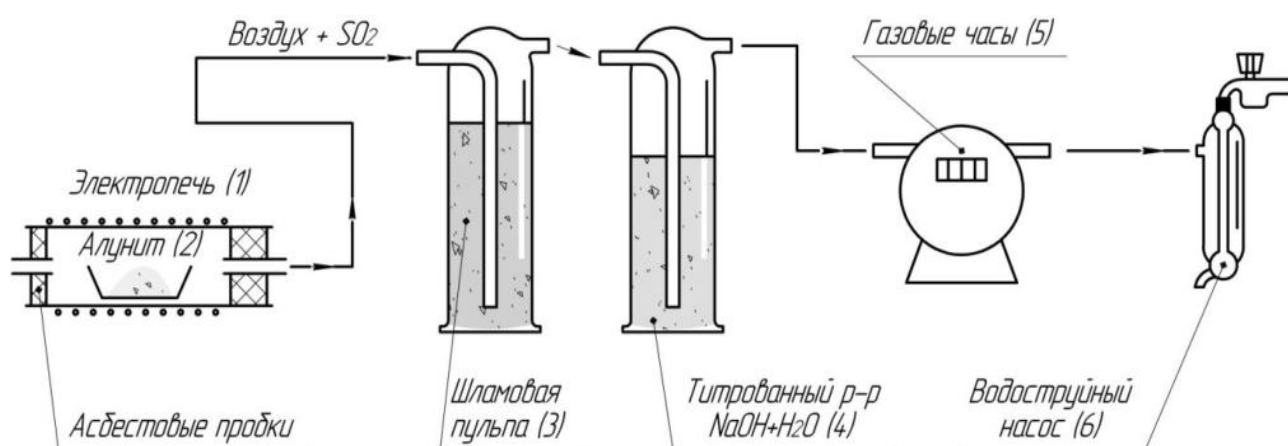
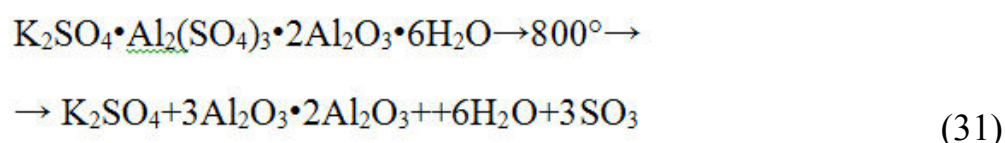


Рисунок 30. Схема установки для исследования емкостного материала

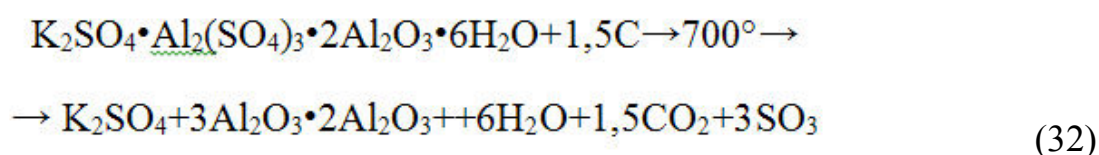
Оксид серы, получаемый из навески алунита 2 в печи 1, в заданных дозируемых количествах смешивались с воздухом, что достигало концентрации серы в воздухе 0,1-0,3% (близкой к промышленной). Смесь проходила через емкость со шламовой пульпой 3 с помощью вакуум-насоса 6. Газовая смесь, пробарботированная через пульпу БШ и емкость со щелочью 4, проходила через

устройство 5, что позволяло установить постоянную скорость газового потока и дальнейшее повторение эксперимента с фиксированными константами.

В качестве источника оксидов серы использовалась реакция обжига алуниита $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 2Al_2O_3 \cdot 6H_2O$. Выбор этой реакции определялся тем, что в зависимости от условий обжига она позволяет получать либо SO_2 , либо SO_3 . В окислительных условиях (при избытке воздуха) разложение алуниита идет с образованием серного газа SO_3 :



В присутствии восстановителя (молотого угля) SO_3 восстанавливается до сернистого газа SO_2 :



Таким образом, при незначительном изменении режима обжига можно было на одном и том же оборудовании получить разные оксиды серы.

Вышеприведенные уравнения давали возможность рассчитывать количество газов, образующихся при обжиге определенной навески алуниита с учетом содержания SO_3 и $K_2O + Na_2O$ в реальной алуниитовой породе.

Средняя концентрация оксидов серы в газо-воздушной смеси задавалась на уровне 0,1 % от общего объема. Эта величина была выбрана, чтобы моделировать состав промышленных газовых выбросов. Для приготовления исследуемых шламовых пульп было приготовлено семь параллельных проб производственных отвальных шламов реального глиноземного производства.

В лабораторных исследованиях изучалось влияние Ж:Т (БШ) при мокрой очистке газов от серы. Поскольку БШ является тонкодисперсным материалом, его использовали в виде пульпы Ж:Т от 1:1 до 8:1. На графике показано определение оптимальной влажности пульпы БШ (Рисунок 31). По характеру изгиба кривых установлено, что оптимальным соотношением является равное Ж:Т=5:1.

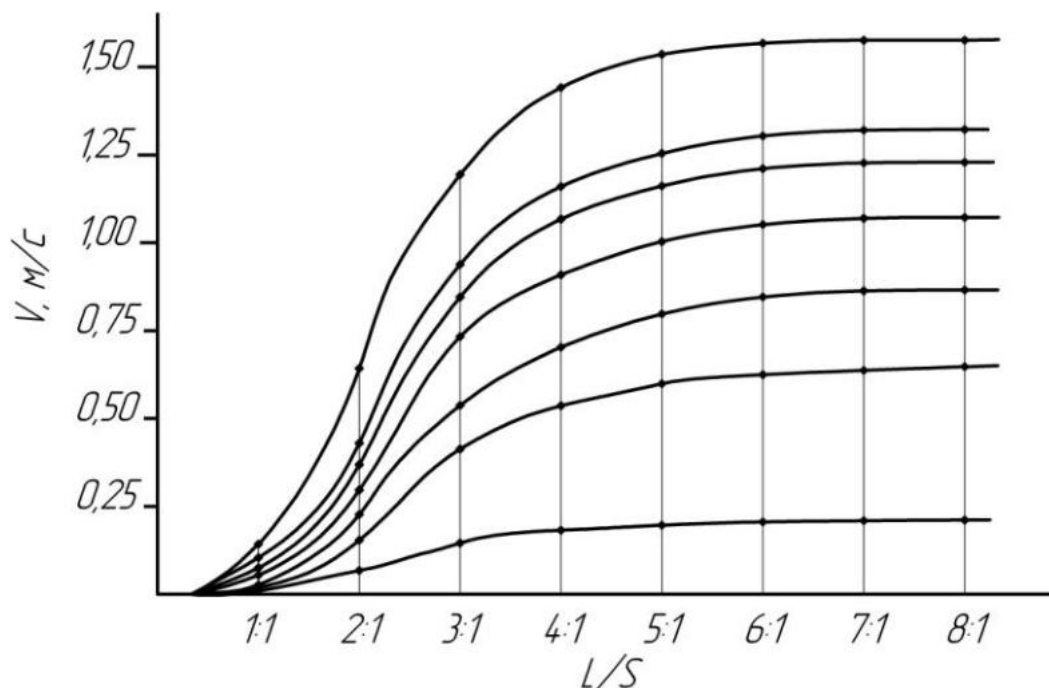


Рисунок 31. График определения оптимального Ж:Т пульпы БШ:

V – скорость транспортировки, м/с ; L/S – Ж:Т

Этот результат был также применен на практике при транспортировке БШ на расстояние до 6 км к участку мокрой грануляции расплавленных доменных шлаков. Участок грануляции является одним из опаснейших по выбросам в атмосферу сероводорода и сернистого газа [143–145].

3.2.2. Получение нового материала при грануляции шлака

Существует проблема использования отхода производства глинозема из бокситов бокситового шлама (БШ). Складирование его чревато экологическими катастрофами. Так в 2010 г. в Венгрии разрушилась ограждающая дамба. Жидкоподвижный БШ разлился по большим площадям, что привело к человеческим жертвам, уничтожению животного и растительного мира, загрязнилась река Дунай. Риски возникновения аналогических катастроф увеличиваются в связи с учащающимися катаклизмами (землетрясения, ураганы, ливневые дожди и наводнения, а также терактов). БШ постоянно ухудшают окружающую среду из-за пыления и загрязнения природных вод. БШ является

продуктом переработки бокситов. На одну тонну глинозема приходится от 1 до 2,5 т БШ.

В настоящее время он не перерабатывается, несмотря на наличие 3000 публикации и патенты по этой теме. Одна из них обоснована неясностью по экономической эффективности его использования потребителями. В данной работе представлены варианты экономической и экологической эффективности использования БШ, как заменителей дорогостоящих извести и известняка, используемых для очистки выбрасываемых в атмосферу в больших количествах промышленных газов с токсичными соединениями серы.

Лабораторными и промышленными испытаниями выявлены емкостные свойства БШ. При очистке газов от серы выбрасываемых в атмосферу печными газами ТЭЦ, агломерационных машин и сталеплавильных печей. Кроме этого показано экологическая и технологическая эффективность очистки серосодержащих газов, выделяющихся на участках грануляции расплавленных доменных шлаков.

3.2.3. Экологический эффект на участке грануляции шлака

Удаление сероводорода из горячего промышленного газа предлагается производить в температурном диапазоне от 540 до 800°C с последующим взаимодействием с Fe_2O_3 . Для этого были предложены поглотители: смеси оксида железа и летучей золы; оксида железа и пемзы; и нескольких образцов бокситового шлама (остатка обработки бокситов, который также содержит оксид железа). Для предотвращения образования пыли и потери поглощающей способности поглотители были сформированы в полузасушливую пористую матрицу с присутствием других металлических оксидов. Материал получается путем смешивания Fe_2O_3 с летучей золой, путем спекания смеси, и путем спекания бокситовых шламов. Смесь содержит оксид алюминия и диоксид кремния, которые могут действовать как матричные формователи и оксиды щелочных металлов, а также действовать как флюсы для снижения температуры

при спекании материалов. После насыщения образцов серой поглотитель помещали в емкость для продувания, где при температуре от 540 до 760°C протекала отдача поглощенного материала до первоначального свежего состояния, посредством пропускания воздуха через слой поглотителя. В процессе этой операции освобождался диоксид серы, и повторно образовывались реакционноспособные оксиды металлов.

В ходе отдачи поглощенного материала образовалось небольшое количество элементарной серы и серной кислоты. Емкостная способность 30% массы серы на единицу массы поглотителя была получена при более высоких температурах и эффективность удаления H_2S составляла от 95 до 99,9%. Была построена полномасштабная операционная установка, способная обрабатывать одного миллиона кубических метров коксового газа в день. Данную технологию очистки воздуха рекомендуется использовать на участках с повышенным атмосферным загрязнением, таких как грануляция расплавленных металлургических шлаков.

Выводы по главе 3

1. Для исследования возможности и механизма сокращения выброса в атмосферу серосодержащих газов при грануляции расплавленных шлаков и технологических свойств граншлака с бокситовым шламом была создана специальная лабораторная установка.
2. Установлено, что под влиянием быстрого охлаждения и острого пара сера от шлака отделяется и стремится в атмосферу преимущественно в виде токсичного сероводорода, контактирующие с ним частицы бокситового шлама способны присоединять к себе газообразные соединения серы и выполняют эту работу почти на 100%, если содержание тонкодисперсного шлама составляет 33-35 кг/т шлака с обычным содержанием серы в шлаке около 2%.
3. Анализ проведенных промышленных испытаний подтвердил эти показатели: содержание сероводорода на рабочих площадках гранбассейна

уменьшается, как минимум, на 2 порядка. Исключается необходимость использования трудоемких и дорогостоящих минеральных материалов: извести (известкового молока) и тонкомолотого известняка.

4. Выявлено, что бокситовый шлам для бассейновой грануляции не требует специальной подготовки, даже после фильтр-пресса диспергируется и гомогенизируется в охлаждающей жидкости гранбассейна самопроизвольно под влиянием высокого градиента температур и образования большого количества концентрированного острого пара.

5. Ввод бокситового шлама в состав производимого граншлака положительно влияет на его технологические свойства и себестоимость, снижая эксплуатационные затраты за счет уменьшения расхода энергии на сушку и дробление.

ГЛАВА 4 АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

4.1. Аппаратурно-технологическая схема

Материал поступает в шламохранилище по системе трубопроводов, которые идут от предприятий по производству глинозема. Хранилище имеет зоны, образованные в результате флотации (Рисунок 32).

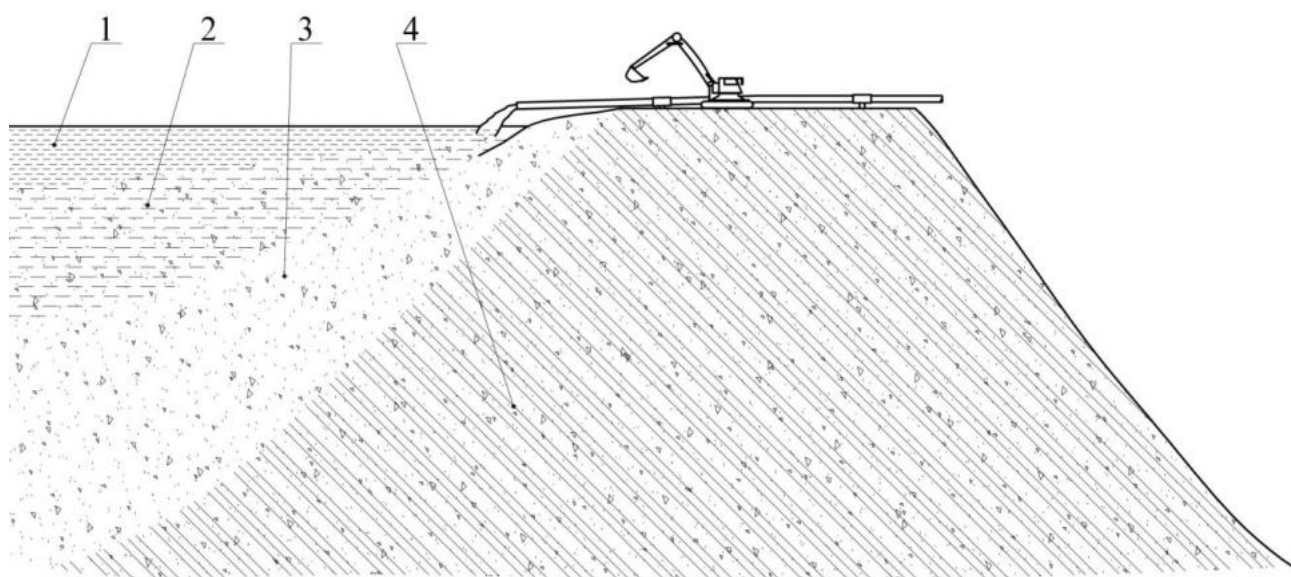


Рисунок 32. Схема формирования зон шламохранилища

Дамба 4 имеет камнеобразный вид, что придает прочность стенкам сооружения. С помощью техники формируются стенки дамбы из материала, забираемого из зоны 3, имеющего влажность около 40% и впоследствии высушенного естественным образом. Поверхность шламохранилища представляет собой зону 1, состоящую в основном из отфлотированной технической воды. Из пляжного участка зоны 2, в которой БШ находится в подвижном состоянии, он может быть отобран и транспортирован для нужд потребителя. Количество поступающего в шламохранилище БШ, в виде отхода, составляет около 700 тыс. т/год, из него количество песчаного шлама,

находящегося в зоне 2, около 70 тыс. т/год. Который представляет потенциальный интерес для потребителя.

При поступлении на производство грануляции окускованный БШ подается на участок подготовки пульпы. При смешивании с водой до образования пульпы с влажностью 80%, отправляется на участок грануляции. При способе мокрой грануляции пульпа, в качестве добавки, предварительно сливается в гран-бассейн с водой и размешивается грейфером для предотвращения образования осадка.

Установлено, что серы при грануляции шлака выделяется около 2% от объема шлака, что составляет около 68 тыс. т/год. Для нейтрализации этих выбросов используют известь в качестве поглотителя соединений серы, при этом необходимое количество извести составляет около 47 тыс. т/год, цена которой варьируется в пределах 40 \$/т. В целом затраты на ее приобретение составляют около 1,9 млн. \$/год. На схеме представлено приготовление добавки вводимой в охлаждающую жидкость (Рисунок 33).

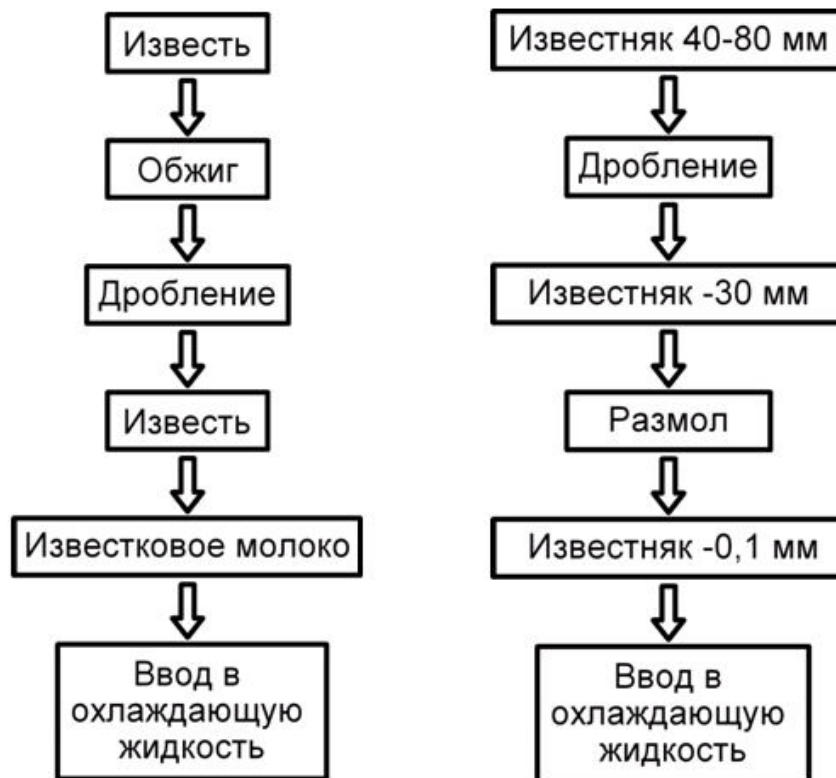


Рисунок 33. Подготовка материала для охлаждающей жидкости

Выявлено, что БШ имеет поглотительную способность не ниже, а в некоторых случаях выше, чем у извести [121]. Это позволяет его использовать в равных объемах в качестве полноценного заменителя извести для поглощения соединений серы.

4.2. Подготовка бокситового шлама для транспортировки

Предлагается технология окускования БШ с последующим применением в виде конечного продукта с влажностью 25%, предварительно подсушивается на воздухе. Это делает возможным транспортировку продукта к предприятиям расположенным на достаточном удалении от источника накопления БШ.

На сегодняшний день БШ в виде пульпы транспортируется посредством трубопроводов, что ограничивает расстояние между промышленными зонами. Расстояние эффективной передачи таким способом ограничивается до 6 км. Технология не исключает прорывов магистрали, что влечет за собой разлив материала на протяжении трубопровода.

Способ транспортировки окускованного БШ дает возможность промежуточного складирования между шламохранилищем и пунктом назначения, что является неотъемлемой частью операции при поставках на дальние расстояния. Схема технологии окускования БШ представлена ниже (Рисунок 34).

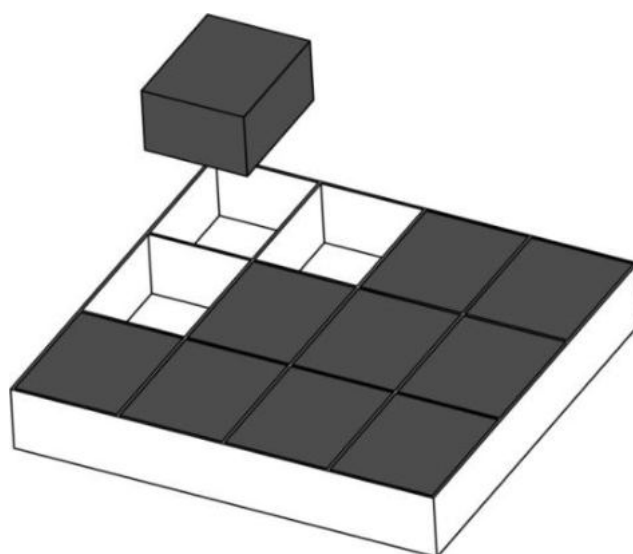


Рисунок 34. Схема окускования бокситового шлама

Для лучшего заполнения формы отбирается песчанистый БШ из шламохранилища в районе пляжного участка зоны 2. На основание, которое имеет пористость для отвода излишков воды, устанавливается многоместная форма. Затем жидкоподвижный БШ заполняет формы и остается в таком состоянии на открытом воздухе до 3 суток. После завершения операции обезвоживания многоместная матрица извлекается. Полученный в процессе обезвоживания оформленный кусок БШ имеет влажность 23-27%, что достаточно для перемещения и складирования. Технологическая схема представлена в тексте ниже (Рисунок 35).

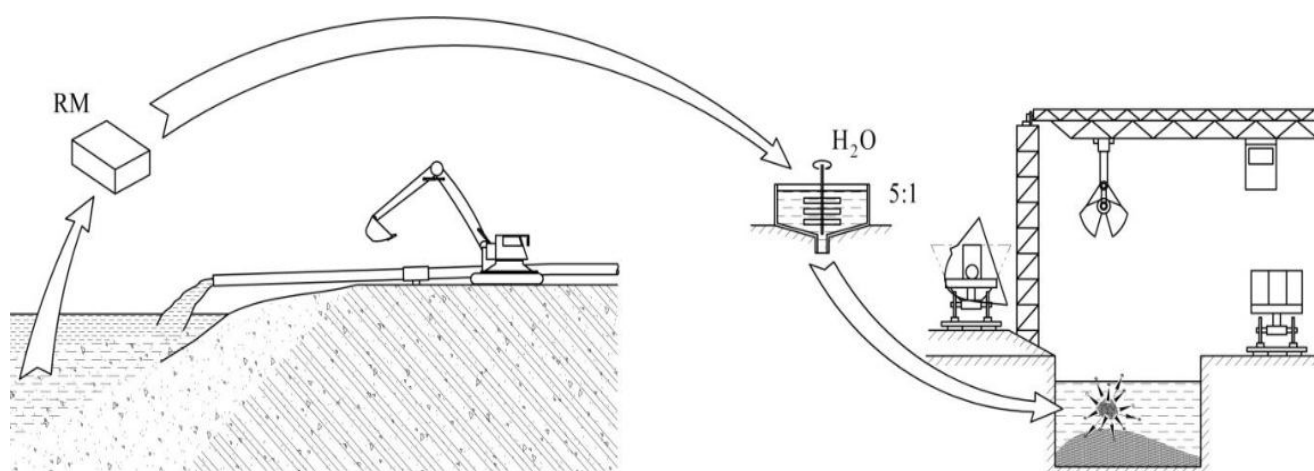


Рисунок 35. Технологическая схема использования БШ при грануляции шлака

Преимущество такого метода состоит в том, что для окускования БШ не требуется применение техники прессования. Продукт получается при естественном обезвоживании, заполняя пространство формы под собственным весом. Для сушки так же не требуется сушильного оборудования, обезвоживание происходит на открытом воздухе и посредством основания, имеющего достаточную пористость.

Особенностью такой технологии является то, что при более длительном выдерживании материала в форме, процесс обезвоживания продолжается, но с меньшей интенсивностью. Это связано с наличием в пульпе БШ щелочной

составляющей, которая препятствует осушению внутреннего объема куска через его поры. Не имея отвода влаги, материал может находиться в состоянии пульпы долгое время. И наоборот при обеспечении нужных параметров осушения в процессе обезвоживания может образовываться камнеобразный продукт, с прочностью до 50 кгс/см^2 .

4.3. Расчет экономического эффекта при использовании бокситового шлама на участке грануляции расплавленных шлаков

В настоящее время БШ отгружается для нужд потребителя после стадии фильтр-пресса, стоимость такого брикета $10 \text{ \$/т}$ с влажностью 25%. С учетом транспортировки отпускная цена может составлять до $20 \text{ \$/т}$.

В данной работе предлагается использовать БШ, отобранный с пляжной зоны (как указано выше). Стоимость такого материала составит $3-4 \text{ \$/т}$, что включает в себя мало затратный процесс окускования.

Экономический эффект при использовании БШ в получении шламошлака после фильтр-пресса составит: $(47 \text{ тыс. т/год} \times 40\text{\$/т}) - (47 \text{ тыс. т/год} \times 20\text{\$/т}) = 1880 - 940 = 940 \text{ тыс. \$/год}$;

Экономический эффект при использовании БШ после технологии окускования может составлять: $(47 \text{ тыс. т/год} \times 40\text{\$/т}) - (47 \text{ тыс. т/год} \times 4\text{\$/т}) = 1880 - 188 = 1690 \text{ тыс. \$/год}$.

4.4. Рекомендации по промышленным испытаниям

В России производится около 50 млн. т доменного шлака. Он имеет неограниченный спрос в дорожном строительстве и других видах отрасли, а также для производства цемента. Отпускная цена качественного граншлака-около 1 тыс. руб./т . За счет использования всего доменного шлака экономический эффект предприятий черной металлургии России достигнуть 50 млрд. рублей, не учитывая экономию на обслуживании шлаковых отвалов.

Однако производство граншлака не развивается и даже сокращается, поскольку концентрация сернистых газов на участках грануляции доменных шлаков значительно превышает допустимая нормы ПДК.

Это и заставляет закрывать или консервировать предприятия данного направления. К примеру, на Северстали грануляция шлаков производится только при одной доменной печи (№5).

В данной работе показано, что решить эту проблему позволяет использование отвальных бокситовых (красных) шламов. Ввод их в состав охлаждающей жидкости может снизить содержание серы в отходящих газах на участках грануляции, как минимум, на 2 порядка, до требуемой нормы.

Конкурирующим является предложение ученых использовать в качестве поглотителя сероводорода и оксидов серы известкового молока или тонкомолотого известняка. Однако требуются дополнительные инвестиции, чтобы установить дробилки и мельницы, для размещения которых свободные площади отсутствуют и значительно возрастают эксплуатационные затраты. Поэтому указанное направление не реализуется.

В данной работе показано, что решить проблему возможно путем использования в качестве поглотителя газовых соединений серы отвальные бокситовые (красные) шламы, тем более, что реальные поставки их в больших количествах доменным цехам весьма перспективны для повышения производительности агломерационных машин и доменных печей с экономией кокса [91].

Новая технология грануляции доменных шлаков выгодна с точки зрения не только экологии, но и экономики. На схеме представлен предлагаемый способ приготовления охлаждающей добавки (Рисунок 36).



Рисунок 36. Предлагаемая аппаратурно-технологическая схема

В частности, использование БШ Богословского алюминиевого завода (БАЗ) на близкорасположенном Нижнетагильском металлургическом комбинате (НТМК) на полную мощность грануляции шлаков, при расчете 500руб./т принесет ориентировочный экономический эффект (Таблица 15).

Таблица 15 Годовой экономический эффект от продажи граншлака

№	Производитель бокситового шлама	Применение бокситового шлама	Чугун, млн. т/год	Шлак, млн. т/год	Прибыль млрд. руб./год
1	Нижнетагильский металлургический комбинат (НТМК)	Нижнетагильский металлургический комбинат (НТМК)	10	5	2,5
2	Красный шлам Уральского алюминиевого завода (УАЗ)	Магнитогорский металлургический комбинат (ММК)	15	6	3
3	Уральский алюминиевый завод (УАЗ)	Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК)	15	6	3
4	Северсталь	Северсталь	8	3,2	1,6

Выводы по главе 4

1. Единственный реальный вариант выполнения экологических требований на участке грануляции доменных шлаков для увеличения их производства и ликвидации шлаковых свалок - это ввод в охлаждающую жидкость тонкодисперсных отвальных бокситовых шламов.
2. Суммарные финансовые поступления для предприятий черной металлургии России при возможном увеличении производства и полного коммерческого сбыта граншлака ожидается порядка 20 млрд. рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время возросли требования не складировать, а перерабатывать промышленные отходы. Для этого нужны новые технологии. В данной работе найден вариант совместной переработки отвальных бокситовых шламов предприятий глиноземного производства цветной металлургии и шлаков производства чугуна черной металлургии.
2. Отвальные бокситовые (красные) шламы не используются ввиду отсутствия заинтересованных потребителей, а производство имеющих большой спрос гранулированных доменных шлаков ограничивается по экологическим причинам. Количество выделяющиеся сернистых газов на площадках грануляции значительно превышает ПДК.
3. Анализом современных промышленных объектов по грануляции доменных шлаков установлено, что простейшей является бассейновая грануляция. Остальные содержат быстро изнашивающиеся движущиеся элементы: барабаны, лопасти и др. Это заключение было учтено в проведенных исследованиях.
4. В диссертации учтен также и опубликованный зарубежный (Италия, Япония) промышленный опыт использования красных шламов для очистки от сернистых соединений, выбрасываемых в атмосферу печных газов котельных установок, работающих на дешевых сернистых мазутах. Требовалось уточнить элементы технологии и исключить возврат в шламонакопитель насыщенного серой шлама, исключаящий замкнутый водооборот глиноземного производства.
5. Выполнен большой объем работ. Созданы 2 лабораторные установки. Впервые обработаны результаты проведенных промышленных испытаний на двух металлургических предприятиях черной металлургии. Новые технологии подготовлены к патентованию. Основные результаты сформулированы в защищаемых положениях и будут использованы в разработках технологических регламентов для проектирования. Для этих предприятий определена ожидаемая экономическая эффективность в виде поступлений финансовых средств, в черную металлургию от продажи граншлака составляет порядка 20 млрд. руб./год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко И.Ф. Отходы производства глинозема – сырье для керамических красок // Строительные материалы и конструкции. 1984. № 4. С. 22.
2. Шошин Б.В., Херсонский А.К., Параскевопуло Р.Г. Способ грануляции расплава шлака: Пат. 1761704 USA. 1992. С. 6.
3. Утков В.А., Сусс А.Г., Панов А.В. Оценка эффективности окончания строительства и ввода в эксплуатацию отгрузочного комплекса красного шлама НГЗ и сбыта готовой продукции: Заключительный отчет по Контракту № 0020092/05/-6/39-М. СПб: ООО “НГЗ”, ОАО “ВАМИ,” 2005. С. 90.
4. Справочник наилучших доступных технологий в промышленности по переработке черных металлов. ООО “Деловые Медиа.” М.: Некоммерческое партнерство “Центр экологической сертификации - зеленые стандарты,” 2013. 612 с.
5. Состояние, проблемы и направления использования красного шлама // Сборник докладов Международной научной конференции. Николаев, НГЗ, 1998. С. 91.
6. Яковлев М.Г. Технология получения агломерата из отвальных красных шламов глиноземного производства: Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. СПб, 2013. 20 с.
7. Winiarz J.Z. Сероочистка газов в энергетике и металлургии на фоне ужесточения эмиссионных нормативов Европейского Союза. (АМК Krakow S.A., Польша) // Межотраслевой научно-практический журнал. 2013. № 5. Р. 33–36.
8. Шаранов М.А., Зайнуллин Л.А., Захарченко Г.Я. Способ грануляции шлака: Пат. 768772 USA. 1980. 3 с.
9. Кадушкин Ю.В., Золотов В.М., Куправа Л.Р. Подбор состава шлакощелочного бетона для производства железобетонных изделий и конструкций по технологии безопалубного формования. СПб.: С-Петербургский государственный аграрный ун-т, 2014. С. 93.

10. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда. ИКЦ «Академкнига». М., 2002. 469 с.
11. Яценко С.П., Анашкин В.С., Сабирзянов Н.А. Магнитогравитационная переработка красного шлама глиноземного производства // Тезисы XI научно-практической конференции «Алюминий Урала — 2006. Краснотурьинск, 2006. С. 76–77.
12. Ширяева Е.В. Исследование влияния добавки красного шлама на фазовый состав агломерата с целью повышения его прочностных характеристик. М.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС» Министерства образования и науки Российской Федерации, 2015. 125 с.
13. Hongwei W., Keyou M., Cailiaoyuyuejinxuebao A.S. Поиск метода разделения основных компонентов БШ Bayer // Mater. and Met. 2014. Vol. 13, № 1. P. 24–27.
14. Очистка газов от оксидов серы // Учебно-методический комплекс по дисциплине “Очистка газообразных выбросов” для специальности 050729 - Строительство. Алматы: Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, 2011. С. 73–80.
15. Учитель А.Д., Боклал Б.В., Лялюк В.П. Способ переработки сталеплавильного шлака и шлама: Пат. 1682398 USA. 1991. С. 8.
16. Юсфин Ю.С., Базилевич Т.Н. Обжиг железорудных окатышей. М.: Metallurgia. 1973. 272 с.
17. Утков В.А., Сизяков В.М., Бричкин В.Н. Переработка красных шламов повышает промышленную безопасность глиноземного производства // Докл. на межд. конф. «Пром. безопасность 2014». СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2014. 58-61 с.
18. Шакуров А.Г. Разработка инновационной технологии переработки жидких сталелитейных шлаков на основе исследования процессов ускоренного затвердевания: Диссертация на соискание степени к.т.н. М.: Федеральное

- государственное унитарное предприятие “Центральный научно исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина” 2014. 181 с.
19. Школьник Я.Ш., Шакуров А.Г., Мандель М.З. Новая технология и оборудование для переработки шлаковых расплавов // Металлург. 2011. № 10. С. 58–60.
 20. Утков В.А., Волкова О.А., Бричкин В.Н. Modern trends in the processing of red mud alumina production and prospects for their use in the production of iron and steel // Freiburger Forschungshefte. 2016. P. 159–188.
 21. Утков В.А., Трушко В.Л., Клямко А.С. Способ подготовки агломерационной шихты к спеканию: Пат. 2552218 USA. 2015. 3 с.
 22. Юсфин Ю.С. Общая металлургия. М.: Металлургия. 2007. 650 с.
 23. Утков В.А., Петров С.И., Николаев С.А. Экономический и экологический потенциал глинозёмного производства – в переработке отвальных шламов // Сб. науч. тр. СПб: РУСАЛ ВАМИ, 2005. С. 146–154.
 24. Чайкин Л.И. Высокотемпературное выщелачивание бокситов среднего Тимана совместно с полупродуктами спекательного передела в процессе байер-спекание: Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2015. 20 с.
 25. Шаранов М.А., Зайнуллин Л.А., Захарченко Г.Я. Придоменная грануляция шлака и чугуна // Сталь. 1980. № 3. С. 178—180.
 26. Лебедев А.Б., Утков В.А., Бажин В.Ю. Улучшение условий труда на площадке грануляции расплав ленных шлаков с использование пм красных шламов. // Пром. безопасность предприятий минерально- сырьевого комплекса в XXI веке, -2, Спец. выпуск Горный информационно аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Горная книга. 2017. Том 5–2. С. 232–237.
 27. Утков В.А., Лакиза М.В. Способ получения окатышей: Пат. RU МПК C22B 1/24, 7/00 № 2487952 USA. 2013. 2 с.

28. Щенков, В.В., Герасимов А.Д. Новые технологические способы производства глинозема и алюминия, разрабатываемые за рубежом. Москва: Информцветмет, 1976. 58 с.
29. Утков В.А., Мешин В.В., Лапкин В.П. Промышленные способы переработки красных шламов // Состояние проблемы и направления использования в народном хозяйстве красного шлама. Сб. науч. тр. Николаев, НГЗ, 1999. С. 9–17.
30. Спорышева Т.М. Физико-химические основы и разработка сернокислотного способа комплексной переработки красных шламов из бокситов Среднего Тимана: Автореф. дис. канд. техн. наук. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1991. 24 с.
31. Утков В.А., Трушко В.Л., Клямко А.С. Повышение газопроницаемости агломерационной шихты с высоким содержанием железорудного концентрата // Обогащение руд. 2015. № 3. С. 32–34.
32. Горохов В.Г. Проблема управления технологическими рисками (на примере атомной энергетики и нанотехнологии) // Философия управления: методологические проблемы и проекты. Рос. акад. наук, Ин-т философии: М.: ИФРАН, 2013. С. 235–255.
33. Панов А.С., Злоказова Т.М., Ермоленко З.В. Многокамерный сгуститель красного шлама: Пат. 899072 USA. 1982. 3 с.
34. Шморгуненко Н.С., Корнеев В.И. Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства. М.: Metallurgia. 1982. 128 с.
35. Пягай И.Н. Извлечение скандия и других металлов из красного шлама глиноземного производства с поглощением токсичных газов печей спекания. Екатеринбург: Федеральное агентство научных организаций федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт химии твердого тела уральского отделения российской академии наук, 2016. 318 с.

36. Утков В.А., Луговской Н.Ю. Влияние Яковлевской руды на газопроницаемость агломерационной шихты. СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2013. 87 с.
37. Лысенко А.Ф., Басалев А.И., Дубовик В.В. Способ грануляции металлургического шлака и устройство для грануляции шлака: Пат. 1014893 USA. 1983. 4с.
38. Толочко А.И., Славин В.И., Супрун Ю.М. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии. Металлургия. М., 1990. 143 с.
39. Утков В.А., Быткин В.Н., Петров С.И. Эффективность использования байеровских красных шламов в черной металлургии // Тр. междунар. семинара на НТС СЭВ. Братислава, 1985. 236-241 с.
40. Ордон С.Ф. Комплексная переработка глиноземсодержащего сырья и отходов глиноземного производства с использованием низкотемпературного спекания: Автореферат дис. на соискание ученой степени к.т.н. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2013. 23 с.
41. Утков В.А., Трушко В.Л., Клямко А.С. Исследование технологических свойств аглоруды Яковлевского месторождения // Записки Горного института. 2015. Том 215. С. 257–259.
42. Зайнуллин Л.А., Грезнев В.Г., Мехряков Д.В. Установка для грануляции расплава шлака: Пат. 2497765 USA. 2013.
43. Сокольский А.Д. Доменная плавка бокситов. Металлургия. М., 1969. 72 с.
44. Утков В.А., Быткин В.В., Коробов В.И. Результаты поведенных промышленных испытаний по пиро– и гидрологической комплексной переработки и использованию товарного красного шлама («Факринта») в аглодоменном производстве черной металлургии // Состояние, проблемы и направления использования в народном хозяйстве красного шлама. Николаев, 1999. С. 30–34.
45. Николаева Л.А. Адсорбционная очистка промышленных сточных вод модифицированным карбонатным шламом: Диссертация на соискание ученой

- степени д.т.н. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2016. 267 с.
46. Утков В.А., Трушко В.Л. Разработка импортозамещающих технологий повышения производительности агломерационных машин и прочности агломератов // Записки Горного института. 2016. Том 221. С. 675–680.
47. Зайнуллин Л.А., Бычков А.В., Чеченин Г.И. Свидетельство на полезную модель 24998 РФ, МКИ⁷ С 04 В 5/02. Устройство для обезвоживания гранулированного шлака: Пат. 2002109645/20 USA. 2002. С. Бюл. № 25, с.1.
48. Советкин В.Л., Ярошенко Ю.Г., Карелов С.В. Природоохранные мероприятия в металлургии. Екатеринбург: Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Урал. гос. техн. ун-т УПИ», 2004. 240 с.
49. Утков В.А. Переработка отвальных шламов в качестве элемента высокотехнологичной малоотходной технологии производства глинозема из бокситов и нефелинов // Технико-экономический вестник РУСАЛа. М., 2007. Том 18. С. 51–56.
50. Логинова И.В. Физико-химические основы технологии комплексной переработки бокситового сырья в концентрированных щелочных средах: Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. Екатеринбург, 2016. 325 с.
51. Утков В.А., Трушко В.Л. Влияние полидисперсной аглоруды на процесс окомкования тонкоизмельченных концентратов // Металлы. 2016. № 1. С. 3–6.
52. Зайнуллин Л.А., Бычков А.В., Чеченин Г.Я. Пат. на полезную модель 31516 РФ, МКИ 7 B01D 12/00, С 04 В 5/02. Сепаратор эрлифта для откачки гранулированного шлака: Пат. 2003114686/20 USA. 2003. С. Бюл. № 23 с.1.
53. Снурников А.П. Комплексное использование сырья в цветной металлургии. М., 1977. 272 с.
54. Утков В.А. Переработка красных шламов / Ресурсосберегающие и природозащитные технологии в производстве глинозёма, алюминия, магния и сопутствующей продукции // Материалы Межд. науч. практ. конф. (15-18 октября 2006 г.). СПб: РУСАЛ ВАМИ, 2006. С. 323–325.

55. Зайнуллин Л.А. Разработка и внедрение ресурсосберегающих, экологических и взрывобезопасных систем припечной грануляции металлургических шлаков: Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. Екатеринбург: Открытое акционерное общество “Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники” (ОАО ВНИИМТ), 2006. 168 с.
56. Утков В.А., Трушко В.Л. Руда для улучшения показателей аглодоменного производства // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2015. № 3. С. 35–37.
57. Дунаевский М.А., Паршин Г.А., Малый В.В. Способ грануляции шлака: Пат. 1209632 USA. 1986. С. 2.
58. Селезнев А.Е. Оборудование агломерационных фабрик черной металлургии. Металлургиздат. М., 1960. 320 с.
59. Торопов Е.В., Макаров Д.П. Комплексное управление энерго- и ресурсосбережением металлургического производства // Вестн. Гос. образоват. учреждения высш. проф. образования «Урал. гос. техн. ун-т - УПИ». 80 лет Уральской теплоэнергетике. Образование. Наука: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ - УПИ, 2003. С. 258–261.
60. Голубев О.В. Исследование техногенного элементопотока хрома и возможностей экологически безопасной утилизации шламов хроматного производства методами черной металлургии: Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. Москва, 2003. 20 с.
61. Утков В.А., Трушко В.Л. Современные вопросы металлургической переработки красных шламов // Записки Горного института. 2013. Том. 202. С. 39–43.
62. Воробьев Х.С., Гиндин М.Н., Сахаров Е.Н. Способ получения гранулированного шлака: Пат. 1406125 USA. М., 1988. С. 8.
63. Сабирзянов Н.А., Яценко С.П. Гидрохимические способы комплексной переработки боксита. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 386 с.

64. Торопов Е.В., Капкаев И.Р. Охрана воздушного бассейна при термической переработке отходов // Охрана атмосферного воздуха. Проблемы и пути решения : сб. науч. ст. науч.-практ. конф. Челябинск, 2001. С. 75–76.
65. Беседин А.А. Повышение комплексности переработки бокситов за счет утилизации красного шлама в производстве портландцемента: Диссертация на соискание степени к.т.н. СПб: МИСиС, 2014. 174 с.
66. Утков В.А., Сизяков В.М., Крюковский В.А. Опыт освоения подготовки и использования отвальных шламов глиноземного производства // Metallurg. 2008. № 11. С. 60–62.
67. Роменц В.А. Процесс Ромелт. Издательский дом “Руда и металлы”. М.: МИСиС.2005. 400 с.
68. Соболев М.И., Сизяков В.М., Мальц Н.С. Повышение эффективности технологии производства глинозема и попутных продуктов // Труды ВАМИ. 1984. С. 30–37.
69. Утков В.А., Сизяков В.М. Современные вопросы металлургической переработки красных шламов // Записки Горного института. 2013. Том. 292. С. 39–43.
70. Розен Я.Б., Синельщикова Н.В. Переработка отходов глиноземного производства. М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1981. 49 с.
71. Сизяков В.М. Состояние и перспективы развития способа комплексной переработки нефелинов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию ВАМИ. СПб, 2006. С. 22–37.
72. Утков В.А., Петров С.И., Панин Н.М. Эффективность использования глиноземных красных шламов в аглошихте // Цветные металлы. 1980. № 7. С. 86–88.
73. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. Metallurgiya. М., 1980. 303 с.
74. Сивушов А.А., Утков В.А., Бажин В.Ю. Уменьшение рисков экологических катастроф предприятий алюминиевой промышленности сокращением объемов складирования красных шламов // 3-я междунар. науч.-практ. конф. «Пром.

- безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в 21 веке». 2016. С. 128.
75. Утков В.А., Нургалиев Д.Ф., Сизяков В.М. Исследование теплопроводности новых жаропрочных бетонов с пористыми наполнителями // Новые огнеупоры. 2014. № 7. С. 25–26.
76. Пустильник Г.Л., Нестерова Т.Е. Комплексная переработка бокситов и другого алюмосодержащего сырья за рубежом. Цветметинформация. М., 1972. 24 С.
77. Сивушов А.А., Утков В.А., Бажин В.Ю. Расчетные данные эффективности применения красного шлама с учетом уменьшения содержания железа и мелкой фракции в агломерате // Труды Всерос. науч-тех конф. молодых ученых и аспирантов. «Сиб. гос. индустр. университета». 2016. С. 203–208.
78. Утков В.А., Мешин В.В., Шмигидин Ю.И. Результаты работ по утилизации красных шламов глиноземного производства // Цветные металлы. 1991. № 9. С. 71–74.
79. Пустильник Г.Л. Современное состояние и перспективы комплексной переработки красных шламов глиноземного производства за рубежом. Цветметинформация. М., 1975. С. 3–40.
80. Пягай И.Н., Яценко С.П., Пасечник Л.А. Способ получения оксида скандия // Бюллетень изобретений РФ. 2013. Том 15.
81. Утков В.А., Луговский Н.Ю., Яковлев М.Г. Основность и прочность железорудных агломератов // Записки Горного института. 2013. Том 292. С. 260–263.
82. Пугин К.Г., Вайсман Я.И., Юшков Б.С. Снижение экологической нагрузки при обращении со шлаками черной металлургии. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2008. 316 с.
83. Петельский М.Б. Современные тенденции в применении насосного оборудования в газоочистке. (ООО «ТД «Элма») // Сборник докладов VII международной конференции пылегазоочистка. М.: ООО «ИНТЕХЭКО», 2014. С. 93–96.

84. Утков В.А., Луговской Н.Ю. Варианты металлургической переработки железных руд Яковлевского месторождения // Записки Горного института. 2013. Том 292. С. 264–265.
85. Пегова С.А., Солобоева И.С. Экологически чистое производство : подходы, оценка, рекомендации / Учебно-методическое пособие. Екатеринбург: ИРА - УТК, 2000. 392 с.
86. Николаев А.И., Домонов Д.П. Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий // Материалы X Межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов. Апатиты: Научный совет РАН “Научные основы химической технологии”, Кольский научный центр, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева, Мурманский государственный технический университет, Администрация Мурманской области, Министерство образования и науки Мурманской области, 2016. С. 246-249.
87. Утков В.А., Леонтьев Л.И., Яковлев М.Г. Уменьшение содержания щелочей, серы и фосфора при термическом окусковании красного шлама // Сталь. 2013. № 2. С. 12–13.
88. Паримбетов Б.П., Требухина Н.А. Бокситовые шламы - сырье для производства автоклавных бетонов. М.: Стройиздат, 1980. 104 с.
89. Лебедев А.Б., Утков В.А., Бажин В.Ю. Улучшение условий труда на площадке грануляции расплавленных шлаков с использованием красных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень : научно-технический журнал. М.: Горн. кн., 2017. Том 4: спец. вып. 5-2. С. 231–238.
90. Никифоров И.А. Адсорбционные методы в экологии. Саратов: СГУ, 2011. 45 С.
91. Утков В.А., Леонтьев Л.И. Повышение прочности агломератов и окатышей при помощи бокситового красного шлама // Сталь. 2005. № 9. С. 2–4.
92. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья. Мариуполь: ПГТУ, 2010. 442 с.

93. Лебедев А.Б., Утков В.А., Бажин В.Ю. Улучшение условий труда на площадке грануляции расплавленных шлаков с использованием красных шламов // 3-я междунар. науч.- практ. конф. «Пром. безопасность предприятий. минерально-сырьевого комплекса в 21 веке». СПб, 2016.С. 122.
94. Утков В.А., Зырянова О.В., Яковлев М.Г. Высокоосновный бокситовый агломерат // Записки Горного института. 2013. Том 292. С. 257–259.
95. Лебедев А.Б., Сивушов А.А. Экономические проблемы переработки отхода производства глинозема из бокситов – красных шламов // Сб. науч. трудов Междунар. науч. конф. «Экономич. проблемы и механ. развития мин.-сырьевого комплекса (Российский и миров. опыт). СПб, 2016. С. 219–221.
96. Утков В.А., Зырянова О.В. Моделирование зависимости прочности агломератов от их основности // Журнал прикладной химии. 2013. Том 86, № 3. С. 336–339.
97. Макаревич Н.А., Богданович Н.И. Теоретические основы адсорбции. Архангельск: САФУ, 2015. 362 с.
98. Утков В.А., Вакуленко В.Х. Опыт спекания красного шлама на агломерационной ленте // Цветная металлургия. 1964. № 13. С. 22–25.
99. Ладыгичев М.Г., Чижикова В.М. Сырьё для чёрной металлургии: справочное издание / Экология металлургического производства. Теплоэнергетик. М., 2002. Том 2. 448 с.
100. Зайнуллин Л.А., Бычков А.В., Чеченин Г.И. Энергосберегающая технология переработки доменных шлаков // Металлургическая теплотехника : сб. науч. тр. Национальная металлургическая академия Украины. Днепропетровск : НМетАУ. 2002. Том 7. С. 166–168.
101. Зайнуллин Л.А., Мехряков Д.В., Грезнев Г.В. Опыт ОАО «ВНИИМТ» внедрения и эксплуатации технологии припечной грануляции доменного шлага в Китайской народной республике // Международная научно-практическая конференция “Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности”, посвященная 95-летию

- основания кафедры ТИМ, УрФУ и 85-летию основания ОАО «ВНИИМТ». Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 204–215.
102. Утков В.А., Беседин А.А., Бричкин В.Н. Агломерационное спекание красного шлама // Обогащение руд. 2014. № 2. С. 28–31.
103. Корнеев В.И., Сусс А.Г. Красные шламы. Свойства, складирование и применение. М.: Metallurgia, 1991. 144 с.
104. Еремин Н.И. Способы комплексной переработки красных шламов с получением металлического железа // Материалы совещания специалистов ВАМИ-ФКИ. Будапешт, 2009. С. 25–27.
105. Утков В.А., Бажин В.Ю., Зырянова О.В. Особенности спекания марганцовистого концентрата // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 17–19.
106. Трушко В.Л., Утков В.А., Бажин В.Ю. Актуальности и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства // Записки Горного института. 2017. Том 227. С. 547–553.
107. Тациенко П.А., Утков В.А. О совместной переработки шламов цветной и черной металлургии // Metallurg. 2008. № 11. С. 58–59.
108. Сорокин Ю.В., Демин Б.Л. Экологические и технологические аспекты переработки сталеплавильных шлаков // ОАО «Черметинформация». Бюл. «Черная металлургия». 2003. № 3. С. 75–79.
109. Смирнов Д.И., Молчанова Т.В., Водолазов Л.И. Сорбционное выщелачивание скандия из красных шламов // Цветные металлы. 1995. № 10. С. 44–46.
110. Смирнов Д.И., Молчанов Т.В., Водолазов Л.И. Сорбционное извлечение редкоземельных элементов, иттрия и алюминия из красных шламов // Цветные металлы. 2002. № 8. С. 64–69.
111. Воскобойников В.Г., Кудрин В.Я., Якушев А.М. Общая металлургия. ИКЦ «Академкнига». М., 2002. 768 с.
112. Братыгин Е.В., Газалеев Г.И., Дмитриева Е.Г. Исследование обогащенных красных шламов при производстве высокоофлюсованных агломератов с целью

- дальнейшей из переработки в доменных печах // Сб. докладов пятой международной конференции. М., 2012. С. 63–67.
113. Калиниченко И.И., Блiferнец Н.А., Колесникова М.П. Исследование состава и свойств красного шлама. Екатеринбург: Уральский государственный технический университет, 2002. 11 с.
114. Гордон Я.М., Боковиков Б.А., Швыдкий В.С. Тепловая работа шахтных печей и агрегатов с плотным слоем. Metallurgia. М., 1989. 120 с.
115. Shultz F.G., Berber J.S. Hydrogen Sulfide Removal From Hot Producer Gas With Sintered Absorbents // Journal of the Air Pollution Control Association. 1970. Vol. 20, № 2. P. 93–96.
116. Patel S., Pal B.K. Current Status of an Industrial Waste: Red Mud an Overview. 2015. Vol. IV, № VIII. P. 16.
117. Patel S., Pal B.K. Current Status of an Industrial Waste: Red Mud an Overview. 2015. P. 16.
118. Zhuravlev F.M. Especially the use of waste alumina production red mud when getting the iron ore pellets // VAMI. 1992. P. 30-38.
119. Yakovlev M.G. Technology of sintering of red mud dump alumina production. 2013. P. 20.
120. Moggridge M. Destroying the red menace // Alum. Int. Today. 2012. P. 51–54.
121. Lebedev A.B., Utkov V.A., Kaygorodova O.A. Use of dumped red mud of alumina industry at granulation of the molten sulfur-containing blast furnace slag // Periódico tchê química. 2019. Vol. 16, № 31. P. 837–845.
122. Dursun S., Guclu D., Bas M. Phosphate removal by using activated red mud from Seydisehir Aluminium Factory in Turkey. 2006. Vol. 1. P. 9.
123. Venancio L.A., M Paiva E.A., Mcedo E.N. Bauxite residue neutralization with carbon sequestration // Brazil. Light Metals. 2010. Vol. 167. P. 185–193.
124. Thorne S.W., Sant B.R. Utilization of red mud. Analysis and utilization as raw material for absorbents, building-materials, catalysts and pollution problems // J. Sci. Ind Res. 1983. Vol. 42, № 2. P. 87–108.

125. Sushil S., Batra V. Catalytic applications of red mud, an aluminum industry waste: A review // *Appl. Cat. B - Environ.* 2008. Vol. 81, № 1–2. P. 64–77.
126. Piga L., Pochetti F., Stoppa L. Recovering metals from red mud generated during alumina production. // *Metals.* 1993. Vol. 45, № 11. P. 54–59.
127. Сизяков В.М. Современное состояние и проблемы развития алюминиевой промышленности России // *Записки Горного института.* 2005. Том 165. С. 163–170.
128. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. Пенза: ПГУ, 2006. 201 с.
129. Paramguru R., Rath C., Misra V. Trends in red mud utilization - A review // *Min. Process. Extract. Metal. Rev.* 2005. Vol. 26, № 1. P. 1–29.
130. Mishra B., Staley A., Kirkpatrick D. Recovery of value-added products from red mud // *Min. Metallurg. Process.* 2002. Vol. 19, № 2. P. 87–94.
131. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н. *Металлургия чугуна.* ИКЦ «Академкнига» 3-е изд. М., 2004. 774 с.
132. Liu W., Yang J., Xiao B. Review on treatment and utilization of bauxite residues in China // *International Journal of Mineral Processing.* 2009. Vol. 93, № 3–4. P. 220–231.
133. Klauber C., Grafe M., Power G. Bauxite residue issues: II. options for residue utilization // *Hydrometallurgy.* 2011. Vol. 108, № June. P. 11–32.
134. Justiz-Smith N., Buchanan V., Oliver G. The potential application of red mud in the production of castings // *Mat. Sci. Eng. A.* 2006. Vol. 420, № 1–2. P. 250–253.
135. Júnior A., Borges A., Oliveiral A. Using a Multivariate Statistical in the Identification of Alumina Loss in Red Mud // *Brazil. Light Metals.* 2013. № 2. P. 87–89.
136. Сивушов А.А., Утков В.А., Трушко В.Л. Улучшение экологии доменного производства за счет применения бокситового красного шлама // *Сталь.* 2017. № 8. С. 63–65.
137. Бузырев В.В., Ивашенцева Т.А., Кузьминский А.Г. Экономика строительного предприятия. Учебное пособие по дисциплине “Экономика

- строительной организации”. Типография СО РАМН. Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный ун-т, 1998. 273 с.
138. Сенник А.И., Милуков С.В., Прошкина О.Б. Образование выбросов сероводорода при внешней грануляции доменных шлаков // Вестник МГТУ им. Г.Н. Носова. 2008. № 3. С. 75–79.
139. Бондалетова Л.И., Новиков В.Т., Алексеев Н.А. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котло-агрегатах котельных. Методическое пособие. Томск: Томский политех. ун-т, 2000. 39 с.
140. Jamieson E., Jones A., Cooling D. Magnetic separation of Red Sand to produce value // Min. Eng. 2006. Vol. 19, № 15. P. 1603–1605.
141. Horvath G. Red Mud Smelting Experiments // Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae. 1974. Vol. 79, № 3–4. P. 413–449.
142. Ercag E., Apak R. Furnace smelting and extractive metallurgy of red mud: Recovery of TiO_2 , Al_2O_3 and pig iron. // Chem. Technol. Biotechnol. 1997. Vol. 70, № 3. P. 241–246.
143. Atasoy A. The comparison of the Bayer process wastes on the base of chemical and physical properties. // Therm. Anal. Calor. 2007. Vol. 90, № 1. P. 153–158.
144. Селиванова Е.С., Боброва З.М. Методы снижения выбросов соединений серы в атмосферу при грануляции доменного шлака // Теория и технология металлургического производства. 2014. Том 14, № 1. С. 81–82.
145. Большина Е.П. Экология металлургического производства. Курс лекций. Новотроицк, 2012. 155 с.
146. Пак В.Н., Обухова Н.Г. Сорбционные свойства железосодержащего шлама по отношению к сульфидионам в растворах // ЖПХ. 1979. Том 67, № 11. С. 1802–1807.
147. Найдек В.Л., Курпас В.И., Мельник С.Г. Переработка и использование сталеплавильных шлаков // Металл и литье Украины. 2013. Том 238, № 3. С. 3–7.

148. Можаренко Н.М., Параносенков А.А., Евглевский В.С. Шлакообразующая роль красных шламов // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2004. № 9. С. 61–66.
149. Matheson M., Xie D., Jahanshahi S. Literature review of red mud treatments for safe disposal, utilization and value recovery // *Centre for Sustainable Resource Processing*. Clayton, 2005. P. 78.
150. Korshunov E.A. Reworking red mud of alumina production process.: pat. RU2245371-C2 USA. 2005. 4 p.
151. Можаренко Н.М., Носков В.А. Возможные направления использования красного шлама в металлургическом производстве // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2001. № 2. С. 127–128.
152. Мемоли Ф., Гуззон М. Рециклинг печных побочных продуктов инъекцией в электродуговую печь - опыт и перспективы // *Черные металлы*. 2007. № 4. С. 26–33.
153. Логинов Ю.Н., Буркин С.П., Логинова И.В. Восстановительная плавка красных шламов глиноземного производства // *Сталь*. 1998. № 8. С. 74–77.
154. Ли Т.С., Чой И.С., Сон В.Е. Технология утилизации ковшового шлака // *Черные металлы*. 2004. № 5. С. 28–33.
155. Лебедев А.Б., Утков В.А., Бажин В.Ю. Применение красного шлама в качестве модификатора при грануляции металлургических шлаков // *Вестник ИрГТУ*. 2019. Том 23, № 1. С. 158–168.
156. LaBarca I.K., Foley R.D., Cramer S.M. Effects of Ground Granulated Blast Furnace Slag in Portland Cement Concrete (PCC)-Expanded Study. University of Wisconsin-Madison, 2007. P. 89.
157. Muster F. Rotschlamm: Reststoff aus der Aluminiumoxidproduktion - ökologischer Rucksack oder Input für Produktionsprozesse? Kassel: Kassel Univ. Press, 2007. 125 p.
158. Лебедев А.Б. Получение оксида иттрия из отходов глиноземного производства // *FUTURE JOURNAL*. 2016. № 1. С. 30–31.

159. Лайнер Ю.А. Физико-химические и технологические основы ресурсосберегающих и экологически чистых технологий комплексной переработки алюмосодержащего сырья // Технология металлов. 2007. № 6.
160. Klauber C., Gräfe M., Power G. Review of Bauxite Residue “Re-use” Options. CSIRO, 2009. 66 p.
161. Кузьмина Р.И., Севостьянов В.П. Каталитическая очистка газовых выбросов от оксидов азота и углерода // Российский химический журнал. 2000. Том XLIV, № 1. С. 71–77.
162. Кузнецов Ю.М., Зайнуллин Л.А. Новый способ приготовления известняковой суспензии для систем мокрой сероочистки газов // Сталь. 2005. № 3. С. 118–120.
163. Кравченко В.П. Анализ способов грануляции шлаковых расплавов и факторов, влияющих на качество граншлака // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки. 2015. Том 30, № 1. С. 51–58.
164. Кожевников Г.Н., Водопьянов А.Г., Паньков В.А. Совместная комплексная переработка бокситов и красных шламов // Цветные металлы. 2013. № 12. С. 36–38.
165. Leoni F., Penco, C. Bauxite residue desulphurisation system (brds) at eurallumina // Proceedings of the 6th International Alumina Quality WorkshoC. Portoscuso (CA), Italy, 2002. P. 1046-1058.
166. Гроспич К.Х., Эверс В., Домбровски Г. Новая установка грануляции шлака: улучшение хода процесса и повышение производительности // Черные металлы. 2004. № 1. С. 20–26.
167. Злоказов Б.Г., Шморгуненко Н.С., Утков В.А. Основные проблемы утилизации красного шлама // Цветные металлы. 1982. № 3. С. 39–40.
168. Kuhn M., Drissen C., Schrey H. Successful treatment of liquid BOF slag at Thyssen Krupp Steel works to solve the problem of volume stability // Proc. 3rd European Oxygen Steelmaking Conf. Oct-Nov. Birmingham, U. K., 2000. P. 521–531.

169. Зайнуллин Л.А., Мехряков Д.В., Грезнев В.Г. Опыт внедрения установок припечной грануляции шлака по технологии ВНИИМТ на доменных печах объемом 1260 м³ и 4150 м³ в Китайской Народной Республике // Сталь. 2015. № 3. С. 35–38.
170. Зайнуллин Л.А. Особенности применения трехфазного эрлифта в системах припечной грануляции шлаков // Сталь. 2005. № 3. С. 114–116.
171. Зайнуллин Л.А., Сухобаевский Ю.Я., Давыдов А.А. Использование установки припечной грануляции в цветной металлургии // Сталь. 2000. № 3. С. 18–20.
172. Грачев В.В. Определение различных форм серы в гидроалюмосиликатах натрия и красных шламов // Цветная металлургия. 1986. № 1. С. 30–32.
173. Глинская И.В., Горбунов В.Б., Подгородецкий Г.С. Аналитический контроль металлургического процесса переработки красного шлама // Известия вузов. Черная металлургия. 2013. № 9. С. 17–21.
174. Власов А.С., Делицын Л.М., Ежова Н.Н. Современные методы очистки дымовых газов // Экология промышленного производства. 2006. № 2. С. 50–57.
175. Бычин А.И. Перспективы комплексной металлургической переработки красных шламов // Цветные металлы. 1963. № 2. С. 49–52.
176. Бричкин В.Н., Сизяков В.М., Утков В.А. Кондиционирование состава известняково-нефелиновых шихт при использовании бесщелочных сырьевых добавок // Обогащение руд. 2017. № 1. С. 51–55.
177. Боковикова Т.Н., Некрасова А.А., Привалова Н.М. Термодинамические и кинетические характеристики процесса сорбции ионов тяжелых металлов на модифицированном неорганическом сорбенте в стоках предприятий пищевой промышленности // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2012. № 5/6. С. 85–89.
178. Беседин А.А., Утков В.А., Бричкин В.Н. Агломерационное спекание красных шламов // Обогащение руд. 2014. № 2. С. 28–31.
179. Арбузов В.А., Исанова Б.Х., Белякова М.О. Очистка дымовых газов ТЭЦ от оксидов серы и азота // Литье и металлургия. 2009. Том 3, № 52. С. 99–103.

180. Алешин А., Остроушко А., Пустовалов Ю. Рациональность и отвал // *Металл*. 2008. № 7. С. 50–52.
181. Аловяйников А.А., Трегулов В.Р. Разработка теоретических основ расчета равновесия сорбции неорганических газов на полимерных материалах и их экспериментальная проверка // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 1999. № 2. С. 146-150.

ПРИЛОЖЕНИЕ

РАЗРАБОТАННЫЕ НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПАТЕНТОВАНИЕ

Учебная установка для лабораторных исследований по поглощению соединений серы из промышленных газов

Полезная модель относится к специальному оборудованию, предназначенному для обучения студентов вузов и колледжей техническим дисциплинам, а более конкретно для демонстрационно-практического изучения процессов поглощения (изучение поглотительной способности поглотителей), приборов и единиц измерения скорости и температуры газовой смеси, пропускаемой через потенциальный поглотительный материал, а также зависимости степени поглощения от химического состава.

Учебная установка для лабораторных исследований по поглощению соединений серы из промышленных газов поясняется схемами, где (Рисунок 37) изображен общий вид установки.

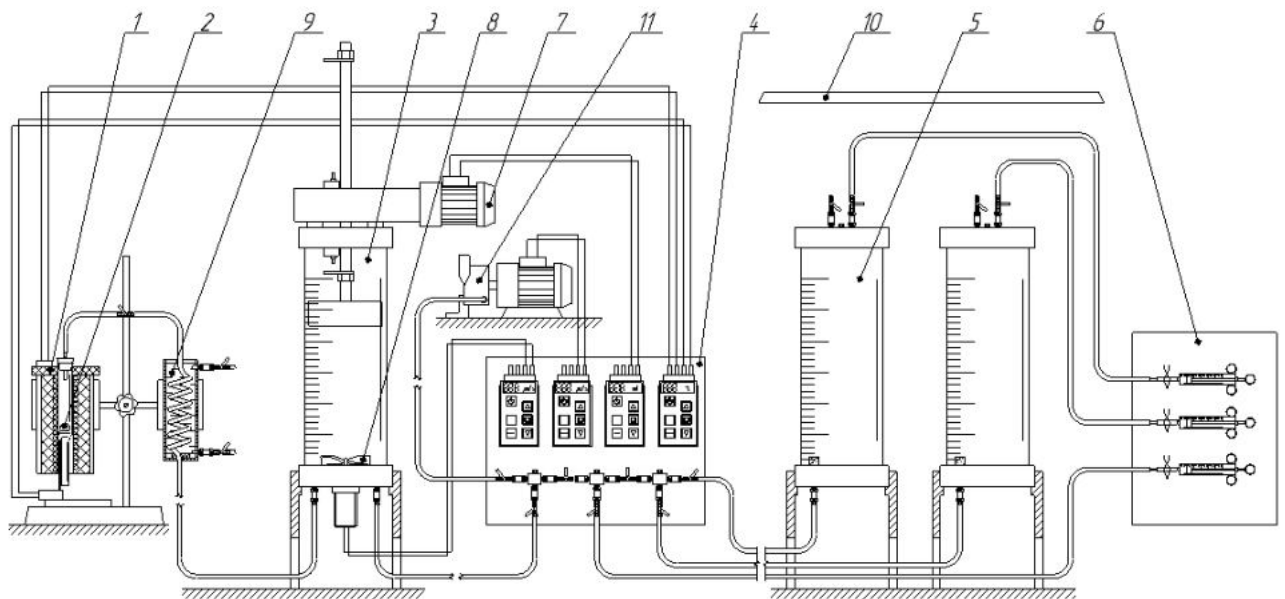


Рисунок 37. Схема установки для лабораторных исследований по поглотительной способности

На схеме (Рисунок 38) изображена панель управления установкой для моделирования нужной концентрации газовой смеси, регулировки скорости потока и направления его в нужную емкость, содержащую поглотитель.

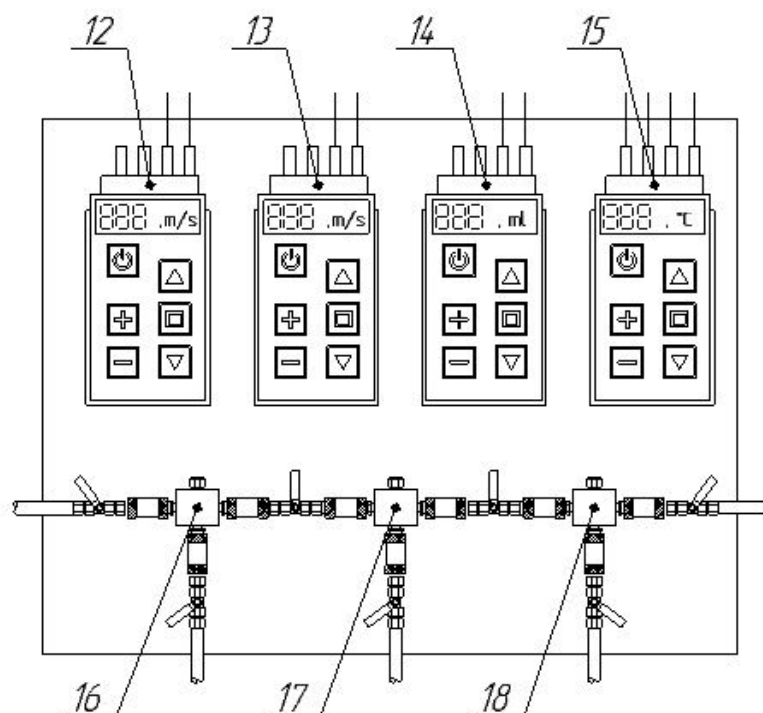


Рисунок 38. Схема панели управления установки

Учебная установка для лабораторных исследований по поглощению соединений серы из промышленных газов состоит из горизонтально разъемной печи 1, бюретки 2 для нагревания серосодержащего образца, холодильника 9 с автономной подачей воды, выполненного в виде прозрачной трубки связанной с цилиндром 3 в котором поршень, приводимый в движение двигателем 7 забирает газовую смесь из пространства печи, постоянная концентрация примесей в объеме емкости цилиндра поддерживается посредством перемешивающего устройства 8, для регулирования концентрации установлен двигатель с насосом 11, цилиндры 5 содержащие в себе образцы поглотителей, вытяжка 10 для отвода очищенной газовой смеси и аналитической панели 6, где находятся бюретки с образцами

газов. Управление осуществляется с панели управления установки, где управляющий прибор 12 (УП12) отвечает за работу перемешивающего устройства, УП13 осуществляет регулирование подачи воздуха из внешнего контура, УП14 задает скорость перемещения поршня, УП15 контролирует температуру печи. Направление газового потока осуществляется с помощью переключающих узлов 16,17 и 18.

Учебная установка для лабораторных исследований по поглощению соединений серы из промышленных газов работает следующим образом.

Изучение емкостных свойств образцов осуществляется по следующей методике:

1. В горизонтально разъемную печь 1, устанавливаем бюретку 2, с навеской серосодержащего образца. Печь нагревается до необходимой температуры 700-800°C, устанавливая режим помощью УП15, при этом образец начинает выделять сероводород и сернистый газы.

2. Поршень в цилиндре 3, управляемый двигателем 7 посредством УП14, перемещается в вертикальном направлении, заполняя внутренний объем газом, который проходит через печь. При смешивании с соединениями серы образует смесь. Пройдя через холодильник 9, попадая в цилиндр, устанавливается постоянная концентрация серы в газе. Далее вход в цилиндр перекрывается и открывается выходной клапан, поршень вытесняет смесь, которая попадает в бюретку для анализа концентрации серы. Во время работы постоянно работает перемешивающее устройство 8, управляемое УП12.

3. В случае необходимости двигатель с насосом 11 уменьшает степень концентрации соединений серы в газовой смеси, управляемый с помощью УП13.

4. Газовый поток при смене положения переключающего устройства 18, направляется в цилиндры 5, проходя через объем одного из образцов поглотителей, покидает систему, где улавливается вытяжкой 10.

5. Изначально полученные и очищенные газы, отбираются в бюретки 6. Далее образцы проб направляются на химический анализ.

Пример 1. В качестве поглотителя для очистки отработанных газов применяется отход производства глинозема бокситовый шлам БА3 со следующим химическим составом, мас. %: SiO_2 - 8,3; Al_2O_3 - 18,3; Fe_2O_3 - 42,5; CaO - 5,5; Na_2O - 5,7.

Пример 2. В качестве поглотителя для очистки отработанных газов применяется отход производства глинозема бокситовый шлам УА3 со следующим химическим составом, мас. %: SiO_2 - 23,4; Al_2O_3 - 6,6; Fe_2O_3 - 7,6; CaO - 46,6; Na_2O - 3,8.

Пример 3. В качестве поглотителя для очистки отработанных газов применяется отход производства глинозема бокситовый шлам ВА3 со следующим химическим составом, мас. %: SiO_2 - 3,7; Al_2O_3 - 12,6; Fe_2O_3 - 53,3; CaO - 7,8; Na_2O - 2,3.

Пример 4. В качестве поглотителя для очистки отработанных газов применяется отход производства глинозема бокситовый шлам ПА3 со следующим химическим составом, мас. %: SiO_2 - 13,8; Al_2O_3 - 19,3; Fe_2O_3 - 34,8; CaO - 5,9; Na_2O - 6,1.

Формула изобретения: Учебная установка для лабораторных исследований по поглощению соединений серы из промышленных газов, отличающийся тем, что имеется автономная система подготовки газа, забираемого емкостью в виде прозрачного цилиндра с поршнем, на дне которого размещено устройство перемешивания, для поддержания однородной концентрации газовой смеси, в момент накопления и расхода объема смоделированного газа, имеющего на внешней поверхности мерную шкалу, обеспечивающую визуальную демонстрацию уровня заполнения, датчики для ограничения хода перемещения поршня, панель управления режимами работы установки, снятия и обработки показаний в электронной вычислительной машине с используемой программной средой Lab View, позволяющая контролировать расход проходящего газа путем, обеспечения регистрации выходных данных на твердый носитель, при этом для изменения концентрации газовой смеси установлен нагнетательный насос, распределение газа происходит по двум или более цилиндрам содержащими образцы поглотителей, для исследования его образцов, направления газового потока осуществляется системой переключения между цилиндрами поглощения и панелью позволяющей провести аналитическое сравнение отобранных проб газовой смеси.

Вязущее на основе бокситового шлама

Изобретение относится к производству строительных материалов, в частности минеральных вяжущих, и может быть использовано в производстве шлакощелочных вяжущих. Техническим результатом является повышение эффективности размалывания получаемого шлакошламового вяжущего, его прочности и трещиностойкости.

Технический результат достигается тем, что в качестве щелочного компонента используется бокситовый шлак, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

доменный гранулированный шлак,	91,7 - 93,9;
пылевидный отход механической обработки электродов	0,1 - 0,3;
бокситовый шлак	остальное.

Заявляемый состав вяжущего включает в себя следующие реагенты и товарные продукты, их содержащие:

1. Доменный гранулированный шлак, произведенный на заводе Мечел (Москва, Россия), характеризующийся следующими данными (Таблица 16).

Таблица 16. Химический состав доменного гранулированного шлама, мас. %:

CaO	Al ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MgO	S	Mo	MnO
35,0-45,0	≥8,00	0,20-1,00	35,00-45,00	0,50-1,00	1,00-1,50	≤4,00	≤15,00	≤1,00	0,95-1,10	≤2,00

Пылевидный отход механической обработки электродов характеризуется следующими показателями: проходит через сито с отверстиями 1,25 мм - 100% и 0,071 мм - 80-85%; истинная плотность вещества пыли 2,06-2,10 г/см³; средняя насыпная плотность 0,65-0,82 г/см³. По классификации ГОСТ 3476-74 данный шлак с коэффициентом качества $K_k=1,46$, модулем активности $M_a=0,18$ и модулем основности $M_o=1,12$ относится к третьему сорту.

2. Пылевидный отход механической обработки электродов. Для интенсификации помола доменного гранулированного шлака применена добавка пылевидного отхода электролизного участка, улавливаемого системой пылеочистки цехов механической обработки электродов Новочеркасского электродного завода.

3. Отход глиноземного производства – бокситовый шлам следующего химического состава (Таблица 17).

Таблица 17. Химический состав бокситового шлама, мас. %:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O
21,2-22,4	7,0-7,8	16,9-18,0	42,0-43,4	0,4-0,5	1,4-1,7

Характеристикой трещиностойкости в соответствии с ГОСТ 29167-91 является условный критический коэффициент интенсивности напряжений, который определяется по экспериментальным данным с использованием зависимости (1):

$$K = \frac{3FL}{2t\sqrt{b}} \sqrt{ab} (1,93 - 3,07\lambda + 14,53\lambda^2 - 25,11\lambda^3 + 25,8\lambda^4), \quad (33)$$

где F- нагрузка, соответствующая динамическому началу движения магистральной трещины при неравновесных испытаниях, МН;

L, b, t, a - размеры образца и длина начального надреза (по ГОСТ 29167-91), м;

$\lambda = a/b$ - относительная длина начального надреза (в нашем случае $\lambda = 0,25$).

Проведенные испытания представлены в таблице 10, из которой видно, что предлагаемое вяжущее, содержащее ускоритель помола - добавку 0,1-0,3% мельничной пыли механической обработки электродов, в сравнении с аналогом характеризуется сокращением на 10-15% времени приготовления шлака, снижением с 22-23 до 21-22% нормальной плотности теста, повышением в возрасте 28 суток нормального твердения прочности при сжатии на 6-11% и трещиностойкости шлакощелочного цементного камня на 27-41%.

Включение в состав вяжущего бокситового шлама вместо синтетической кальцинированной соды позволяет сократить длительность помола шлама на 10-15% и повысить прочности на 27-41% в возрасте 28 суток нормального твердения при сжатии на 6-11% и трещиностойкости шлакощелочного цементного камня.

Формула изобретения: Вяжущее, состоящее из доменного гранулированного шлама, пылевидного отхода механической обработки электродов и щелочной компонент *отличающееся тем, что* в качестве щелочного компонента используется бокситовый шлам, при следующем соотношении компонентов, мас. % (Таблица 18):

доменный гранулированный шлам,	91,7 - 93,9;
пылевидный отход механической обработки электродов	0,1 - 0,3;
бокситовый шлам	остальное.

Таблица 18. Физико-химические характеристики состава вяжущего

№	Состав вяжущего, %			Длительность помола до $S_{уд}=3000$, $см^2/г·мин$	Нормальная плотность теста, %	Прочность при сжатии, Мпа/%	Коэффициент трещиностойкости, $K_c/‰$
	Доменный гранулированный шлам	Пылевидный отход механической обработки электродов	Бокситовый шлам				
1	91,70	0,30	8,00	83,00	25,00	57,3/101	0,53/104
2	92,30	0,20	7,50	81,00	23,00	60,2/106	0,54/127
3	92,65	0,15	7,20	78,00	22,00	61,4/111	0,55/141
4	93,10	0,30	6,60	75,00	23,00	61,6/109	0,54/135
5	93,90	0,10	6,00	73,00	23,00	62,4/108	0,54/132
Прототип							
6	94,90	0,10	5,00	85,00	23,00	60,2/106	0,52/127

Способ окускования бокситового шлама и приспособление для его осуществления

Изобретение относится к области формования изделий из жидкоподвижных материалов, таких как пульпа и может быть применено в различных отраслях промышленности и строительства.

Техническим результатом является возможность транспортирования окускованного бокситового шлама, с влажностью 23-27%, для различных отраслей промышленности на участки расположенные на значительном расстоянии от мест складирования отхода.

Технический результат достигается тем, что окускование осуществляется методом заливки песчаного бокситового шлама, взятого в пляжной зоне вблизи от места сброса, в многоместную форму, где в течении 3-5 суток происходит обезвоживание с последующим затвердеванием материала, а после извлечения формы сформированные куски (блоки) удобны для транспортирования и при этом не образуют пыль.

Техническим результатом является создание формы, в виде многоместной матрицы, в которую заливается жидкоподвижный бокситовый шлам, и после, затвердевания материала, форма извлекается оставляя сформированные куски (блоки), удобные для транспортирования.

Технический результат достигается тем, что при заливке жидкоподвижного бокситового шлама в форму установленную на основание, имеющее достаточную пористость для отвода излишков влаги, посредством ячеек матрицы оформляются грани кусков (блоков), при затвердевании материала форма вертикально снимается и устанавливается для следующей порции заливки, образуя готовую продукцию, в виде окускованного красного шлама.

Способ окускования бокситового шлама и приспособление для его реализации поясняется ледующими фигурами:

Рисунок 27 - Схема способа окускования бокситового шлама;

Рисунок 28 - Схема приспособления для окускования.

Способ осуществляется следующим образом. Куски (блоки) бокситового шлама оформляются с помощью формы, в виде многоместной матрицы, которую устанавливают на основание, в образовавшиеся ячейки заливают жидкоподвижный бокситовый шлам, после затвердевания материала матрицу отделяют от окускованного бокситового шлама и процесс повторяется снова.

Приспособление содержит форму, в виде многоместной матрицы с ячейками А:В:С и основание с достаточной пористостью для дренажа излишков влаги.

Приспособление работает следующим образом. Форму, в виде многоместной матрицы, устанавливают на основание, образуя емкости с открытым верхом, затем ячейки заполняют жидкоподвижным бокситовым шламом, после оформления граней кусков (блоков) матрица извлекается из затвердевшего состава и устанавливают для повторной заливки.

Примеры осуществления способа и конструкции приспособления:

1. Окускованный бокситовый шлам оформляются в ячейках с параметрами А:В:С =2:4:1, с оформлением верхней и нижней плоскостей, что позволяет использовать материал в кладке при строительстве.
2. Окускованный бокситовый шлам оформляются в ячейках с параметрами А:В:С =2:4:1, с оформлением рельефных частей в верхней и нижней плоскостях, что позволяет использовать материал в плотнопримыкающей кладке при возведении стен.
3. Окускованный бокситовый шлам оформляются в ячейках с параметрами А:В:С =4:8:1, с оформлением верхней и нижней плоскостей, что позволяет заполнение армированных секций при вертикальном тонкостенном заполнении.
4. Окускованный бокситовый шлам оформляются в ячейках с параметрами А:В:С =4:8:1, без оформления верхней и нижней плоскостей, что позволяет ускорить процесс формирования куска, с дальнейшим применением его в качестве руды для добавления в шихту.

5. Окускованный бокситовый шлак оформляются в ячейках с параметрами $A:B:C = 4:8:1$, с оформлением только нижней плоскостей, что позволяет использовать продукцию в качестве облицовочного материала.

6. Окускованный бокситовый шлак оформляются в ячейках с параметрами $A:B:C = 1:2:1$, с оформлением верхней и нижней плоскостей, что позволяет удобное оформление штабелей при складировании материала.

Формула изобретения:

1. Способ окускования бокситового шлама, содержащий формирование смеси в форме, предварительное выравнивание и удаление излишков материала, подсушивание затвердевшего изделия в форме, удаление формы, окончательную сушку, отличается тем, что при оформлении кусков (блоков) бокситового шлама используется форма в виде многоместной матрицы, устанавливаемой на основание и образующей с ним ячейки с открытым верхом и параметрами $A:B:C$, где процесс формирования материала осуществляется под собственным весом, в течении 3-5 суток не требует операции виброуплотнения, после извлечения формы блоки окускованного бокситового шлама окончательно сушатся до содержания влаги 23-27% и представляют собой транспортабельную готовую продукцию.

2. Приспособление для реализации способа, содержащее форму, в виде многоместной матрицы, где борта и нижнее основание (пластина) образуют прямоугольные ячейки с открытым верхом, отличающееся тем, что форма выполнена из вертикально установленных полос и перпендикулярно закрепленных между собой, образующих ячейки с параметрами $A:B$, а основание имеет достаточную пористость для отвода излишков влаги.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед размещением жидкоподвижного бокситового шлама в форме в смесь добавляют колотую крошку.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед размещением жидкоподвижного бокситового шлама в форме в смесь добавляют цемент.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед размещением жидкоподвижного бокситового шлама в форме в смесь добавляют гранулированный доменный шлак.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что после извлечения окучкованного бокситового шлама из форм их укладывают в кассеты, которые устанавливают в штабель.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что рельефообразование выполняют с помощью матрицы-трафарета, размер которой соответствует параметрам одной ячейки $A:B$, при этом матрицу-трафарет кратковременно накладывают на поверхность в каждой ячейке.

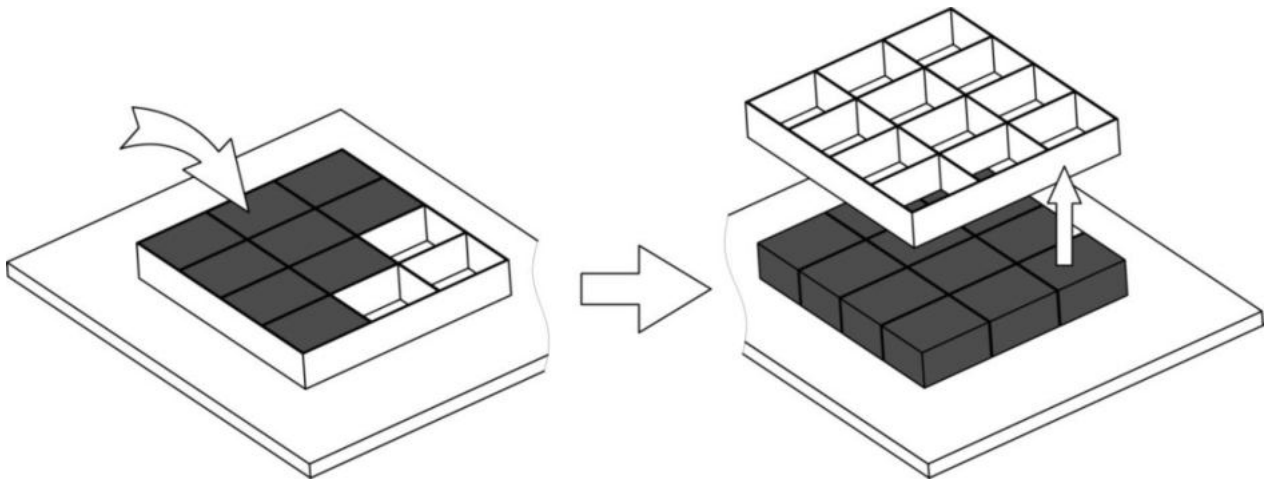


Рисунок 39. Схема окучкования бокситового шлама

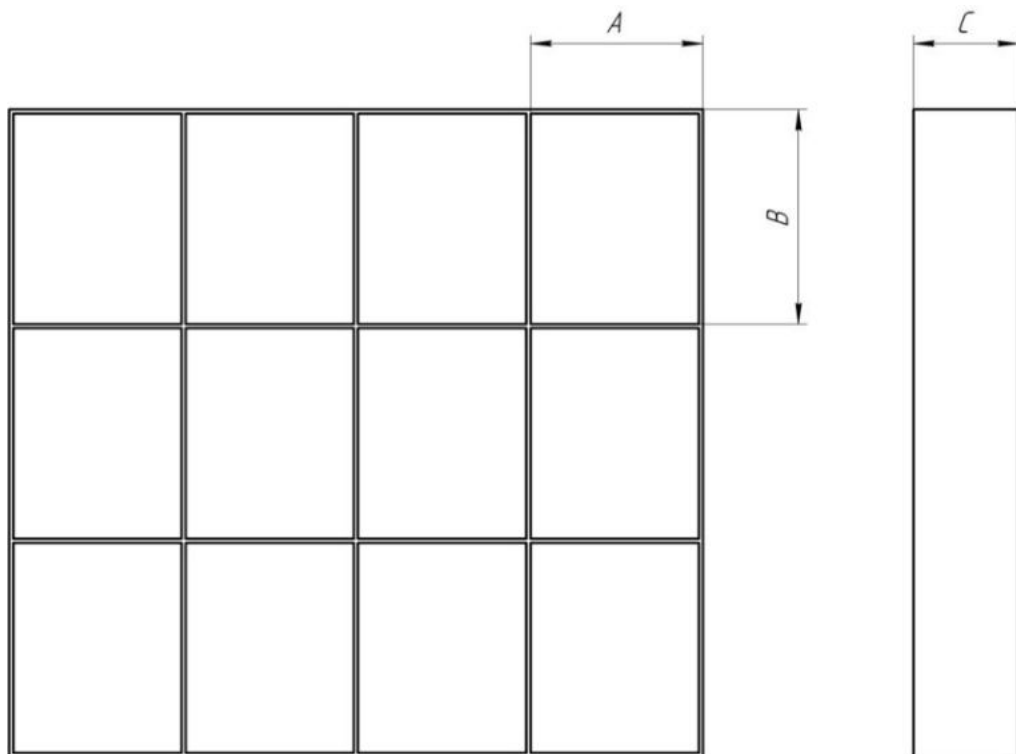


Рисунок 40. Схема конструкции матрицы

Способ получения гранулированного поглотителя серы

Изобретение относится к технологии изготовления гранулированных поглотителей, которые могут быть использованы при очистке выбрасываемых в атмосферу промышленных газов и стоков от техногенных загрязнителей.

Техническими результатами изобретения являются снижение температуры прокаливания и увеличение емкостной способности гранул.

Технические результаты достигаются тем, что используют исходную смесь, дополнительно содержащую, оксиды железа и кремния, среднее соотношение которых 1:1, при среднем отношении оксида алюминия к сумме оксидов железа и кремния 1:4,7, а затем проводят прокаливание при температуре 1100 - 1250°С с последующей гидротермальной обработкой.

Способ получения гранулированного поглотителя поясняется на рисунке 31 - график эффективности улавливания HF из промышленных газов.

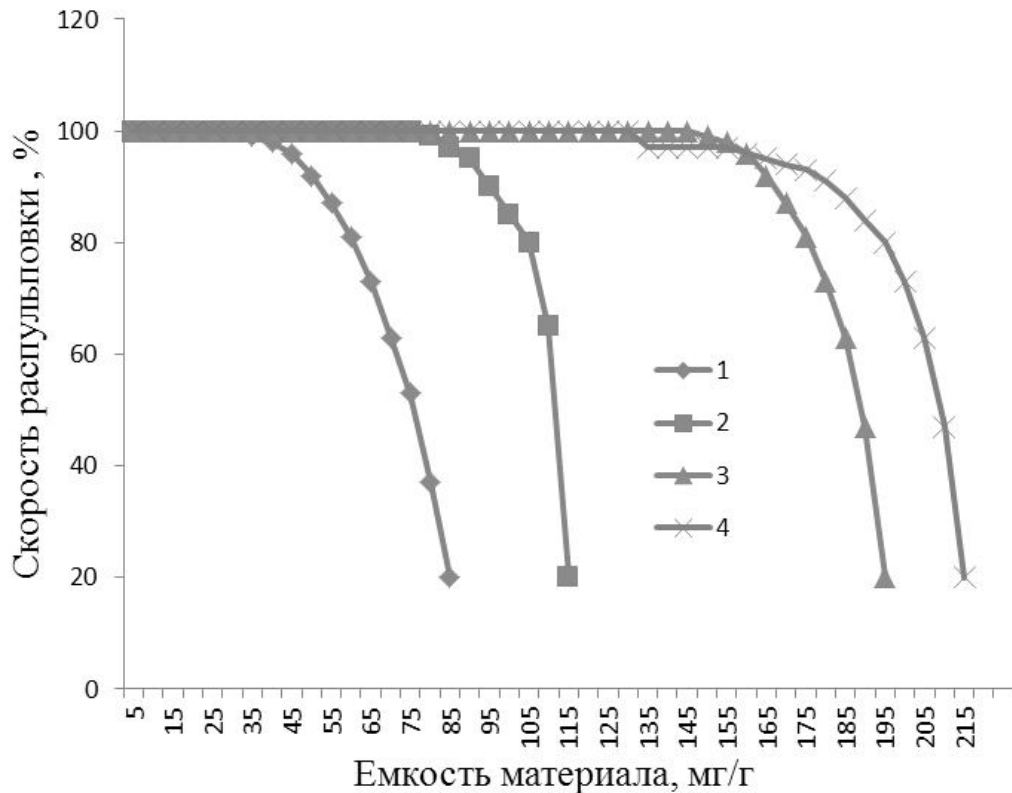


Рисунок 41. Эффективность улавливания HF: 1 - Известь; 2 - Кирпич силикатный; 3 - Сода; 4 - Шламошлак

Способ осуществляется следующим образом. Смесь, дополнительно содержащую оксиды железа и кремния, прокаливают при температуре от 1150 до 1250°C в течение в высокотемпературной печи, а затем проводят гидротермальную обработку паром и горячим конденсатом на одnoreакторной системе. Многокомпонентная шихта, содержащая оксиды: от 37 до 42% кальция, от 8 до 9% алюминия, от 18 до 25% железа, от 18 до 25% кремния, от 2 до 5% натрия, позволяет после термообработки получить достаточную пористость гранул. Гидротермальная обработка позволяет дополнительно увеличивать их пористость на 50 до 70% за счет освобождения микрообъемов гранул, занятых твердой кристаллической массой, путем ее точечного растворения в контактирующей жидкой фазе, при гидротермальной обработке.

Способ поясняется следующими примерами, сопоставительные результаты которых приведены в таблице (Таблица 19), в ней даны результаты 24 режимных примеров по температуре прокалики и 6 примеров по составам смесей. Емкостную способность определяли экспериментально, анализируя содержание сернистого газа до газоочистки и после, в относительных процентах, принимая за 100 % показатели от прототипа. При этом использовалась лабораторная установка с высокотемпературной печью настольного использования типа LHT 08/17 P470(8л, 1750°C) компании Nabertherm, состоящая из нагревательной печи и емкости для поглотителя, гидротермальную обработку паром проводили в одnoreакторной системе типа AutoLab, компании HEL.

Таблица 19. Примеры получения гранулированного поглотителя

№ прим.	В составе смеси, мас. %				Отнош. в смеси $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 2	Отнош. в смеси $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2)$ / Al_2O_3	Температ уры прокалива ния, °С	Средняя емкостная способность г/м^3 , отн. %
	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	CaO				
1-4)*	8,65	---	---	36,5	-	-	1300	100,0
							1400	99,8
							1500	99,5
							1600	98,3
							1700	99,1
5-8	8,82	15,66	17,17	44,34	0,91	3,72	1100	163,3
							1150	165,8
							1250	166,2
							1300	164,9
9-12	8,35	18,69	18,36	42,60	1,01	4,43	1100	192,4
							1150	192,8
							1250	193,2
							1300	192,8
13-16	8,74	21,37	20,34	42,55	1,05	4,77	1100	197,9
							1150	198,4
							1250	199,1
							1300	198,6
17-20	8,21	23,41	20,18	43,06	1,16	5,3	1100	152,5
							1150	153,6
							1250	154,3
							1300	154,1
21-24	9,00	28,70	27,79	47,71	1,03	6,27	1100	171,0
							1150	172,2
							1250	172,9
							1300	172,5

Примеры 7, 11, 15, 19, 23 осуществления способа. Смесь оксида кальция, оксида алюминия с оксидами кремния и железа размалывают в шаровой мельнице. Затем увлажняют и прокаливают при температуре 1250°C. Прокаленные гранулы проходят гидротермальную обработку с участием щелочей, которые переводят в раствор Al_2O_3 , и создают пористую структуру гранул. В результате получают пористый поглотитель, пористость составляет 40-60%. Прочность поглотителя представляет 3,5 кг на гранулу, размер диаметра которых 5-10 мм. Количество поглощенных SO_2 в поглотителе 99,9%. При эксплуатации от общего количества разрушилась 2,1% гранул поглотителя. Из этого следует, что оптимальные являются показатели соотношения оксиды железа и кремния 1:1,05, а отношение оксида алюминия к сумме оксидов железа и кремния 1:4,77. За исходные материалы принимались отходы глиноземного производства - бокситовые шламы. Гидротермальную обработку проводили на лабораторной установке. Емкость способность определялась на лабораторной установке. Масса образца - 100 г. Предмет поглощения SO_2 . Процесс приготовления поглотителя исключает выбросы в окружающую среду вредных веществ.

Соотношение компонентов соответствует колебаниям их в составе бокситовых шламов. Номера опытов от 1 по 4 соответствуют прототипу при различных температурах прокаливания, номера от 5 до 32 - бокситовым шламам различного состава. Температуры прокаливания менялась от 1100°C до 1300°C. Из таблицы следует, что образцы, приготовленные по предлагаемому способу, превосходят прототип по емкостной способности, на 20-30%. При температуре 1100°C (примеры 8, 12, 13, 17, 21) получили образцы со сравнительно низкой емкостную способностью, что объясняется недостаточными условиями для роста пористости материала. При температуре 1300°C (примеры 5, 9, 16, 20, 24) получили образцы, также со сравнительно низкой поглотительной способностью, что объясняется расплавлением гранул.

Преимущество изобретения состоит в том, что используются не токсичные материалы, увеличиваются емкостные свойства и снижается температура прокалики.

Формула изобретения: Способ получения гранулированного поглотителя, включающий смешение оксида или карбоната кальция и оксида алюминия, гидротермальную обработку и прокаливание смеси, отличающийся тем, что используют исходную смесь, дополнительно содержащую, оксиды железа и кремния, среднее соотношение которых 1:1, при среднем отношении оксида алюминия к сумме оксидов железа и кремния 1:4,7, а затем проводят прокаливание при температуре 1100 - 1250°С с последующей гидротермальной обработкой.

Способ сокращения паро-газовых выбросов при грануляции шлаков

Изобретение может использоваться в области металлургии при переработке жидких металлургических доменных шлаков для получения строительных материалов различного назначения.

Техническим результатом является сокращение образования парниковых газов и повышение технологических свойств нового продукта «шламошлака».

Технический результат достигается тем, что получения гранулированного шлака, включает процесс грануляции осуществляющегося в водной среде в присутствии поглотителя, отличающийся тем, что в качестве поглотителя вводится тонкодисперсный материал, содержащий основные компоненты SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , каждый из которых имеет собственную емкостную способность для улавливания соединений серы.

Способ осуществляется следующим образом. Бокситовый шлам с влажностью от 75 до 80%, что соответствует Ж:Т=5:1 транспортируется на предприятие к месту грануляции шлака. На участок подготовки с помощью устройства многокамерного сгустителя бокситового шлама влажность снижается до 50-60%. Затем пульпа подается на участок грануляции шлака. Доменный расплавленный шлак при температуре 1250-1350°С по желобу сливается в гран-бассейн, где происходит резкое охлаждение до 95-100°С и разрушение частиц шлака с последующим формированием гранул. В состав охлаждающей жидкости

подается через систему дозаторов добавка в виде бокситового шлама, который содержит Fe_2O_3 35-50%; Al_2O_3 15-20%; CaO 8-11%; SiO_2 8-11%; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 2-10% ферро-глиноземистый кальциевый поглотитель (ФГКП). В результате соединения серы связываются в твердые соединения. Преимущество данной технологии состоит в том, что процесс не нуждается в специальной подготовке, требующей больших затрат, а вредные соединения серы выбрасываемые шлаком в водной среде активно поглощаются оксидами металлов, содержащимися в бокситовом шлаке. Структура частиц граншлака, после взаимодействия с водой, имеет пористую структуру, которая способствует активному поглощению газов (Рисунок 42).

Под воздействием высокотемпературного пара каждая частица разлагается на открытые оксиды (написанные в реакциях), обладающих повышенной активностью, что позволяет мгновенно осуществить взаимодействие всех оксидов серосодержащими газами и перевод их в порочные химические вещества, очищая атмосферу рабочей площадки грануляции от токсичных сернистых соединений.

Причина улавливания серосодержащих соединений объясняется процессом поглощения. Поглощаемый материал, в качестве которого выступает ФГКП, в основном скапливается в порах, размер которых соизмерим размеру поглощаемого вещества. Выделившиеся газы, в момент соприкосновения шлама с водой, несут в себе положительно заряженные частицы, при взаимодействии с материалом бокситовым шлаком происходит притягивание и осаждение на поверхности пористой структуры частиц шлама. Таким образом, насыщение поглотителя проходит посредством межпористого пространства, от которого зависит общая емкостную способность материала).

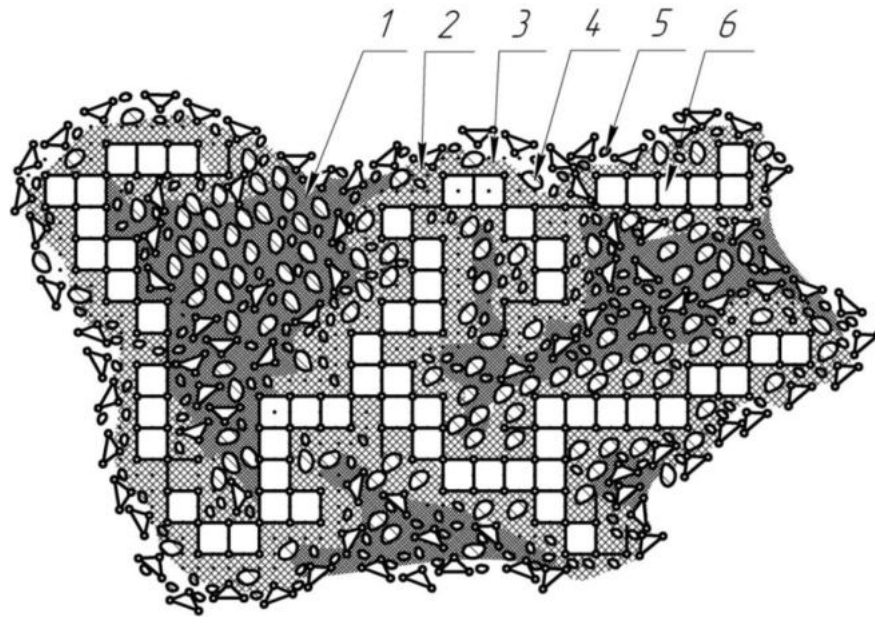


Рисунок 42. Схема строения крупной гидратированной частицы шламошлака:

1 – скопление соединений серы; 2 - поглотительный слой; 3 - диффузионный слой;
4 - положительно заряженные частицы в поглотительном слое; 5 - отрицательно заряженные в диффузионном слое; 6 – кристаллическая основа, состоящая из оксидов металлов

Отрицательно заряженные частицы поглотителя, также осаждаются на поверхности, примыкая к ранее притянутым частицам, и образуют диффузионный слой. Следствием взаимодействия этих материалов является практически полное исключение серосодержащих газов в атмосферу рабочего пространства.

Пример 1. В качестве ФГКП используется отходы тонкодисперсного бокситового шлама БА3 с минералогической структурой, мас. %: SiO_2 - 8,3; Al_2O_3 - 18,3; Fe_2O_3 - 42,5; CaO - 5,5; Na_2O - 5,7.

Пример 2. В качестве ФГКП используется отходы тонкодисперсного бокситового шлама УА3 с минералогической структурой, мас. %: SiO_2 - 23,4; Al_2O_3 - 6,6; Fe_2O_3 - 7,6; CaO - 46,6; Na_2O - 3,8.

Пример 3. В качестве ФГКП используется отходы тонкодисперсного бокситового шлама ВА3 с минералогической структурой, мас. %: SiO_2 - 3,7; Al_2O_3 - 12,6; Fe_2O_3 - 53,3; CaO - 7,8; Na_2O - 2,3.

Пример 4. В качестве ФГКП используются отходы тонкодисперсного бокситового шлама ПАЗ с минералогической структурой, мас. %: SiO_2 - 13,8; Al_2O_3 - 19,3; Fe_2O_3 - 34,8; CaO - 5,9; Na_2O - 6,1.

Формула изобретения: Способ получения гранулированного шлака, включающий процесс грануляции осуществляющуюся в водной среде в присутствии поглотителя, отличающийся тем, что в качестве поглотителя вводится тонкодисперсный материал, содержащий основные компоненты SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , каждый из которых имеет собственную емкостную способность для улавливания соединений серы.

Способ и установка для грануляции шлаков

Техническим результатом является получение нового продукта «шламошлака», готового к отгрузке для потребителя, утилизация отхода производства глинозема, который накоплен в больших количествах и снижение выбросов соединений серы в атмосферу участка грануляции.

Технический результат достигается тем, что промышленная установка грануляции доменного шлака, включающая совместную подачу в емкость расплавленного шлака и 5-7% бокситового шлама от общего объема шлака с показателем $\text{Ж:Т}=4:1\div 5:1$, их смешивание и грануляция шлака, отличающийся тем, что с целью повышения степени обезвоживания предварительно раздробленный шлак, после водного желоба, подается на горизонтально вращающийся барабан, который направляет шлак на наклонный конвейер, где дополнительно обезвоживается до 6-10% и отгружается на участок складирования.

Схема общногo вида промышленной установки для грануляции доменных шлаков представлена на схеме (Рисунок 43).

Промышленная установка для грануляции доменных шлаков содержит ковш с расплавленным доменным шлаком 1 устройство подачи пульпы бокситового шлама 7 в грануляционный желоб 4, содержащего форсунки 3 для

формирования струи воды, устройства возврата воды 6, после желоба, барабан 15 для подачи шламошлака на наклонный конвейер 10 и устройство сбора отработанной воды 16, насос 9 для подачи и забора воды из емкости 8, навес для улавливания соединений серы 2 для фильтрации и отвода отработанного газа через трубу 14, грейфер 11 для опорожнения бассейна со шламошлаком 5 в передвижные вагоны 13, операторская кабина 12.

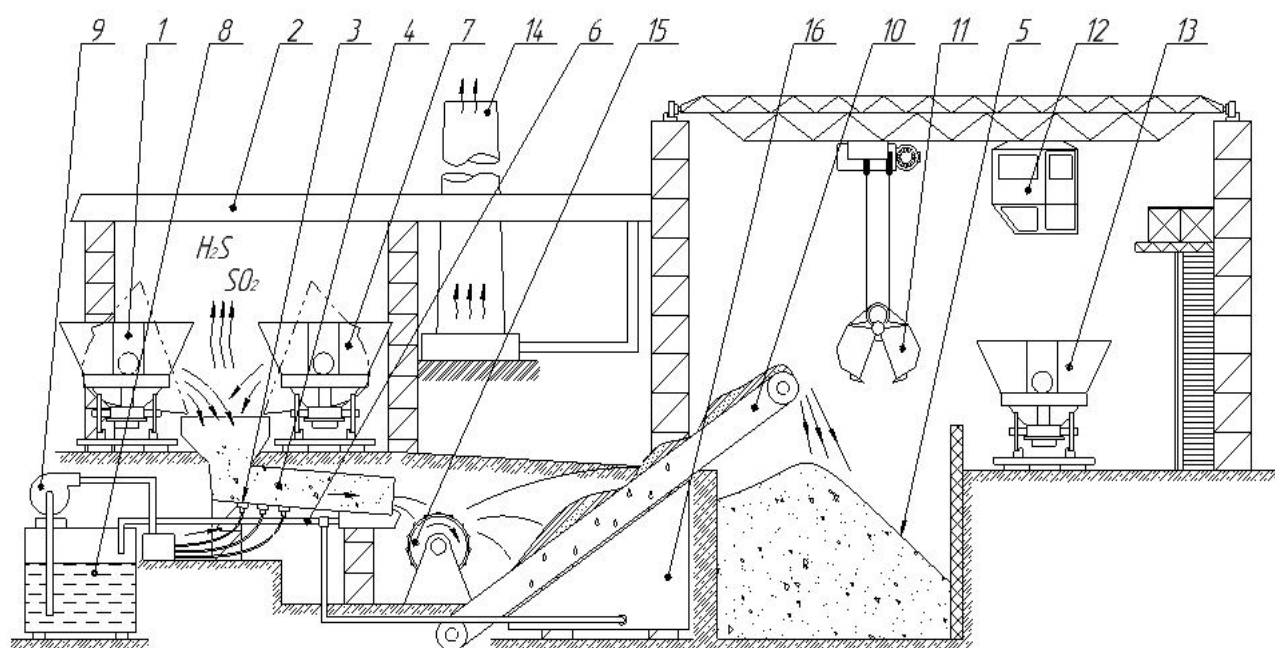


Рисунок 43. Схема промышленной установки для грануляции доменного шлака

Промышленная установка для грануляции доменных шлаков работает следующим образом ковш с расплавленным доменным шлаком 1 при температуре 1250-1350°С, поступает на участок грануляции шлака, где шлак сливается в грануляционный желоб 4, и туда же подается пульпа бокситового шлама, который содержит Fe_2O_3 35-50%; Al_2O_3 15-20%; CaO 8-11%; SiO_2 8-11%; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 2-10%, ферро-глиноземистый кальциевый поглотитель (далее ФГКП) с влажностью 50-60% при помощи устройства 7. Желоб 4, содержащего форсунки 3 формирует струи воды для получения водно-шлаковой смеси, в процессе резкого охлаждения до 95-100°С и частицы шлака растрескиваются и распадаются на гранулы. Во время грануляции выделяются образования серы в виде газа, что в последствие

улавливается вытяжным навесом 2 и подается для очистки и отвода с помощью трубы 14. Остальные выбросы серы связываются в твердые соединения. Далее образовавшийся шламошлак поступает на вращающийся в горизонтальной оси барабан 15, который подает материал на наклонный конвейер 10. Вода, после желоба и наклонного конвейера посредством устройств 6 и 16, поступает в емкость 8, где с помощью насос 9 поступает обратно в процесс грануляции. Грейфером 11, управляемый из операторской кабины 12, извлекает шламошлак 5 из бассейна, где в последствие с помощью передвижных вагонов 13 материал отгружается для нужд потребителя.

Данное изобретение позволяет оптимизировать технологию грануляции доменного шлака за счет получения товарной продукции, не требующей дополнительной подготовки перед отгрузкой потребителю. Решить проблему утилизации накопившегося бокситового шлама – отхода производства глинозема. На участке грануляции сократить выбросы соединений серы до уровня ПДК, что составляет 8-10 мг/м³. Новый материал «шламошлак» не уступает по технологическим характеристикам обычного граншлака, что делает его пригодным для использования в производстве цементов.

Преимущество данной установки грануляции доменного шлака состоит в том, что шлак не нуждается в специальной подготовке, влекущей за собой больших затрат, соединения серы освобождаемые шлаком в шлако-водной среде активно поглощаются оксидами металлов, которые содержатся в бокситовом шламе.

Пример 1. В качестве ФГКП используется отходы тонкодисперсного бокситового шлама БАЗ с минералогической структурой, мас. %:

SiO_2 - 8,3; Al_2O_3 - 18,3; Fe_2O_3 - 42,5; CaO - 5,5; Na_2O - 5,7.

Пример 2. В качестве ФГКП используется отходы тонкодисперсного бокситового шлама УАЗ с минералогической структурой, мас. %:

SiO_2 - 23,4; Al_2O_3 - 6,6; Fe_2O_3 - 7,6; CaO - 46,6; Na_2O - 3,8.

Пример 3. В качестве ФГКП используется отходы тонкодисперсного бокситового шлама ВАЗ с минералогической структурой, мас. %:

SiO_2 - 3,7; Al_2O_3 - 12,6; Fe_2O_3 - 53,3; CaO - 7,8; Na_2O - 2,3.

Пример 4. В качестве ФГКП используются отходы тонкодисперсного бокситового шлама ПАЗ с минералогической структурой, мас. %:

SiO_2 - 13,8; Al_2O_3 - 19,3; Fe_2O_3 - 34,8; CaO - 5,9; Na_2O - 6,1.

Формула изобретения: Способ получения гранулированного шлама посредством промышленной установки грануляции доменного шлама, включающий совместную подачу в емкость расплавленного шлама и 5-7% бокситового шлама от общего объема шлама с показателем Ж:Т= 4:1÷5:1, их смешивание и грануляция шлама, отличающийся тем, что с целью повышения степени обезвоживания предварительно раздробленный шлак, после водного желоба, подается на горизонтально вращающийся барабан, который направляет шлак на наклонный конвейер, где дополнительно обезвоживается до 6-10% и отгружается на участок складирования.