

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Институт новых материалов и технологий
Кафедра «Металлургия железа и сплавов»

На правах рукописи

ТЕМНИКОВ ВЛАДИСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАФИНИРОВОЧНЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ
ШЛАКОВ В АГЛОПРОИЗВОДСТВЕ**

05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор,
Шешуков Олег Юрьевич

Екатеринбург – 2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. Аналитический обзор условий применения рафинировочных шлаков сталеплавильного производства в аглопроизводстве	10
1.1. Состояние по переработке технологических отходов в АО «ЕВРАЗ НТМК»	10
1.2. Существующие методы переработки шлаков от агрегатов внепечной обработки стали	20
1.3. Существующие способы повышения качества доменного агломерата	33
1.4. Интенсификация процесса агломерации путем применения извести.....	37
1.5. Выводы к главе 1.....	44
ГЛАВА 2. Оценка эффективности использования извести при производстве агломерата в условиях АО «ЕВРАЗ КГОК» – «ЕВРАЗ НТМК».....	47
2.1. Лабораторные исследования по применению извести в аглопроизводстве	47
2.2. Опытно-промышленные испытания по производству агломерата АО «ЕВРАЗ КГОК» с использованием в шихте извести.....	54
2.3. Выводы к главе 2 и постановка задач исследования.....	65
ГЛАВА 3. Исследование влияния шлака ВОС на показатели аглопроцесса.....	67
3.1. Исследование физико-химического и фазового состава шлаков ВОС	67
3.2. Сравнение шлака ВОС с известковыми вяжущими	71
3.3. Оценка физико-химических свойств шлака ВОС как вяжущего вещества	72
3.4. Исследование прочности на сжатие аглошихты со шлаком ВОС	76
3.5. Расчет использования шлака ВОС в аглошихте	78
3.6. Лабораторные спекания агломерата с использованием в аглошихте шлака ВОС.....	82
3.7. Выводы к главе 3.....	87

ГЛАВА 4. Промышленные испытания по использованию рафинировочных шлаков сталеплавильного производства в агломерационном производстве ОАО «ВГОК».....	89
4.1. Опытно-промышленные испытания по использованию шлака ВОС в шихте железоблюса ОАО «ВГОК».....	89
4.2. Использование опытного железоблюса со шлаком ВОС в шихте доменных печей.....	94
4.3. Оценка технологической и производственной возможности привлечения в аглошихту железоблюса шлака внепечной обработки стали (ВОС) и сталеплавильного шлака «дуплекс»-процесса (СКШ)	98
4.4. Оптимальная схема утилизации шлака внепечной обработки стали	104
4.5. Выбросы загрязняющих веществ при новой технологии производства железоблюса.....	105
4.6. Выводы к главе 4.....	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	111
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Отчет опытно-промышленных испытаний по производству агломерата «ЕВРАЗ КГОК» с использованием в аглошихте извести	129
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Совместная (АО «ЕВРАЗ НТМК» – ОАО «ВГОК») программа по производству и доменной плавке опытного железоблюса со шлаком ВОС	144
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Отчет о лабораторных спеканиях шлака ВОС в шихте железоблюса	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Нормативно-технический документ (техническое соглашение) для бухгалтерского учета и осуществления поставки шлака ВОС	154
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Отчет о промежуточных опытно-промышленных спеканиях железоблюса со шлаком ВОС.....	156

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Отчет окончательный по опытно-промышленным спеканиям железоблюса со шлаком ВОС	159
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Заключение (акт) по использованию в доменном цехе опытного железоблюса, произведенного с привлечением в аглошихту шлака ВОС	164
ПРИЛОЖЕНИЕ И. Расчет ожидаемого экономического эффекта от мероприятия	168
ПРИЛОЖЕНИЕ К. Патент РФ	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Л. Протокол заседания научно-технического совета «ЕВРАЗ НТМК»	172
ПРИЛОЖЕНИЕ М. Методика исследования, оборудование и материалы	175

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень разработанности темы исследования. Широкое распространение в металлургической отрасли внепечной обработки стали с использованием высококальциевых (содержание СаО до 60 %) рафинировочных шлаков обострило экологические проблемы, связанные с хранением и переработкой подобных шлаков. Выполнивший свои металлургические функции ковшевой шлак после слива из ковша и затвердевания претерпевает так называемый силикатный распад.

Необходимо учитывать, что примерно 80 % частиц распавшегося шлака имеют размер менее 30 мкм. Такие частицы легко аэрируются, разносятся ветром на большие расстояния, загрязняют почвы, растворяются в грунтовых, осадочных и сточных водах. Также при совместном складировании они загрязняют железосодержащие сталеплавильные шлаки, которые в настоящее время эффективно перерабатываются на крупный и мелкий скрап для использования в сталеплавильном производстве, металлопродукт для использования в доменном производстве, щебень и песок для использования в дорожном строительстве.

Ежегодно в АО «ЕВРАЗ НТМК» образуется более 90 тыс. т шлака внепечной обработки стали (ВОС) с установки «ковш–печь» (УКП), который не находит рынков сбыта и временно складировается. В связи с этим необходимо найти способ утилизации таких шлаков.

Мировой опыт интенсификации процесса агломерации с получением качественного агломерата, отвечающего требованиям доменного процесса, свидетельствует о необходимости использования извести в аглошихте. Интенсифицирующее действие извести объясняется главным образом высокими вяжущими свойствами, что способствует улучшению комкуемости шихты и упрочнению гранул, как в сыром состоянии, так и при подсушке. Поскольку известь является дефицитным продуктом, то внепечной шлак может рассматриваться как недорогой заменитель извести в аглопроцессе.

Таким образом, разработка технологии использования рафинировочных шлаков сталеплавильного производства в аглопроизводстве в качестве флюса и связующего в настоящее время весьма актуальна.

Целью диссертационного исследования является разработка технологии агломерации железорудного сырья с использованием рафинировочных шлаков сталеплавильного производства в качестве заменителя известняка и связующего.

Задачи исследования:

- исследование химического, физического и фазового состава шлака ВОС;
- оценка физико-химических свойств шлака ВОС, как вяжущего вещества;
- испытание и сравнение образцов аглошихты с различными вяжущими на сжатие;
- разработка технологии применения шлаков ВОС в агломерации на основе проведения серии лабораторных спеканий агломерата, а также проведенных опытно-промышленных испытаний разработанной технологии.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- Разработано и принято к реализации новое научно-техническое направление по переработке шлака ВОС в аглопроизводстве, позволившее решить важнейшую задачу по сокращению экологических выбросов в атмосферу и утилизации техногенных образований;
- На основе исследований структуры химического, физического и фазового состава шлака ВОС выявлены его новые технологические свойства (содержание значительного количества фаз, обладающих вяжущими свойствами);
- Научно обоснованы целесообразность и технологическая эффективность применения шлака ВОС в процессе агломерации, обеспечивающие снижение расхода кокса на 7,5 кг/т железофлюса, повышение содержания V_2O_5 в железофлюсе на 0,22 абс. %, увеличение удельной производительности агломашин на 6,3 % и увеличение показателя прочности агломерата B_{+5} мм на 0,3 абс. %.

Практическая значимость исследования заключается в разработке технологии агломерации железорудного сырья при использовании в составе аглошихты

шлака ВОС в смеси с конвертерными шлаками «дуплекс» процесса – стальными конвертерными шлаками (СКШ) и шлаками «моно» процесса – ванадийсодержащими конвертерными шлаками (ВКШ), позволяющей значительно снизить экологическую нагрузку компании ООО «ЕвразХолдинг» в части хранения и пылеобразования шлаков ВОС, также обеспечивающей существенную экономию использования дорогостоящего кокса в аглопроцессе, повышение прочности агломерата и снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду (ожидаемый экономический эффект - 143,517 млн. рублей в год). По результатам диссертационного исследования получен патент РФ.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач проведено исследование минералогических свойств шлака ВОС с использованием рентгеновского дифрактометра «XRD 7000C SHIMADSU» с автоматическим программным управлением в отфильтрованном монохроматизированном Си К α -излучении. Прочность на сжатие образцов аглошихты с различными вяжущими определена на гидравлическом прессе по ГОСТ 28840-90. Спекания агломерата с использованием в аглошихте шлака ВОС проведены на тягодутьевой лабораторной агломерационной установке. Определение показателей процесса спекания в лабораторных условиях проведено при обеспечении технологических параметров (разрежение, температура шихты и т. д.), характеризующих работу агломашин. Исследование холодной прочности агломерата проведено по ГОСТ 15137–77. Обработка статистических данных при опытно-промышленном производстве проведена с использованием инструментов Excel.

Достоверность полученных результатов подтверждается стабильностью экспериментальных данных о повышении производительности агломашин, снижения расхода твердого топлива и улучшении качества получаемого агломерата при использовании шлака ВОС в аглошихте. Технология прошла опытно-промышленное опробование при производстве агломерата (железофлюса) в Лебяжинском аглоцехе ОАО «ВГОК», что подтверждается утвержденными актами испытаний.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Анализ технологических показателей процесса агломерации при замене известняка на сухую известь и известковое молоко для сравнения с использованием в процессе шлака ВОС;

2. Исследования фазового состава шлаков с УКП на предмет обладания их вяжущими свойствами, возможности повышения прочности железобетона и срока хранения на складе;

3. Подготовка и испытания образцов аглошихты с различными вяжущими веществами на сжатие;

4. Лабораторные исследования процесса агломерации при использовании в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с СКШ/ВКШ;

5. Разработанную технологию процесса агломерации при использовании в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с СКШ/ВКШ.

Апробация результатов. Основные положения работы докладывались и обсуждались на Международной научно-технической конференции «Наука – Образование – Производство: опыт и перспективы развития» (г. Нижний Тагил, Свердловская область, 2018 г.); IX Международном конгрессе доменщиков «Металлургия чугуна. Перспективы развития до 2025 года» (г. Нижний Тагил, Свердловская область, 2018 г.); VI Международной научно-технической конференции «Научно-технический прогресс в черной металлургии» (г. Череповец, Вологодская область, 2019 г.); Международной научно-технической конференции «Наилучшие доступные технологии в доменном производстве» (г. Москва, 2019 г.); XI Международной научно-технической конференции молодых специалистов «Перспективы развития металлургических технологий» (г. Москва, 2020 г.); Международном металлургическом саммите «Металлы и сплавы» (г. Екатеринбург, 2020 г.).

Личный вклад автора. Соискатель выполнил анализ литературных и патентных данных о состоянии вопроса по заданной теме и постановке задач исследования. Участвовал в экспериментах по получению опытных данных по характеристикам шлака ВОС, изучал их влияние на процесс агломерации. Проводил лабораторные и опытно-промышленные исследования процесса агломерации

с использованием в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с СКШ/ВКШ и обработке результатов. Участвовал в подготовке публикаций по работе и написании заявки на изобретение. Организовал проведение опытно-промышленных испытаний новых технологий и непосредственно участвовал в них.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 статей, 7 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 4 – в журналах, индексируемых в международной базе Scopus, получен 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 158 отечественных и зарубежных источников, 11 приложений. Материалы диссертации изложены на 110 страницах машинописного текста, содержат 36 рисунков и 27 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ РАФИНИРОВОЧНЫХ ШЛАКОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В АГЛОПРОИЗВОДСТВЕ

1.1. Состояние по переработке технологических отходов в АО «ЕВРАЗ НТМК»

Деятельность предприятий черной металлургии с полным циклом сопряжена с образованием значительного количества различных видов отходов и побочных продуктов, а также необходимостью их переработки или утилизации [1–14]. К основным категориям металлургических отходов относятся шлаки и железосодержащие отходы (ЖСО), на долю которых приходится свыше 80 % всех отходов комбинатов с полным металлургическим циклом. Большинство этих отходов в настоящее время либо подвергается рециклингу, либо реализуется на сторону в виде сырья.

АО «ЕВРАЗ НТМК» обладает специфической технологией сквозного металлургического цикла, связанной с переработкой ванадийсодержащего титаномагнетитового сырья [16–18], что отражается на особенностях работы доменного и сталеплавильного передела. В доменном цехе выплавляется ванадиевый передельный чугун из окускованного сырья АО «ЕВРАЗ КГОК». В конвертерном цехе перерабатывается ванадиевый чугун по технологии «дуплекс-процесса»:

- на первой стадии с получением товарного ванадиевого шлака и углеродистого полупродукта;
- на второй стадии с получением стальной заготовки из углеродистого полупродукта.

Особенностями действующей технологии доменной плавки АО «ЕВРАЗ НТМК» являются:

- использование в железорудной части шихты титансодержащего окускованного сырья АО «ЕВРАЗ КГОК» и ванадийсодержащего железоблюса;
- высокая интенсивность плавки, обусловленная большим содержанием кислорода в дутье;
- низкий расход кокса вследствие широкого применения пылеугольного

топлива и природного газа [15–19].

Сталеплавильное производство АО «ЕВРАЗ НТМК» в настоящее время представлено только конвертерным цехом производительностью на уровне 4,5 млн. т в год. Цех располагает четырьмя конвертерами емкостью 160 т каждый, установкой для десульфурации чугуна, четырьмя машинами непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), четырьмя установками «ковш-печь» (УКП) и двумя циркуляционными вакууматорами.

Более 90 % стали производится «дуплекс-процессом», который предусматривает предварительную продувку ванадийсодержащего чугуна в одном из конвертеров с получением товарного ванадиевого шлака и углеродистого полупродукта. Затем этот полупродукт перерабатывается на сталь в других трех конвертерах [15].

Особенности технологии «дуплекс-процесса», а также низкое содержание кремния в исходном чугуне обуславливают:

- невысокий выход конечного сталеплавильного шлака;
- значительный его рециклинг в аглодоменном производстве в связи с повышенным содержанием в этом шлаке ванадия (более 3 % в пересчете на V_2O_5).

В этом плане АО «ЕВРАЗ НТМК» можно отнести к лидерам мировой металлургии по продвижению и развитию безотходных технологий.

На долю доменного и сталеплавильного производства приходится образование основной части отходов. К ним относятся шлаки, образующиеся на всех этапах производства, а также железосодержащие отходы: аглоотсев, аспирационные пыли и шламы.

Шлак – это побочный продукт доменного и сталеплавильного передела, который представляет собой конгломерат пустой породы, попадающей в доменную печь вместе с рудой и агломератом, а также продукты окисления примесей в жидком металле, в связи с чем они являются неотъемлемой частью доменного и сталеплавильного производства, на долю которых приходится до 80 % всех видов отходов в данных металлургических переделах. Уровень образования доменных шлаков зависит от содержания железа в исходной шихте и удельного расхода твердого топлива (т. е. кокса и пылеугольного топлива) на выплавку чугуна. Уровень

образования сталеплавильных шлаков напрямую связан с содержанием шлакообразующих и вредных примесей в передельном чугуна.

Ежегодное образование доменного шлака в АО «ЕВРАЗ НТМК» превышает 1,5 млн. т. Удельный выход доменного шлака на АО «ЕВРАЗ НТМК» несколько выше, чем в среднем по предприятиям черной металлургии Российской Федерации. Это объясняется более низким содержанием железа в шихте, например, используемые неофлюсованные окатыши АО «ЕВРАЗ КГОК» имеют одно из самых низких содержаний железа в мире (61 % $Fe_{\text{общ}}$). Дополнительным, менее значимым, фактором, снижающим содержание железа в шихте, является необходимость использования марганецсодержащих добавок (в виде марганцевого агломерата или в составе железоблюса) для подавления процессов карбидообразования титана. С другой стороны, умеренная глубина обогащения качканарских титаномагнетитовых руд и повышенный выход шлака определяет значительно более низкое содержание титана и его оксидов в жидких продуктах плавки, чем, например, на китайских предприятиях, выплавляющих ванадиевый чугун. А от этого зависит ровная и стабильная работа доменных печей. Тем не менее, благодаря внедрению ряда энергосберегающих мероприятий, отмеченных в работах [20, 21], таких как повышение давления газов в печи, снижение содержания кремния в чугуне, использование ванадийсодержащего железоблюса, увеличение расхода природного газа при увеличении содержания кислорода в дутье, расход кокса и, соответственно, удельный выход шлака до 2013 г. неуклонно снижался (рис. 1.1).

Использование пылеугольного топлива в 2013 г. в объеме 101,5 кг/т чугуна за счет пропорционального сокращения расхода природного газа привело к увеличению удельного выхода шлака. В последующие (до настоящего времени) годы постоянно проводится работа по экономической оптимизации соотношения расходов этих дополнительных топлив, что попутно отражается и на уровне образования шлака.

Практически весь доменный шлак в настоящее время перерабатывается на щебень с попутным извлечением из него металла на специальном участке, включающем траншею литого щебня, коржовую установку и две дробильно-

сортировочные установки. На сортамент продукции из доменных шлаков также повлияла специфика работы комбината, а именно то обстоятельство, что вяжущие на основе титанистых шлаков получают низких марок, и гранулированный шлак поэтому не востребован. Титансодержащий щебень же, наоборот, отличается повышенной прочностью и стойкостью против различного вида распадов по сравнению со шлаками от выплавки обычного передельного чугуна.

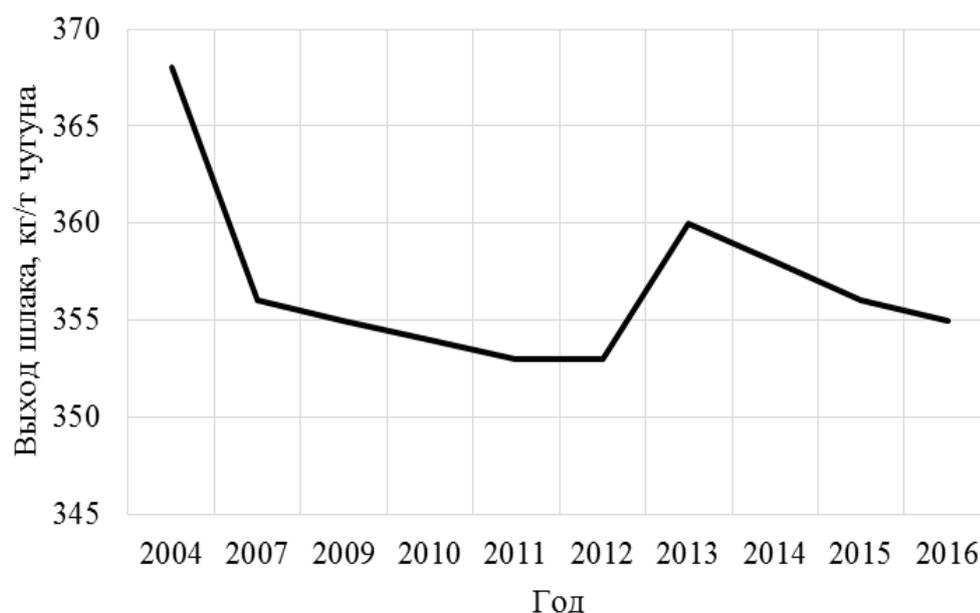


Рисунок 1.1 – Изменение балансового выхода шлака при выплавке ванадиевого чугуна

Надо отметить, что АО «ЕВРАЗ НТМК» с 1996 г. еще и активно разрабатывает старые отвалы шлака. За время работы производства по переработке техногенных образований объем накоплений в отвалах сократился примерно в два раза. Извлекаемый из отвальных шлаков металл используется при выплавке чугуна и стали, а шлаковый щебень используется для производства строительных материалов.

Количество образующегося сталеплавильного шлака (около 30 кг/т производимой стали) несколько выше, чем в среднем по отрасли. Это обусловлено использованием «дуплекс-процесса», который снижает выход годной стали из-за высокого удельного расхода чугуна на ее производство и дополнительных потерь железа для связывания оксидов ванадия в товарном шлаке в соединения типа шпинели. Процесс формирования товарного ванадиевого шлака в конвертере на первой стадии «дуплекс-процесса» можно упрощенно представить следующими реакциями:



С учетом затрат вюститита на обеспечение жидкоподвижности шлакового расплава при температурах деванадации в системе $(FeO) - (FeO \cdot V_2O_3)$ потери железа превышают 2 кг на 1 кг извлеченного ванадия. Эти потери могут быть возвращены в металлургический цикл только после гидрометаллургической переработки шлака при производстве технического пентооксида ванадия в виде химических отходов.

Другим фактором, увеличивающим выход сталеплавильного шлака, является использование на предприятии рециклинга сталеплавильных шлаков (текущих и отвальных) в виде доменного присада, что увеличивает содержание фосфора в чугунах (рис. 1.2), на связывание которого в сталеплавильную печь подается повышенное количество извести. Влияние количества доменного присада, извлеченного из отвальных сталеплавильных шлаков, представлено на рисунке 1.3.

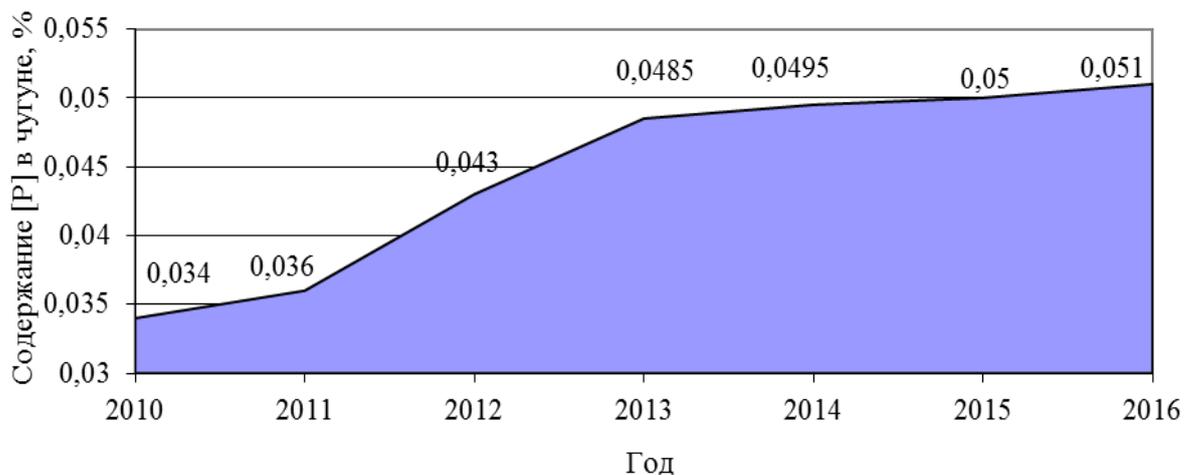


Рисунок 1.2 – Динамика изменения содержания фосфора в чугуне

Необходимыми мероприятиями по стабилизации содержания фосфора в чугуне является оптимизация расхода доменного присада в сталеплавильном агрегате и повышение его качества. В связи с этим на предприятии были проведены работы по совершенствованию технологии переработки отвальных шлаков, в результате которых содержание железа в доменном присаде увеличилось на 5 %, что, как видно из данных, представленных на рисунке 1.2, позволило остановить рост содержания фосфора в чугуне, несмотря на увеличение содержания фосфора в конвер-

терном шлаке, подвергающемся рециклингу.

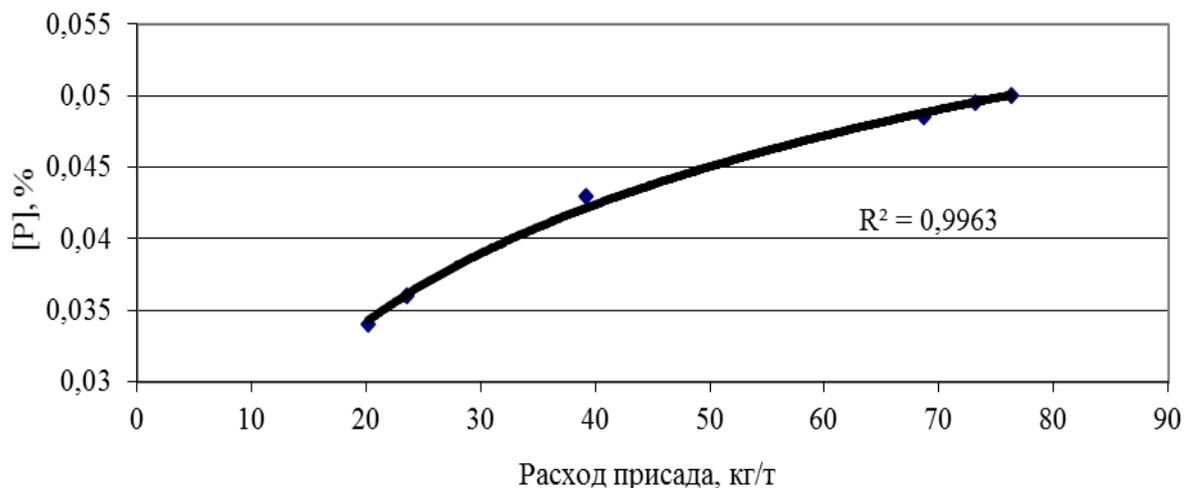


Рисунок 1.3 – Влияние расхода доменного присада на содержание фосфора в чугуне

Снижению выхода сталеплавильного шлака на комбинате способствует производство низкокремнистого чугуна, так как на связывание оксида кремния в сталеплавильном агрегате используется много извести. Кроме того, выплавка низкокремнистого чугуна уменьшает выбросы пыли при операциях с расплавами, что не только способствует меньшей нагрузке на окружающую среду, но и уменьшает количество такого отхода, как плавильная пыль, образующаяся в доменном и сталеплавильном производствах. В сталеплавильном производстве АО «ЕВРАЗ НТМК» образуется еще два вида шлаков (шлак от установки десульфурации и шлак с УКП).

Шлак установки десульфурации является ценным железо-ванадийсодержащим материалом (содержит до 70,0 % $Fe_{общ}$, до 6,0 % V_2O_5), объем его образования около 20 тыс. т в год. Отрицательным моментом является наличие в шлаке десульфурации повышенного количества серы (до 1,0 %). В настоящее время разработана технология, и шлак десульфурации эффективно используется в доменном производстве АО «ЕВРАЗ НТМК», при этом в доменный процесс вовлекается дополнительное восстановленное железо и пентоксид ванадия с металлодобавкой, экономится топливо [22]. Кроме того, отмечено, что шлак десульфурации имеет в своем составе активную известь, сохраняет свои десульфурierende способности, и его использование в доменной плавке не увеличивает, а снижает содержание серы в чугуне. Наличие в составе шлака активной извести приводит к его самораспа-

ду, ограничивает срок хранения, образует значительное количество мелкой фракции (минус 5 мм), не пригодной для доменных печей, но пригодной для агломерации.

Объем образования шлака с УКП составляет несколько более 90 тыс. т в год [23, 24]. При остывании этот шлак распадается в мелкозернистый порошок, не находит сбыта и в настоящее время временно складировается в ожидании решения по утилизации. Проработка вариантов утилизации ведется по двум направлениям. Первое направление связано с изучением возможности использования данных шлаков при производстве агломерата в качестве флюса, не требующего подготовки. Вторым направлением предусматривается стабилизация структуры шлаков, предотвращающих их распад. Применяются различные способы стабилизации самораспадающихся шлаков [23]. В дальнейшем, после дробления и сортировки, утилизация и реализация стабилизированных шлаков возможна в качестве щебня или источника извести.

Кроме шлаков, в доменном и сталеплавильном производстве АО «ЕВРАЗ НТМК» образуются следующие виды железосодержащих отходов: аглоотсев, колошниковая пыль, шлам газоочисток, аспирационная пыль, шлам разливочных машин, миксерная пыль и пыль установки десульфурации.

Аглоотсев образуется в процессе грохочения перед дозировкой качканарского агломерата в шихту доменных печей. Объем образования около 400 тыс. т в год. До 2009 г. основная часть аглоотсева загружалась в доменные печи через бункера добавок, что ухудшало газодинамику доменного процесса.

Колошниковая пыль образуется на первой (сухой) ступени очистки доменных газов в пылеуловителе. Суммарное ежегодное образование по двум печам составляет около 75 тыс. т.

Железосодержащий шлам образуется в процессе мокрой очистки технологических газов доменного и конверторного производства, а также в отделении разливочных машин доменного цеха. Шламы в виде пульпы поступают из этих цехов по желобам в радиальные отстойники участка утилизации шламов, где отстаиваются, сгущаются, затем поступают для обезвоживания на вакуумфильтры и в су-

шильные барабаны для просушки. В цехе работают два отделения, позволяющие разделять потоки в различных комбинациях с получением двух видов продуктов. Объем образования конверторного шлама – около 120 тыс. т в год, шлама доменных печей – около 60 тыс. т в год., отделения десульфурации – до 1 тыс. т в год.

Аспирационная пыль образуется в сухих электрофилтрах систем аспирации литейных дворов и подбункерных помещений доменных печей. Объем образования около 45 тыс. т в год. До 2007 г. данный отход складировался на территории (район рудного двора) доменного цеха в ожидании решения по его утилизации.

Миксерная пыль и пыль установки десульфурации суммарным объемом образования около 500 т в год улавливаются в системах аспирации и содержат до 60,0 % железа.

Существенный прогресс в области утилизации и рационального использования образующихся железосодержащих отходов был достигнут в 2009 г., чему способствовал кризис конца 2008 г. До этого времени на предприятии еще выплавлялась мартеновская сталь и работали четыре доменных печи, две из которых выплавляли обычный передельный чугун из сырья Тагило-Кушвинского месторождения. Поэтому существовавшая технология переработки образующихся железосодержащих отходов (ЖСО) не могла обеспечить их рационального использования, и применялись следующие способы переработки ЖСО:

- ванадийсодержащие колошниковая пыль и шламы отправлялись на производство агломерата для передельных печей (т. е. на Высокогорский ГОК), при этом не только снижалась эффективность сквозного извлечения ванадия (вследствие безвозвратной его потери), но и возникали проблемы при получении и переработке передельного чугуна из-за увеличения в продуктах доменной плавки соединений титана и ванадия;
- аспирационная пыль, как уже отмечалось, не утилизировалась и временно складировалась на территории доменного цеха;
- аглоотсев загружался в доменную печь по специальной программе, но это все равно ухудшало газодинамику доменной плавки.

В 2007–2008 гг. была разработана и апробирована технология получения ва-

надийсодержащего железоблюса на основе железосодержащих отходов и побочных продуктов для использования в доменной плавке. Однако ее внедрение сдерживалось нехваткой мощностей для производства агломерата. Разразившийся кризис ускорил вывод из эксплуатации морально и физически устаревших металлургических агрегатов и высвободил агломерационные мощности ОАО «Высокогорский ГОК». Это позволило реализовать на постоянно действующей основе технологию доменной плавки титаномагнетитов с использованием железоблюса [25], что обеспечило не только рациональную утилизацию отходов, но и существенное улучшение технико-экономических показателей производства чугуна. Значительно увеличились также коэффициент извлечения ванадия и содержание ванадия в чугуне, поскольку, как показано в работе, отношение V/Fe в пыли и шламах выше, чем в исходном природном сырье.

В шихту для производства железоблюса первоначально входили следующие компоненты: аглоотсев, колошниковая пыль, аспирационная пыль, шламы газоочисток, известняк, марганецсодержащая добавка. Однако циркуляция шлама в условном «внешнем» контуре «доменная печь – агломерационная машина» приводила ко все большему содержанию цинка в доменных шламах [26] несмотря на чистоту качканарского сырья по данному фактору. Для снижения содержания цинка в шламах рассматривались варианты его удаления различными методами: термическими, химическими и даже путем воздействия ультразвуком, но все они не нашли промышленного применения. Необходимо отметить, что одной из основных причин существовавшей ранее технологии совместной переработки шламовой пульпы доменного и конвертерного производств являлось облегчение процесса фильтрации. А это не позволяло разорвать «внешний» контур циркуляции цинка. Проблему решили путем изменения технологии осветления шламовой воды с исключением подмешивания доменных шламов в конвертерные, для чего пришлось перераспределить потоки и изменить работу некоторого оборудования цеха утилизации шламов, при этом никаких затрат не потребовалось.

В настоящее время производится два вида шлама:

- доменный шлак реализуется как добавка для производства цемента

в востребованных объемах (потребители: ЗАО «Кавказцемент», ПАО «Горнозаводскцемент», ООО «Красноярский цемент» и др.);

- конвертерный шлак (содержащий 60–65 % $Fe_{\text{общ}}$; ~ 0,5 % V_2O_5 ; ~ 5 % C и всего до 0,30 % Zn) поставляется для производства железоблужа.

Аналогично цинку в пространство доменной печи поступают с агломерированными отходами и накапливаются оксиды щелочных металлов [27], которые эффективно удаляются благодаря повышенной интенсивности ведения доменной плавки ванадиевого чугуна.

В настоящее время в шихту для производства железоблужа поступает конечный конвертерный шлак, который ранее напрямую загружался в доменные печи [32]. Изменением схемы рециклинга конвертерного шлака достигнуто снижение компонентов доменной шихты и облегчение работы доменного цеха.

Еще в период промышленного становления производства железоблужа были проведены исследования по возможности утилизации в его шихте упомянутых выше химических отходов от гидрометаллургического производства технического пентооксида ванадия и влиянию этих отходов на качество получаемого окускованного продукта. Результаты исследований положительные.

Дальнейшее развитие технологии производства ванадийсодержащего железоблужа позволило решить и проблему утилизации малотоннажных миксерной пыли, пыли установки десульфурации и шлама разливочных машин доменного цеха. Для этого они предварительно смешиваются с пылью аспирации доменных печей, а полученная смесь используется в качестве железосодержащего материала для производства железоблужа. На полученный продукт были разработаны технические условия (материал железосодержащий для агломерации – МЖА) и подтверждена радиационная безопасность. Получен экологический и экономический эффект от реализации мероприятия.

Таким образом, организация производства ванадийсодержащего железоблужа позволила утилизировать все образующиеся на комбинате железосодержащие отходы. Рациональность их использования доказывается высокопроизводительной и экономичной работой доменных печей, а также улучшением качества

чугуна по содержанию ванадия. Содержание ванадия в чугуне увеличилось с 0,42 % в 2008 г. до 0,52 % в 2020 г.

В то же время на комбинате еще имеются отдельные виды отходов, требующие определения оптимальной технологии их переработки. И наиболее проблемной задачей является утилизация саморассыпающихся шлаков с УКП [28, 29].

1.2. Существующие методы переработки шлаков от агрегатов внепечной обработки стали

При достаточном количестве имеющихся схем переработки шлаковых отходов не решается одна из наиболее острых проблем шлакопереработки, рециклинг т. н. саморассыпающихся шлаков черной металлургии, которые не могут быть переработаны по реализованным в промышленности схемам, поскольку при затвердевании и охлаждении быстро превращаются в мельчайшую пыль.

Объем образования подобных саморассыпающихся шлаков составляет около 2 % от объема производства стали, т. е. при объеме производства стали в РФ около 70 млн т в год образуется до 1,4 млн т шлаков. (Объем образования таких шлаков в АО «ЕВРАЗ НТМК» составляет более 90 тыс. т в год.) При этом поскольку они практически не используются в строительной отрасли, этот объем сырья (1,4 млн т) теряется и замещается добычей природного сырья.

Как отмечается в работе [23], для обеспечения возможности массовой переработки шлаков АКП в мировой практике используются четыре основных метода стабилизации белита в составе рафинировочного шлака:

1. Термическая стабилизация высокотемпературных модификаций C_2S путем их резкого охлаждения (закалка). За счет закалки высокотемпературная модификация $\beta-C_2S$ приобретает способность сохранять свои качества в диапазоне температур от 25 до 700 °С.

2. Стабилизация шлака введением в него боратов, основанная на частичном замещении в структуре C_2S ионов SiO_4^{4-} ионами BO_3^{3-} , препятствующих трансформации $\beta-C_2S$ в $\gamma-C_2S$ при полиморфном превращении.

3. Необоротная стабилизация, основанная на изоморфном замещении ионов

Ca^{2+} на Mg^{2+} , K^+ , Ba^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} и ионов SiO_4^{4-} на SO_4^{2-} и PO_4^{3-} . Для стабилизации высокотемпературных модификаций $\alpha\text{-C}_2\text{S}$ и $\alpha'\text{-C}_2\text{S}$ используются оксиды MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , BaO , K_2O , P_2O_5 и Cr_2O_3 , а для стабилизации $\beta\text{-C}_2\text{S}$ оксиды Na_2O , K_2O , BaO , MnO_2 , Cr_2O_3 или их комбинации.

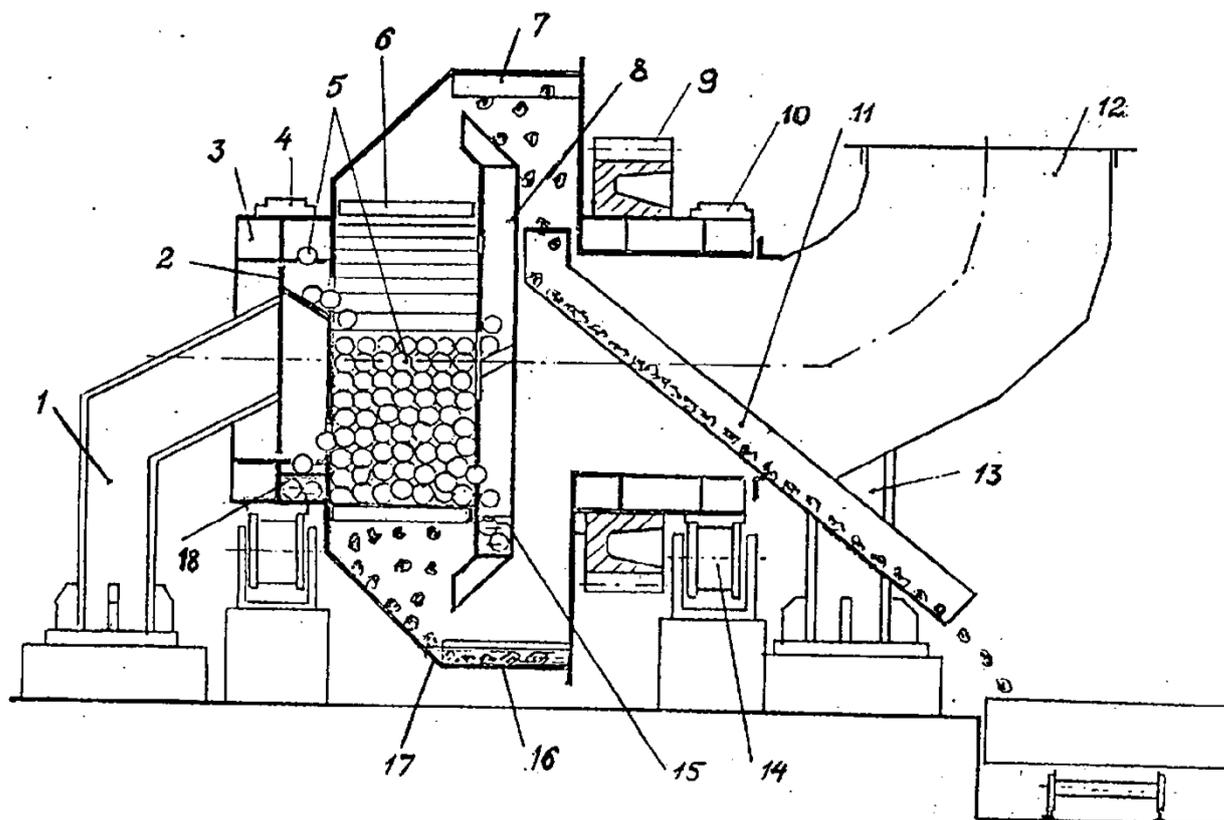
4. Химическая стабилизация, основанная на управлении фазовым составом шлака путем введения в него химических соединений, исключающих образование минерала C_2S .

Анализ литературных источников свидетельствует, что при выборе метода стабилизации шлака следует учитывать специфику металлургического производства. Как отмечалось выше, не все стабилизаторы, используемые в цементной промышленности, пригодны в металлургическом производстве. Отмечено, что в условиях восстановительной рафинировочной плавки P_2O_5 может восстановиться до [P] и перейти в металл, а As_2O_5 очень токсичен и в восстановительных условиях становится летучим. Это же относится и к V_2O_3 , который в восстановительных условиях может восстановиться до [V] и перейти в металл. Поскольку ограничения по содержанию P и V в стали довольно жесткие, а влияние [V] на свойства стали изучено недостаточно, следует исключить из исследований способ прямой стабилизации шлака боратами.

Рассмотрим метод термической стабилизации ковшевых шлаков путем заковки [30–40], который осуществляется следующим образом: шлак, оставшийся в ковше после разливки (металл уже удален из ковша), сливается в специальный барабанный агрегат, рабочая полость которого заполняется металлическими шарами и водой. Полость при сливе шлака вращается, обеспечивая необходимую интенсивность теплообмена между сливаемым шлаком и охлаждающей средой (рис. 1.4).

При опытно-промышленных испытаниях стабилизации шлаков на установке барабанного типа на выходе получается щебеночно-песчаная смесь, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 3344–83. В то же время возникают объективные затруднения, препятствующие стабильной реализации технологии, усложнению организации работ в цехе, и, главное, снижению безопасности производства. Узкий

и нестабильный интервал кристаллизации шлаков (разница между температурой расплавления и затвердевания) приводит к тому, что шлак не всегда получается слить из ковша в агрегат заковки. Высокая газонасыщенность шлака приводит к выплескам и нарушению нормальной работы агрегата заковки, а большое количество металловключений в шлаке влияет на ресурс вращающихся частей агрегата.



1 – опора неподвижной стенки; 2 – неподвижная стенка; 3 – кольцевая камера; 4, 10 – бандаж; 5 – рабочие тела; 6 – колосники; 7 – полка разгрузочного барабана; 8 – подвижная камера для охлаждения рабочих тел; 9 – колесо зубчатое; 11 – лоток выпускной; 12 – коллектор для отвода пара; 13 – опора коллектора; 14 – роликоопора; 15 – уровень воды в подвижной камере; 16 – цилиндрическая обечайка разгрузочного барабана; 17 – коническая обечайка разгрузочного барабана; 18 – ячейки кольцевой камеры

Рисунок 1.4 – Схема агрегата барабанного типа для переработки расплавленных металлургических шлаков

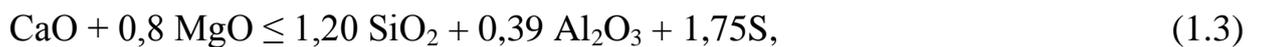
Стабилизация ковшевого шлака введением боратов является не единственным способом избежать полиморфного преобразования C_2S и распада содержащих его шлаков [41–52]. Кристаллографическое координационное число, ионный радиус и ионная валентность иона внедрения оказывают сильное влияние на деформационную способность кристалла C_2S и, как следствие, препятствуют полиморфной деформации, стабилизируют его.

Для стабилизации высокотемпературных модификаций α -C₂S и α' -C₂S используются оксиды MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, BaO, K₂O, P₂O₅ и Cr₂O₃, а для стабилизации β -C₂S – оксиды Na₂O, K₂O, BaO, MnO, Cr₂O₃ или их комбинации. Разница в стабилизирующей способности каждого оксида обеспечивает определенную степень гибкости, если цель заключается в том, чтобы избежать формирования γ -C₂S.

Действие стабилизирующих добавок на полиморфные модификации белита и алита хорошо изучено в химической технологии производства цемента. Количество добавок, стабилизирующих белит в технологии приготовления портландцемента, составляет, масс. %: 0,25 – Cr₂O₃; 0,25 – V₂O₅; 3,0 – P₂O₅; 3,0 – MnO; 3,0 – As₂O₅.

Следует отметить, что не все указанные добавки пригодны для стабилизации белита в рафинировочном шлаке, формируемом в У КП. В частности, ограничения по содержанию в стали фосфора и токсичность As ставят под сомнение возможность использования их оксидов (P₂O₅ и As₂O₅).

Распад рафинировочного шлака может быть предотвращен изменением его химического состава. Химический состав шлака корректируется таким образом, чтобы в нем не мог образоваться C₂S. Данные ограничения основаны на выделении поля стабильности C₂S в системе CaO–MgO–SiO₂–Al₂O₃ с корректировкой содержания серы (S) в шлаке:



Нетрудно заметить, что, согласно представленным неравенствам, для предотвращения распада шлака в его составе должно быть значительное количество оксида кремния и серы. Уровень требований к стали и процессу ее производства до 40-х гг. прошлого века допускал использование низкоосновных (кислых) шлаков. Однако сейчас, с учетом требований по глубокой десульфурации стали и необходимости ее обработки в ковшах с основной футеровкой, обработка стали низкоосновными шлаками неприемлема. Ввод кремнезема и серы в шлак по ходу обработки стали в ковше отрицательно скажется на металлургических свойствах шлака и приведет к усиленному износу футеровки ковша. Не отвергая полностью возможность химической стабилизации и учитывая, что она может быть получена

за счет глинозема, нужно переоценить границы стабильности шлаков для условий современных сталеплавильных процессов.

В обзоре [53–60] рассматривается второй по значимости механизм распада шлаков вследствие гидратации минералов CaO и MgO в затвердевшем шлаке. Данные фазы в шлаке, подвергающемся воздействию атмосферы и влаги, с течением времени превращаются в $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, при этом в частицах шлака возникают внутренние напряжения, и они со временем теряют прочность и могут рассыпаться. Для предотвращения этого явления нужно регулировать фазовый состав шлаков, не допуская появления в их структуре CaO и MgO . В работе было сделано предложение о необходимости введения в шлак оксидов железа для формирования ферритов кальция и магния вместо CaO и MgO .

Можно предположить, что такого же эффекта рациональнее достигать, вводя в высокоосновные шлаки глиноземистые флюсы, формирующие алюминаты кальция и магниевую шпинель. Традиционные флюсы (плавиковый шпат разных марок), обеспечивая нужные металлургические свойства высокоосновных шлаков, не препятствуют формированию CaO и MgO . Таким образом, глиноземистый флюс, обеспечивая необходимые металлургические свойства шлака, выполняет больше задач, чем плавиковый шпат.

Исследованы приемы стабилизации ковшовых шлаков УКП при повышении содержания Al_2O_3 в шлаках свыше 18 %, когда достигается их химическая стабилизация. Определено рациональное содержание Al_2O_3 в ковшовых шлаках. Выявлено, что при содержании Al_2O_3 менее 30 масс. % рафинирующие способности шлака не ухудшаются. При содержании Al_2O_3 более 30 масс. % глинозем ведет себя аналогично SiO_2 , т. е. снижает десульфурную способность шлака и повышает его агрессивность к футеровке. Наиболее благоприятно его содержание в шлаке от 12 до 25 %, когда свойства шлака изменяются от основных к кислотным. При повышении содержания Al_2O_3 в шлаке более 14 % увеличивается вероятность образования тугоплавкой шпинели $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ на поверхности огнеупорных изделий сталеразливочных ковшей и вакуум-камер, что способствует повышению стойкости металлургических агрегатов.

В уже приводившейся ранее работе [60] также была дана рекомендация по введению металлического алюминия в ковшевой шлак с тем, чтобы алюминий раскислял шлак и формировал алюминатные стабилизирующие фазы. Таким образом, в литературе имеются сведения об использовании металлического алюминия и оксидных глиноземсодержащих материалов для стабилизации шлаков. Есть сведения об использовании дешевых техногенных алюминийсодержащих отходов, но без раскрытия состава отходов и четких указаний на их происхождение. Кроме того, оценивалось влияние ввода алюминийсодержащих отходов на рассыпаемость шлака.

Таким образом, можно сделать вывод о необходимости изучения влияния ввода дешевых и доступных алюминийсодержащих отходов (шлаки и пыли производства вторичного алюминия) на минералогический состав, рассыпаемость и металлургические свойства ковшевых шлаков. На основании данных исследований можно будет сделать заключение о необходимости использования боратных (или иных) дополнительных стабилизаторов, а также получить необходимые данные для разработки технологии подготовки из данных материалов комплексных флюсов, пригодных (по гранулометрическому, химическому составу и пр.) к использованию в сталеплавильном производстве.

Повышение содержания глинозема в шлаке положительно влияет на стойкость, причем авторы работы связали этот эффект со стабилизирующим влиянием оксида алюминия (Al_2O_3) на C_2S шлака. Дело в том, что ковшевой шлак проникает в поры огнеупора и при дальнейшем охлаждении (если шлак не стабилизирован) превращение C_2S , идущее с увеличением объема решетки C_2S , приводит к разрушению пор и сколам пропитанной шлаком поверхности огнеупора.

При введении Al_2O_3 в ковшевые шлаки и замене кремнезема на глинозем снижается растворимость MgO в шлаках. Следствием снижения растворимости MgO является снижение износа огнеупоров, которые, в основном, состоят из MgO . Это объясняется известным положением химической термодинамики об отсутствии взаимодействия на поверхности раздела двух фаз в случае равенства концентрации диффундирующего компонента и концентрации насыщения.

В этой же работе описан механизм защитного действия глинозема на ковшевые огнеупоры. Дело в том, что при достаточно высоких содержаниях оксида алюминия и оксида магния в шлаке (Al_2O_3 более 15 % и MgO более 8 %) из него на поверхности огнеупоров осажается тугоплавкая шпинель $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, обладающая огнеупорными свойствами. На поверхности огнеупорной футеровки формируется пусть и тонкий, но все же снижающий скорость износа огнеупоров защитный гарнисаж. Таким образом, повышение содержания Al_2O_3 в шлаке повышает стойкость ковшевых огнеупоров по трем основным причинам:

- исключение растрескивания пропитанного шлаком огнеупора вследствие стабилизации C_2S шлака;
- снижение растворимости MgO (основного компонента огнеупоров) в шлаке;
- формирование на поверхности огнеупора защитного слоя из $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$.

К этому перечню можно добавить еще один механизм эффективности ввода Al_2O_3 в шлак. Поскольку он снижает вязкость шлака, то отпадает необходимость использования плавикового шпата (традиционного разжижителя шлака), который резко усиливает износ огнеупоров [61]. Факты положительного влияния глинозема на стойкость футеровки важны, поскольку, как известно [62–71], 2/3 всего объема огнеупоров разрушается путем химического взаимодействия.

При рассмотрении вопросов поверхностных свойств шлаков, в частности их смачивающей способности, в работах [72–87] отмечалось, что повышение содержания в них Al_2O_3 приводит к повышению поверхностного натяжения и натяжения на границе с металлом, т. е. глиноземистые (алюминийсодержащие) шлаки хуже смачивают огнеупоры и сталь (рис. 1.5). Это приводит к тому, что глиноземистый шлак слабее пропитывает и разрушает огнеупор, а также к тому, что капли шлака меньше запутываются в стали, а капли стали в шлаке – в результате уменьшается содержание в шлаке вредных оксидных включений и потери металла в виде его капель в шлаке.

Из данных, представленных на рисунке 1.5, следует, что использование глинозема взамен плавикового шпата (источника CaF_2) как разжижителя шлака более рационально с точки зрения поверхностного натяжения шлака, характеризующего

смачивающую способность шлака.

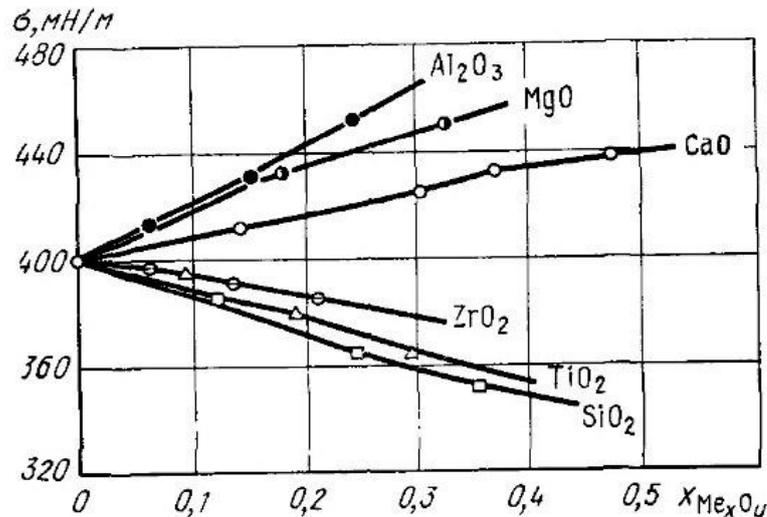


Рисунок 1.5 – Влияние отдельных оксидов на поверхностное натяжение расплава CaF_2 при температуре от 1450 до 1550 °С

Ввод в шлак глинозема способствует уменьшению поверхности контакта огнеупора и шлака за счет уменьшения смачиваемости и разделения шлака и огнеупора защитным слоем.

Снижение износа огнеупоров важно и по причине его влияния на качество стали. Износ футеровки ковша влияет на загрязненность стали неметаллическими включениями (НВ). Шлак пропитывает и разрушает огнеупоры, в результате частицы огнеупора и пропитавшего его шлака переходят в расплав стали. По этой причине при ковшевой обработке стали необходимо формировать шлаки, обладающие меньшим разрушающим действием на огнеупоры.

Факт повышения чистоты стали по НВ при повышении содержания оксида алюминия в ковшевых шлаках известен. Например, в работе [87] отмечается, что увеличение содержания в шлаках глинозема выше 25 % привело к снижению содержания в стали оксидных включений примерно на 30 %.

Еще одним положительным следствием раскисления шлака алюминием является снижение удельного веса капель шлака. Дело в том, что оксиды FeO и MnO существенно тяжелее Al_2O_3 , поэтому раскисленные алюминийсодержащие капли быстрее всплывают и удаляются из металла в шлак.

Иногда на практике для ввода Al_2O_3 в ковшевой шлак используют бой шамотных или других алюминийсодержащих огнеупоров [88–103]. Однако этот

путь нерационален, т. к. огнеупор чрезвычайно медленно растворяется в шлаке, а шамотные огнеупоры содержат много совершенно ненужного в шлаке SiO_2 . Кроме того, бой огнеупоров нужно дробить на специальных установках, а образующуюся мелочь приходится фасовать в бумажные мешки по 10 и 20 кг, что нетехнологично.

Для увеличения стойкости футеровки вакууматоров применяются нейтрализаторы шлака (флюсы, снижающие агрессивное действие шлака на огнеупоры), в качестве которых используют чаще всего пористые порошки корунда. Расход нейтрализаторов составляет от 0,2 до 0,4 кг на т выплавляемой стали. Они весьма дорогостоящи и дефицитны. В качестве источника оксида алюминия более удобен другой материал – отходы производства вторичного алюминия (ОПВА) [103–112].

В работе [107] приводятся сведения и о положительном влиянии ввода оксида алюминия в ковшевые шлаки на расход ферросплавов и экономию шлакообразующих. Дело в том, что содержащийся в ковшевом шлаке как неизбежная примесь FeO (в количестве от 1,5 до 5 %) является причиной поступления в сталь кислорода и окисления легирующих, входящих в состав ферросплавов. Окисляющиеся элементы ферросплавов являются источником образования вредных для стали NV [106]. Металлический алюминий, содержащийся в шлаках производства вторичного алюминия в количествах от 5 до 20 %, служит хорошим раскислителем стали, восстанавливая FeO шлака по реакции:



Таким образом, металлический алюминий убирает источник поступления в металл кислорода и превращается в полезный для шлака оксид алюминия.

В заводской практике, например на ОАО «ММК», для глубокого рафинирования стали шлаком (от серы) используют смесь извести, плавикового шпата и алюминия, на ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ОАО «НЛМК») – смесь извести и алюминия. При этом отмечается, что для получения жидкоподвижного высокоосновного шлака с низким (обычным) содержанием Al_2O_3 (от 5 до 10 %) требуется наличие в шлаке от 5 до 10 % CaF_2 , источником которого служит дефицитный плавиковый шпат.

На необходимость замены плавикового шпата (традиционного разжижителя ковшевых шлаков) на алюминийсодержащие флюсы указано в монографии [25]. Авторы работы, в основном, обосновывают это следующими соображениями:

- плавиковый шпат в РФ – дорогой и дефицитный материал, поскольку его отечественные запасы исчерпаны;
- фториды в условиях обработки стали в ковше испаряются, ухудшая экологическую обстановку;
- фторид кальция снижает стойкость футеровки ковша, а также оказывает временное разжижающее действие, а после испарения части введенного в шлак фторида кальция жидкоподвижность и степень гомогенности шлака снижаются;
- шлаки с повышенным содержанием CaF_2 обладают повышенной водородопроницаемостью, что вредно с точки зрения качества стали.

Сообщается, что при уменьшении расхода фторида кальция с 1 до 0,1 кг/т стойкость футеровки ковшей увеличивается с 26 до 29 плавов на кампанию.

В качестве положительного свойства алюминийсодержащих шлаков ряд авторов [97–112] указывает на то, что шлак с более высоким содержанием Al_2O_3 при высоких температурах менее агрессивен по отношению к футеровке ковша, а при низких температурах обладает большей рафинирующей способностью. На то, что такие расплавы имеют более высокую вязкость в области высоких температур и более низкие температуры плавления, указывают и авторы работ, оценивавших свойства шлаков смежных металлургических производств [87, 103, 109].

Гомогенизирующее действие оксида алюминия на ковшевые шлаки рассматривалось в работах [87, 103]. Дело в том, что на практике в ковшевых шлаках содержится некоторое количество (от 10 до 15 %) нерастворенных частиц извести. Нерастворенные частицы создают эффект повышения вязкости шлака, в результате чего снижается рафинирующая способность шлака, замедляется удаление из стали серы и НВ в шлак.

Расчетными методами и экспериментами было показано, что ввод в ковшевые шлаки Al_2O_3 приводит к гомогенизации (растворению твердых частиц) шлака, что улучшает рафинирующие свойства шлака. Для получения гомогенных шлаков

рекомендуется иметь от 20 до 30 % Al_2O_3 .

В классическом труде по производству стали [73] для обработки стали в ковше рекомендуется наводить шлак состава: от 55 до 65 % CaO , от 25 до 35 % ($SiO_2 + Al_2O_3$), от 4 до 5 % MgO , не более 0,5 % FeO , т. е. в данном случае влияние SiO_2 и Al_2O_3 на свойства шлака приравниваются друг другу. Однако в предыдущих рассмотренных источниках указывалось, что использование Al_2O_3 взамен SiO_2 предпочтительнее. По-видимому, вопрос требует переоценки.

Известные практические рекомендации по гомогенизирующему действию Al_2O_3 сводятся к рекомендациям по соблюдению соотношения (B / Al_2O_3), где $B = CaO / SiO_2$. Однако указанные в данных источниках пределы широки (0,2–0,5) и часто противоречат друг другу.

В части работ по металлургическим свойствам шлака параметр (B/Al_2O_3) не рассматривается, приводятся более простые рекомендации: иметь в ковшевом шлаке от 50 до 60 % CaO и до 25 % Al_2O_3 .

Наиболее благоприятный глиноземсодержащий материал – отходы производства вторичного алюминия (ОПВА) – менее дефицитен и может поставляться на предприятия по ценам в несколько раз ниже товарного алюминия [92]. Но главным преимуществом отходов выплавки вторичного алюминия, по-видимому, следует признать наличие в них металлического алюминия. Из-за высокой дисперсности частиц этого алюминия он не может быть выделен из шлака и превращен в отдельный товарный продукт (чушковый алюминий), т. е. данный алюминий не имеет стоимости как алюминий. В итоге в отходах выплавки дисперсный алюминий практически бесплатный. Учитывая, что он все же работает как эффективный раскислитель шлака, технология использования отходов производства вторичного алюминия при ковшевой обработке стали может быть очень рентабельной.

ОПВА образуются при производстве первичного алюминия, при изготовлении алюминиевых сплавов и производстве отливок, а также при переработке лома и отходов алюминия (рис. 1.6) [87, 92, 103].

Первичные и вторичные шлаки используются как сырье для получения вторичного алюминия. Для переработки шлаков чаще всего используется флюсо-

вая плавка в роторных печах. Флюс, применяемый в этом процессе, состоит из хлоридов натрия NaCl и калия KCl, обычно с небольшой добавкой фторсодержащих соединений. В процессе переработки шлаков образуется ряд отходов. И несмотря на то что захоронение отходов переработки алюминиевых шлаков экологически опасно, все образующиеся отходы подлежат захоронению на полигонах.

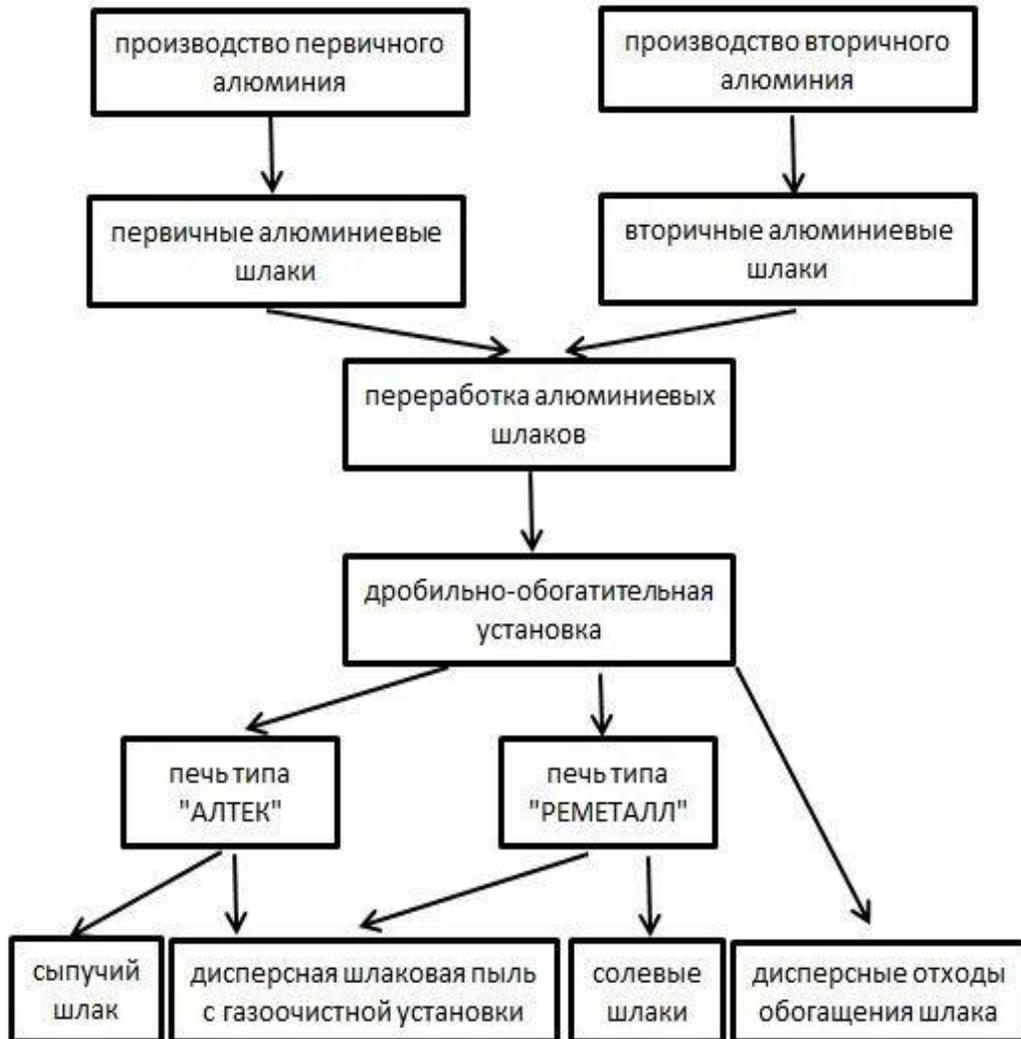


Рисунок 1.6 – Схема образования видов отходов производства вторичного алюминия

Наиболее опасным с экологической точки зрения отходом являются дисперсные отходы дробильной установки обогащения и шлаковая плавильная пыль. С другой стороны, именно благодаря дисперсности эти отходы более удобны с точки зрения приготовления из них комплексных флюсов путем смешивания с другими полезными компонентами, брикетирования в удобные для применения куски.

Для флюсов, применяемых при ковшевой обработке стали, рекомендуется размер кусков около 20–30 мм, поскольку при большем размере замедляется рас-

творение флюса, а при меньшем наблюдаются потери флюса при перегрузках, усиливается пылеобразование с поверхности кусков флюса. Выдерживать довольно узкие требования по размеру проще всего с помощью процесса брикетирования, заодно организуя полную утилизацию пылевидных отходов. Пылевидные ОПВА содержат до 20 % металлического алюминия и от 50 до 60 % глинозема, т. е. по химическому составу подходят для использования в качестве раскисляющего глиноземистого флюса.

ОПВА могут содержать в своем составе оксиды натрия и калия Na_2O и K_2O , которые, в отличие от оксида бора, не только снижают вязкость шлака, но и являются эффективными десульфураторами, а также благоприятно влияют на удаление НВ. Оксиды Na_2O и K_2O чаще всего встречаются в виде карбонатов (сода), поэтому ввод этих соединений в шлак должен сопровождаться диссоциацией соды с образованием большого количества пыли, которая должна уноситься газами из зоны технологического процесса. По данной причине Na_2O и K_2O лучше вводить в шлак не в виде чистых соединений, а в составе флюса, внутри кусков которого Na_2O и K_2O не смогут перейти в состояние пыли, а затем удалиться из зоны технологического процесса.

В работе [91] отражены результаты опытной стабилизации шлаков УКП с использованием глиноземсодержащих шлакообразующих со специальными добавками (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Глиноземсодержащие шлакообразующие брикеты

Данные материалы были испытаны на ПАО «Нижне-Сергинский метизно-металлургический завод» (г. Ревда, Свердловская область). Ковшевые шлаки имели следующий вид (рис. 1.8) и соответствовали требованиям ГОСТ 3344–83 «Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства».



Рисунок 1.8 – Ковшевые шлаки после стабилизации глиноземсодержащими брикетами

1.3. Существующие способы повышения качества доменного агломерата

Агломерационный процесс может быть высокопроизводительным и давать качественный агломерат при условии соответствующей подготовки компонентов шихты к спеканию. В первую очередь это касается гранулометрического состава материалов.

По условиям теплообмена существует предельный максимальный размер кусочков компонентов шихты: для рудного материала и возврата это 6–8 мм, а для флюса и топлива – 3 мм. Частицы большего размера не успевают за 2,0–2,5 мин воздействия высоких температур прогреться и усвоиться расплавом, они остаются в виде отдельных включений в агломерате, снижая его прочность.

Железорудные концентраты (состоящие в основном из частичек крупностью менее 0,1 мм) не требуют, кроме усреднения, какой-либо специальной подготовки к спеканию. Единственным затруднением при их использовании может быть вы-

сокая влажность (10–12 %). На некоторых аглофабриках в этих случаях производят «известкование» концентратов, добавляя к концентрату некоторое количество обожженной извести [113–115], и укладывают их после смешивания в штабель. Основная проблема при этой операции – обеспечение равномерного распределения извести в концентрате. Наилучший вариант – дозирование извести в поток концентрата, направляемый с вагоно-опрокидывателя на приемно-усреднительный склад, их смешивание перед укладкой в штабель в барабанном смесителе. Такая схема реализована на аглофабрике ПАО «Северсталь».

Подготовка к агломерации колошниковой пыли, окалины и шлаков в основном сводится к удалению из них негабаритных и посторонних предметов.

Исследованиями и многолетней практикой установлено, что максимальный размер частичек известняка (доломита) в агломерационной шихте не должен превышать 3 мм. В этом случае происходит полная диссоциация CaCO_3 и усвоение образующегося CaO расплавом.

Требования к качеству поступающего на дробление известняка и доломита следующие: массовая доля ($\text{CaO} + \text{MgO}$) в известняке должна быть не менее 54,0 %; оксида магния – не более 5,0 %; диоксида кремния – не более 1,5 %. Массовая доля нерастворимого остатка не должна превышать 2,0 % в летний период, и не более 2,5 % – в зимний. Крупность кусков известняка ограничена 60 мм, фракции более 60 мм – не выше 7,0 %. Влажность отсева известняка шахтных печей должна быть не менее 3,0 и не более 5,0 %.

Нижний браковочный предел для доломита разных сортов по MgO составляет 14–17 %. Содержание диоксида кремния не должно превышать более 4,0 %, фракции крупнее 60 мм – не более 7,0 %.

Практически на всех аглофабриках требованием к крупности подготовленного известняка является содержание фракции 0–3 мм в пределах 95 %.

Исследованиями, проведенными еще в 50-е годы прошедшего столетия, показано, что использование в агломерационной шихте обожженной извести приводит к существенному улучшению окомкования агломерационной шихты и к значительному повышению производительности агломерационных машин.

Существуют два типа машин для обжига известняка (крупной фракции после дробления в молотковой дробилке) – ОПр и ПОР. Они получили в свое время широкое распространение на украинских аглофабриках. Процесс обжига на этих машинах осуществляется подобно агломерационному: на колосниковую решетку загружается слоем 150–200 мм смесь кусочков известняка 3–10 мм с 10–12 % коксика. После «зажигания» материала начинается горение частиц коксика крупностью 5–8 мм в слое известняка и диссоциация последнего. Процесс продолжается около 10 мин, а степень обжига составляет 45–75 %.

Подобный способ получения извести нельзя признать технически эффективным. Из-за относительно невысокой удельной поверхности материала слоя и низкой температуры горения углерода (не выше 1000 °С вследствие больших затрат тепла на диссоциацию CaCO_3) зона горения распространяется почти на всю высоту слоя, т. е. исчезает одно из главных достоинств агломерационного процесса – концентрация тепла в узкой зоне. Это приводит к снижению использования тепла и повышению расхода топлива. Другой серьезный недостаток обжига известняка при сжигании топлива в слое – явление «мертвого обжига», когда поверхность обожженных кусочков извести покрывается шлаковой пленкой, образующейся в результате взаимодействия CaO с SiO_2 и Al_2O_3 золы кокса. Такие частички впоследствии не взаимодействуют с водой с образованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$, т. е. не выполняют своего назначения.

Наилучшими агрегатами с целью обжига известняка для нужд агломерационного производства являются шахтные и вращающиеся печи, работающие на природном газе.

Основным видом агломерационного топлива являются отсеvy кокса (класса 0–10 мм) коксохимического и доменного производств. В связи с тем, что отсеvy не покрывают потребности агломерационного производства в топливе, в качестве заменителей каменноугольного кокса опробованы или применяются естественные виды топлива: антрацитовый штыб, торф, угли (тощие, отощенные спекающиеся, газовые, длиннопламенные и бурые), а также искусственные: кокс, полукокс из торфа и углей, а также нефтяной кокс [116, 117].

При испытаниях этих видов топлива установлено, что в качестве агломерационного топлива могут быть использованы полукокс и коксы, полученные из малозольных бурых и каменных углей, а также ископаемые высокометаморфизированные угли. Однако практическое использование полукокса и кокса из бурых и каменных неспекающихся углей лимитируется отсутствием соответствующих промышленных агрегатов для их термической переработки, поэтому реальными заменителями коксового агломерационного топлива являются угли, которые находят применение без предварительной термической обработки. Качество таких высокометаморфизированных углей (антрацит, полуантрацит и тощие угли), подвергшихся в природных условиях обуглероживанию вследствие длительного воздействия повышенных температур и давления, по таким показателям, как содержание углерода, выход и химический состав летучих веществ пиролиза, незначительно отличается от углеродистых материалов, полученных искусственным путем.

Широкое применение в агломерации руд нашел антрацит. Однако возможности вовлечения антрацитового штыба в агломерацию ограничиваются недостаточными ресурсами.

Обобщая результаты отдельных испытаний, можно сделать вывод, что удельная производительность агломерационных машин при использовании тощих углей не снижается, а на ряде аглофабрик отмечено некоторое ее увеличение.

Прочность агломерата при использовании тощих углей, как правило, также не снижается. Наблюдается некоторое уменьшение содержания закиси железа в агломерате, а содержание серы в нем практически не изменяется. С вводом тощих углей Краснобродского разреза в шихту наблюдается некоторое расширение зоны горения топлива, обусловленное повышенной по сравнению с коксовой мелочью реакционной способностью углей. Вследствие этого происходит снижение максимальных температур в слое и, в отдельных случаях – при замене более 50 % коксовой мелочи, небольшое снижение прочности агломерата. Поэтому для ряда аглофабрик рекомендовано укрупнение помола смеси топлив.

При совместном с коксовой мелочью вводе в шихту тощих углей Красногорского разреза, реакционная способность которых меньше, чем коксовой мелочи,

наблюдается повышение прочности агломерата.

Имеет место некоторый рост содержания СО в отходящих газах.

При замене одного вида топлива другим, весьма важным с технологической и экономической точек зрения, является вопрос об их эквивалентности.

1.4. Интенсификация процесса агломерации путем применения извести

Увеличение в агломерационной шихте доли тонкоизмельченных концентратов (в среднем по России до 70,0 %), как известно, приводит к снижению удельной производительности агломашины. Изменение крупности шихты потребовало разработки интенсификаторов процесса спекания [118–127]. Одним из эффективных способов интенсификации агломерационного процесса является применение извести [113–115]. Этот способ впервые в мире был внедрен в 1951 г. на аглофабрике завода им. Дзержинского.

Интенсифицирующее действие извести объясняется главным образом высокими вяжущими свойствами, что способствует улучшению комкуемости шихты и упрочнению гранул как в сыром состоянии, так и при подсушке. Использование извести в агломерационной шихте направлено преимущественно на упрочнение гранул и их сохранение в зонах переувлажнения, сушки и интенсивного нагрева. Замена части известняка известью позволяет сократить расход топлива на агломерацию в связи с меньшими затратами тепла на разложение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по сравнению с CaCO_3 .

Добавка извести в шихту позволяет:

- повысить газопроницаемость слоя шихты;
- снизить расход топлива;
- при неизменной высоте слоя повысить скорость фильтрации воздуха;
- увеличить производительность агломашины;
- увеличить высоту аглослоя;
- в итоге, улучшить качество агломерата.

Одним из эффективных технологических способов улучшения металлургических свойств железорудного агломерата по прочности и гранулометрическому

составу является повышение высоты спекаемого слоя шихты [124, 127]. Увеличение прочности агломерата объясняется, главным образом, более полным завершением процессов минералообразования и снижением в агломерате величины термических напряжений.

При увеличении высоты слоя шихты на каждые 100 мм удельная производительность агломашины снижается при различной шихте на 3–10 %. При высокой газопроницаемости шихты процент снижения меньше, при низкой газопроницаемости – больше. Содержание мелочи в агломерате уменьшается на 4–8 % (абс.), а расход топлива – на 8–12 % при увеличении высоты слоя на каждые 100 мм. Улучшается качество агломерата. Поэтому повышению высоты слоя должно предшествовать увеличение удельной газопроницаемости шихты, которую можно повысить путем интенсификации процесса окомкования с использованием извести.

Эффект от применения извести зависит от свойств, количества и способа ввода ее в шихту.

До настоящего времени остается открытым вопрос о рациональном пределе измельчения агломерационной извести. Имеющиеся литературные данные о влиянии начальной крупности извести на показатели аглопроцесса и качественные характеристики агломерата свидетельствуют о прогрессивном их улучшении с уменьшением крупности.

Для прояснения этих вопросов были проведены лабораторные и промышленные эксперименты. В первом случае определяли степень диспергирования извести высокого качества (извести, полученной в печи КС) в зависимости от начальной крупности ее частиц при гашении за счет воды, содержащейся в концентрате; во втором исследовали изменение технико-экономических показателей процесса спекания на промышленных агрегатах (Макеевский металлургический завод) и фазового состава агломерата при переходе на технологию его производства с применением доизмельченной негашеной извести.

В промышленных экспериментах доизмельчение извести производили за счет увеличения времени ее обработки в кипящем слое обжиговой печи (увеличили расход воздуха и высоту зоны обжига соответственно на 15–20 и 35–40 % при

сокращении суточной производительности печи от 224–275 до 155–179 т), позволившее уменьшить средний линейный размер исходных частиц от 5,17–5,87 до 0,68–0,71 мм. Дозировка извести осуществлялась через бункер-накопитель, оборудованный шнековым питателем. Данная технология отличалась достаточно высокой эффективностью (при массовой доле концентрата в железорудной части шихты 78–80 % и расходе извести 47 кг/т агломерата производительность агломашин была увеличена на 11 %).

Средний фазовый состав агломерата (исследовано 10 образцов) и его изменение при переходе на технологию с использованием измельченной негашеной извести представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Фазовый состав (% об.) агломератов основностью
CaO / SiO₂ = 1,27 ед. осн.

Наименование фазы	Средняя крупность частиц извести, мм	
	5,52	0,69
Магнетит полиэдрический	25	31
Магнетит глобулярный	–	15
Всего магнетита	25	46
Гематит первичный	7	8
Гематит вторичный	12	6
Всего гематита	19	14
Ферриты кальция	43	18
Оливины	–	12
Пироксены	4	4
Двукальциевый силикат	6	–
Стеклофаза	3	6
Всего связки	56	40

Петрографическое исследование образцов агломерата, произведенное в отраженном и проходящем свете при различном увеличении (100–240 раз), показало, что агломерат, полученный из обычной извести (массовая доля частиц извести более 5 мм составляла 49–63 %), включает значительное количество неусвоенных

расплавом ее частиц (до 3 об. %) крупностью 1–1,5 мм. При основности агломерата 1,27 ед. осн. известь шихты участвует в образовании значительного количества неустойчивых ферритов кальция и двухкальциевого силиката. Последний представлен крупнозернистой структурой с линейными размерами 25–30 мкм и сосредоточен у гнезд извести.

В связи с уже сложившейся структурой производства и качественными характеристиками используемых известняков АО «Уралмеханобр» совместно с «Донецчермет» более 25 лет назад разработан стандарт на агломерационную известь (ОСТ 1435–78), по которому предложено разделять известь по крупности на две группы: мелкую (до 3 мм) и крупную (до 12 мм), а по суммарной массовой доле активных монооксидов кальция и магния – на четыре сорта, характеризующиеся показателями, приведенными в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристика различных сортов агломерационной извести

Наименование показателя	Сорт			
	Первый	Второй	Третий	Четвертый
Массовая доля, %:				
(CaO + MgO) _{акт} , не менее	85	75	65	55
SiO ₂ , не более	3,5	3,5	4,5	4,5
непогасившихся зерен, не более	3	5	10	15
Потери при прокаливании, не более	4	8	13	20

Таким образом, переход на использование измельченной извести является всесторонне высокоэффективным мероприятием, поскольку существенно повышает и горячую прочность агломерата. При переходе на технологию с использованием измельченной извести происходит существенное смещение фазового состава в сторону равновесного: объемные доли кинетически неустойчивых ферритов кальция и связки в целом сокращаются соответственно от 43 и 56 до 18 и 40 % (степень отклонения фазового состава от равновесного уменьшилась от 98,7 до 13,3 %).

В промышленности используется несколько способов ввода извести в шихту [124–127]. Наиболее полно эти способы представлены в аглопроизводстве ПАО

«ММК». Первый способ – дозирование извести из шихтового бункера в дозирочном отделении на сборный конвейер аглошихты. Второй – послойная укладка извести и железорудных материалов в рудный штабель на складе. Третий – смешивание извести с частью железорудного концентрата в барабане-смесителе с дополнительным увлажнением и гранулированием шихты.

Недостатком первого способа является низкая степень усвоения извести вследствие малого времени нахождения шихты в смесителе и окомкователе. Второй способ подачи предпочтительнее, но не может быть рекомендован для использования из-за высокой экологической опасности. Третий способ имеет значительные преимущества перед двумя первыми, так как обеспечивает наиболее полное гашение извести и экологически безопасен.

Опыт работы ПАО «ММК» показывает, что наиболее рациональным способом ввода извести в шихту является комбинированный, когда негашеная известь распределяется между потоками влажного тонкоизмельченного концентрата и шихты в целом. Такой способ подачи позволяет получить наилучшее качество окомкованной шихты с высокой прочностью сырых гранул и минимальную колеблемость агломерата по химическому составу. Кроме того, учитывается и возможность изменения физических свойств известкованного концентрата – уменьшение смерзаемости влажного материала и улучшение его транспортабельности. Наибольшая часть извести (80–90 %) должна вводиться в поток влажного железорудного концентрата, а наименьшая часть – дозироваться в шихтовом отделении.

На аглофабрике ОХМК (ОАО «Уральская сталь») известь получают на конвейерной обжиговой машине КМ-14. Свежеобожженная известь крупностью 0–15 мм через промежуточный бункер дозируется непосредственно на сборный конвейер в шихтовом отделении. Качество обожженной извести низкое, гидратация и ее усвоение в шихте происходит на 25–30 %, что приводит к увеличению ее расхода и снижению качества агломерата.

Дополнительное существенное увеличение эффективности применения высококачественной извести может быть достигнуто, если технологически пра-

вильно организовать ее ввод в агломерационную шихту. В связи с этим следует высказать два соображения, определяющие технологию подачи негашеной извести в поток перерабатываемых материалов.

Модельными расчетами установлено, что наиболее рациональным способом ввода извести в шихту является комбинированный, когда негашеная известь распределяется между потоками влажного тонкоизмельченного концентрата и шихты в целом. Такой способ подачи определяется главным образом использованием извести двух видов: привозной, как правило, низкого качества, и собственного производства.

Однако имеются и более важные соображения, связанные с формированием минимальной колеблемости агломерата по химическому составу. Кроме того, учитывается и возможность изменения физических свойств известкованного концентрата – уменьшение смерзаемости влажного материала и улучшение его транспортабельности.

Усреднительная способность аглофабрики является сложной функцией многих переменных, она зависит от количества компонентов шихты и статистических характеристик поставки, емкостей склада и тракта переработки сырья, типа установленного оборудования и его производительности, способов составления железорудных смесей и их известкования.

Как показали расчеты (табл. 1.3), для каждой аглофабрики имеется оптимальное соотношение между расходами извести, подаваемой на склад, и перемешанным концентратом и в поток железорудного сырья (перед дозировочным отделением или перед смешиванием шихты) при существующем состоянии усреднения материалов.

Однако при обеспечении весового дозирования обеих частей извести, стабильность химического состава агломерата будет обеспечена в случае, если вся известь подается в поток ЖРС. Таким образом, определение оптимального соотношения расходов извести между складом и потоком на каждой аглофабрике требует специальных исследований и расчетов.

При подаче части (или всей) извести в поток влажного концентрата, посту-

пающего на усреднительный склад, смесь должна подвергаться предварительной обработке в окомкователе по соответствующей технологии. В этом случае после вылеживания достигаются наилучшие результаты (табл. 1.4), сформированные из концентрата и извести гранулы (прошедшие процессы смешивания с другими компонентами шихты и доокомкованные; при этом реализуется и технология накачивания топлива на готовые гранулы) в ходе дальнейшей обработки в зонах переувлажнения и сушки практически не разрушаются и способствуют интенсивному ведению процесса спекания (при существенной экономии твердого топлива).

Таблица 1.3 – Распределение извести между складом и потоком шихты на аглофабриках Украины и результаты его оптимизации по минимальной колеблемости химического состава агломерата (расчет по данным 1985 г.)

Наименование предприятия	Расход извести		$\sigma_{\text{Fe}}^{\text{агл}}$	Уменьшение $\sigma_{\text{Fe}}^{\text{агл}}$		
	Общий, кг/т агломерата	В поток шихты, % отн.		% абс.	% абс.	% отн.
		Фактич.	Оптим.			
Макеевский МК	54	42	55	0,969	0,003	0,3
Енакиевский МЗ	69	53	64	0,729	0,048	6,6
МК «Азовсталь»	58	0	55	0,475	0,09	18,9
МК им. Ильича	18	100	52	0,399	0,074	18,5
МК «Криворсталь»	36	0	36	0,583	0,012	2,1
Коммунарский МК	60	73	88	0,801	0,078	9,7
МК им. Дзержинского	70	44	81	0,762	0,055	7,2
МК «Запорожсталь»	85	68	73	0,980	0,036	3,7
НКГОК	38	100	68	0,556	0,057	10,3

При исследовании влияния способа подготовки шихты на производительность агломашин установлено, что наилучшие результаты достигаются при усреднении и хранении в одном штабеле концентрата, извести и возврата. Хорошие результаты достигаются также в случае совместного хранения только концентрата и извести.

Одним из направлений интенсификации агломерационного процесса известкованием является подача в поток шихтовых материалов гашеной извести

в виде известкового молока. В цветной металлургии известковое молоко активно используется для нейтрализации кислых стоков. Разработаны проекты, и на многих предприятиях действуют установки для получения известкового молока в масштабах, соразмерных с потребностью агломерационных фабрик. Достаточно бурное развитие известкового производства на аглофабриках Украины с использованием сухой (негашеной) извести привело к одностороннему (крайне нетехнологичному) развитию этого способа интенсификации процесса спекания, которое сопровождалось, как уже отмечалось, тремя крупными недостатками:

Таблица 1.4 – Механическая прочность гранул из железорудного концентрата, полученных по различным технологиям (крупность 5 мм, влажность – оптимальная по условию максимальной прочности)

Технология подготовки железорудного концентрата	Прочность гранул, г/гран.	
	сырых	сухих
Концентрат окомкован без извести	134	282
Концентрат окомкован с известью, перед гранулированием смесь вылеживали 5 суток	74	117
Концентрат окомкован с известью, смесь вылеживали 5 суток после гранулирования	274	460

- слабая степень усвоения извести;
- значительный рост колеблемости выхода мелочи при получении агломерата;
- экологическая опасность.

1.5. Выводы к главе 1

Ежегодно в АО «ЕВРАЗ НТМК» образуется более 90 тыс. т шлака внепечной обработки стали (ВОС) с установки «ковш-печь» (УКП). При остывании этот шлак распадается в мелкозернистый порошок, не находит сбыта и временно складывается в ожидании решения по его утилизации.

Проработка вариантов утилизации шлака ВОС для АО «ЕВРАЗ НТМК» возможна по двум направлениям. Первое направление связано с изучением возможности использования шлаков ВОС при производстве агломерата в качестве флюса, не требующего подготовки. Вторым направлением предусматривается

стабилизация структуры шлаков, предотвращающих их распад. В дальнейшем, после дробления и сортировки, утилизация и реализация стабилизированных шлаков возможна в качестве щебня или источника извести для сталеплавильного производства.

Основная технологическая привлекательность шлака ВОС заключается в содержании в нем 45–60 % CaO, что позволяет заменить, по этому химическому соединению, в аглопроизводстве сырой известняк (содержит 54 % CaO). Шлак ВОС содержит подготовленный CaO, в отличие от CaCO₃ в сыром известняке, поэтому не нужно использовать дополнительный кокс (тепло) на разложение CaCO₃. Кроме того, шлак ВОС содержит значительное количество фаз, обладающих вяжущими свойствами, что делает его еще более привлекательным для агломерации.

Во всем мире эффективно вовлекаются в аглопроцесс различные металлургические отходы.

В настоящее время технологических способов интенсификации агломерационного процесса в сфере шихтоподготовки, заслуживающих обсуждения, всего два: подогрев шихты до температуры точки росы 65-70 °С и ее известкование. Более существенный и многообразный по своим последствиям – второй.

Мировой опыт интенсивного ведения процесса агломерации с получением качественного агломерата, отвечающего требованиям доменного процесса, свидетельствует о необходимости использования извести, поэтому любая задержка в реализации этой технологии обрекает предприятие на неэффективное производство.

Агломерат, полученный из шихты, содержащей тонкоизмельченную известь, отличается полным ее усвоением в результате, главным образом, замены неустойчивых ферритов кальция на железокальциевые оливины. При этом двухкальциевый силикат, представленный тонкой фракцией (менее 5 мкм), образует с оставшимися ферритами кальция эвтектику, в связи с чем он стабилен и модификационному превращению не подвержен.

Таким образом, переход на использование измельченной извести является

всесторонне высокоэффективным мероприятием, поскольку существенно повышает и горячую прочность агломерата.

В этой связи, безусловно, будет являться рациональным решением рассмотрение возможности использования шлака ВОС в агломерации в качестве заменителя извести.

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗВЕСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АГЛОМЕРАТА В УСЛОВИЯХ АО «ЕВРАЗ КГОК» – «ЕВРАЗ НТМК»

2.1. Лабораторные исследования по применению извести в аглопроизводстве

Так как основным компонентом шлака ВОС является мелкодисперсная фаза (СаО), представляло интерес изучить ее влияние на технико-экономические показатели агломерационного процесса. Ранее в АО «ЕВРАЗ КГОК» была проведена серия лабораторных спеканий агломерата с использованием извести в аглошихте. Для оценки эффективности применения извести в аглопроцессе в настоящей работе использованы результаты тех исследований.

В качестве компонентов шихты применяли железованадиевый концентрат для производства агломерата, известняк, коксовую мелочь текущего производства, а также известь-пушонку, известковое тесто и портландцемент строительный марки 400. При загрузке шихты в чашу контролировали насыпную массу шихты: ее соответствие насыпной массе шихты на агломашине является основным условием достоверного воспроизведения промышленных условий по качеству агломерата. В шихте учитывали влажность, в агломерате – содержание FeO, гранулометрический состав, холодную прочность по ГОСТ 15137-77.

В первую очередь провели базовое спекание. Базовые спекания имитируют спекание шихты на агломашине в условиях АО «ЕВРАЗ КГОК». Затем были проведены три серии опытов по вводу извести в сухом виде (пушонка), включающих различное количество интенсификатора в шихте. В опытах дозировали сухую известь в количестве, соответствующем 15, 30 и 45 кг на тонну агломерата. При изменении расхода извести основность шихты корректировали путем изменения расхода сырого известняка, также корректировали расход твердого топлива. В качестве твердого топлива использовали коксовую мелочь. Количество возврата во всех опытах было 40 % от количества концентрата. Высота слоя шихты во всех опытах составляла 280 мм. (результаты в таблице 2.1).

Таблица 2.1 – Результаты спекания шихты с вводом сухой извести

Показатели	Базовое спекание	Известь пушонка, кг/т агломерата		
		15	30	45
Состав шихты, кг:				
концентрат	15,0	15,0	15,0	15,0
известняк	2,78	2,343	2,008	1,742
известь	–	0,225	0,45	0,675
топливо	1,05	0,99	0,92	0,857
вода	2,15	2,19	2,4	2,62
$S_{\text{общ.}}$ в шихте, %	4,2	4,87	3,91	3,93
Влажность шихты после окомкователя, %	6,7	7,2	7,7	8,2
Влажность шихты после нагрева, %	5,6	6,6	7,2	7,6
Температура шихты, °С	74	75	75	76
Степень окомкования шихты, %	48,1	38,7	62,0	66,1
Разряжение начальное, мм вод. ст.	805	770	740	705
Разряжение в конце спекания, мм вод. ст.	671	575	650	585
Максимальная температура, °С	360	390	335	380
Время спекания, мин	22	21,7	16	10
Прочность B_{+5} , %	55,6	57,0	60,5	51,8
$B_{-0,5}$, %	7,0	7,5	6,5	7,7
Содержание в агломерате, %:				
Fe	54,2	55,2	55,0	55,3
FeO	10,8	12,1	10,6	9,6
$S_{\text{ост.}}$	0,15	0,07	0,09	0,23
Основность CaO/SiO ₂ , ед.	2,04	2,27	2,17	2,27
$Q_{\text{спека}}$, кг/мин	0,91	0,88	1,34	2,0
$Q_{\text{годн.}}$, кг/мин	0,62	0,65	0,95	1,03
$Q_{\text{уд.}}$ т/м ² ч	0,78	0,74	1,15	1,88
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	12,73	12,9	18,7	28,0

В результате проведенных исследований установлено, что введение в шихту извести (в виде пушонки) повышает вертикальную скорость спекания с 12,73 мм/мин (в базовом опыте) до 12,9-28,0 мм/мин. Повышение вертикальной скорости спекания соответствует увеличению удельной производительности на 45 отн. % (рис. 2.1).

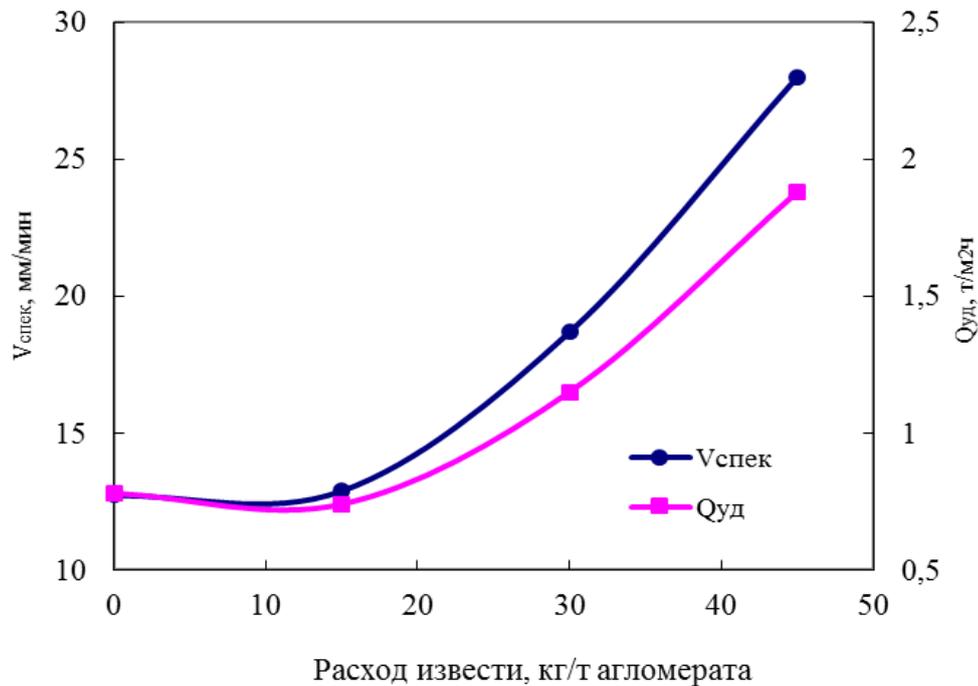


Рисунок 2.1 – Зависимость вертикальной скорости спекания ($V_{\text{спек}}$) и удельной производительности ($Q_{\text{уд}}$) от количества сухой извести в шихте

Повышение вертикальной скорости спекания обусловлено повышением степени окомкования шихты с 48,1 % в базовом спекании до 62,0–66,1 % в опытных. С повышением количества извести более 15 кг/т степень окомкования растет. О повышении газопроницаемости шихты свидетельствует снижение начального разряжения в коллекторе. Ввод сухой извести требует увеличения расхода воды на увлажнение шихты и, соответственно, увеличения влажности шихты.

Ввод в шихту извести приводит к изменению прочностных показателей агломерата. Максимальной прочности соответствует расход извести 30 кг/т. Снижение прочности агломерата при расходе извести 45 кг/т обусловлено низкой высотой слоя шихты. Для компенсации уменьшения сопротивления слоя шихты при вводе извести необходимо увеличение его высоты в промышленных условиях с 300 до 400-450 мм.

При повышении газопроницаемости, обусловленном вводом большого количества извести, необходимо, соответственно, повышать высоту спекаемого слоя.

В опытах с известью, по сравнению с базовым спеканием, содержание железа выше при более высоком значении основности. Это связано с уменьшением расхода твердого топлива и свидетельствует о положительном влиянии извести на качество агломерата. Зависимость прочности агломерата от количества вводимой извести имеет экстремальный характер (рис. 2.2).

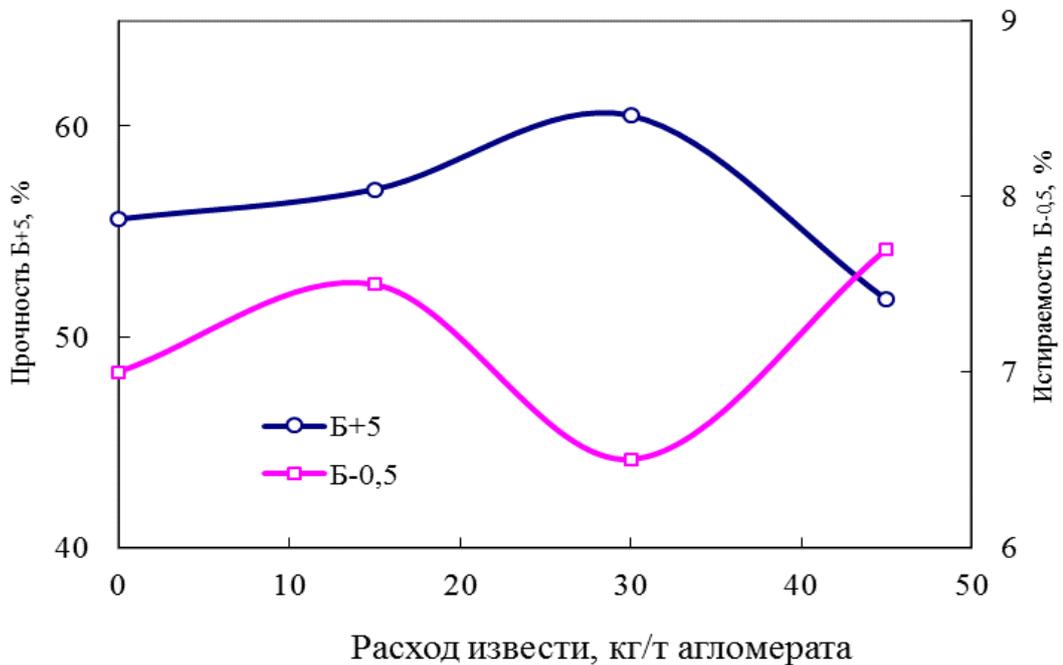


Рисунок 2.2 – Зависимость прочности (B_{+5}) и истираемости ($B_{-0,5}$) агломерата от количества сухой извести в шихте

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено положительное влияние сухой извести на производительность процесса спекания аглошихты. С увеличением расхода извести более 15 кг/т вертикальная скорость спекания растет. В данном случае оптимальным количеством следует считать 30 кг/т агломерата.

В реальных условиях аглофабрики с учетом недостаточно эффективного перемешивания шихты возможно оптимальным расходом сухой извести будет 40–50 кг/т агломерата.

Во второй серии опытов в шихту вводили известь в виде известкового молока при тех же расходах и корректировали расход воды для увлажнения и окомкования шихты (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Результаты спекания шихты с вводом известкового молока

Показатели	Базовое спекание	Известковое молоко, кг/т агломерата		
		15	30	45
Состав шихты, кг:				
концентрат	15,0	15,0	15,0	15,0
известняк	2,78	2,43	2,01	1,74
известь	–	0,225	0,45	0,675
топливо	1,05	0,99	0,92	0,86
вода	2,15	2,20	2,15	2,43
$C_{\text{общ.}}$ в шихте, %	4,2	4,66	4,49	4,37
Влажность шихты после окомкователя, %	6,7	7,4	7,6	8,4
Влажность шихты после нагрева, %	5,6	6,7	7,2	7,4
Температура шихты, °С	74	75	70	72
Степень окомкования шихты, %	48,1	73,7	73,9	97,1
Разряжение начальное, мм вод. ст.	805	753	748	733
Разряжение в конце спекания, мм вод. ст.	671	675	643	555
$B_{-0,5}$, %	7,0	6,5	7,8	8,5
Максимальная температура, °С	360	300	340	360
Время спекания, мин	22	15	12	9
Прочность B_{+5} , %	55,6	54,0	48,9	40,5
Содержание в агломерате, %:				
Fe	54,2	54,4	55,1	57,7
FeO	10,8	12,3	10,7	12,6
$C_{\text{ост.}}$	0,15	0,12	0,32	0,28
Основность CaO / SiO ₂ , ед.	2,04	2,10	2,10	2,16
$Q_{\text{спека}}$ кг/мин	0,91	1,39	1,75	2,26
$Q_{\text{годн.}}$ кг/мин	0,62	0,92	1,04	1,26
$Q_{\text{уд.}}$ т/м ² ч	0,78	1,21	1,53	1,95
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	12,73	18,6	23,3	31,1

В результате проведенных исследований установлено, что введение в шихту извести в виде известкового молока повышает вертикальную скорость спекания с 12,73 мм/мин (в базовом опыте) до 18,67-31,1 мм/мин. Повышение вертикальной скорости спекания соответствует увеличению удельной производительности на 55 отн. % (рис. 2.3).

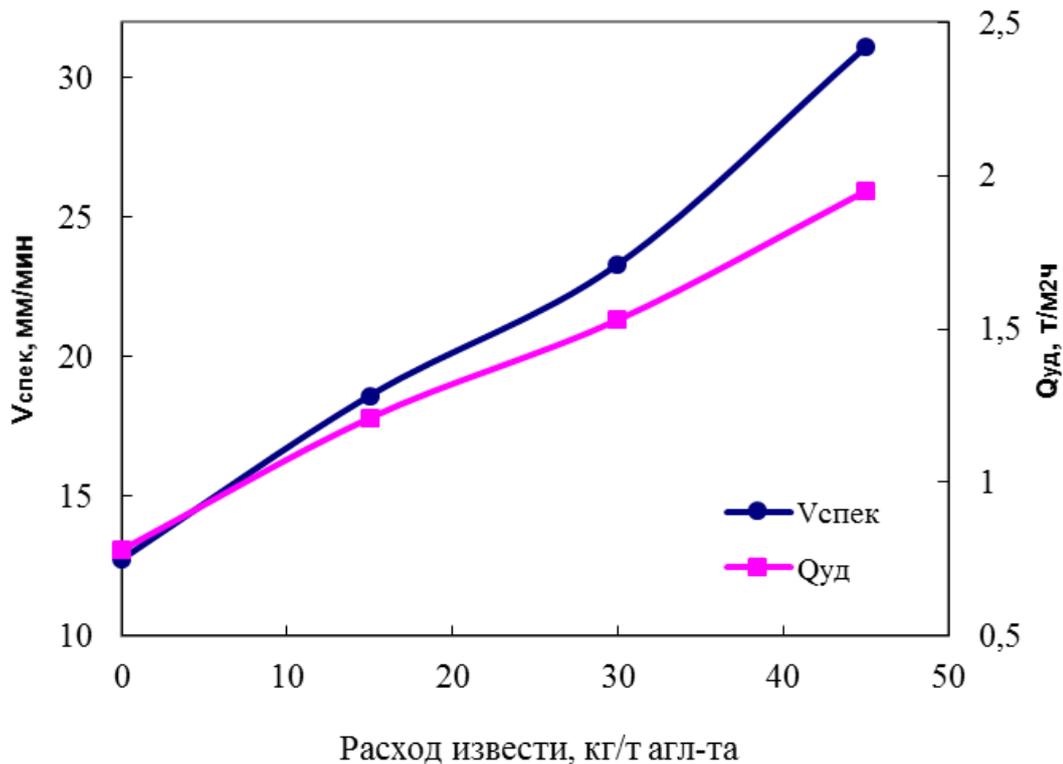


Рисунок 2.3 – Зависимость вертикальной скорости спекания ($V_{\text{спек}}$) и удельной производительности ($Q_{\text{уд}}$) от количества извести, введенной в шихту в виде известкового молока

Повышение вертикальной скорости спекания обусловлено повышением степени окомкования шихты с 48,1 % в базовом спекании до 73,7–97,1 % в опытных, причем с повышением количества известкового молока степень окомкования существенно растет. Высокая степень окомкования (выше, чем при расходе сухой извести 45 кг/т) получена при расходе извести в виде известкового молока 15 кг/т.

При повышении газопроницаемости шихты снижается начальное разрежение в коллекторе. Ввод известкового молока также требует увеличения суммарного расхода воды на увлажнение шихты.

Ввод в шихту известкового молока приводит к изменению прочностных показателей агломерата. Зависимость прочности агломерата от количества вводимой

известки монотонно падает (рис. 2.4).

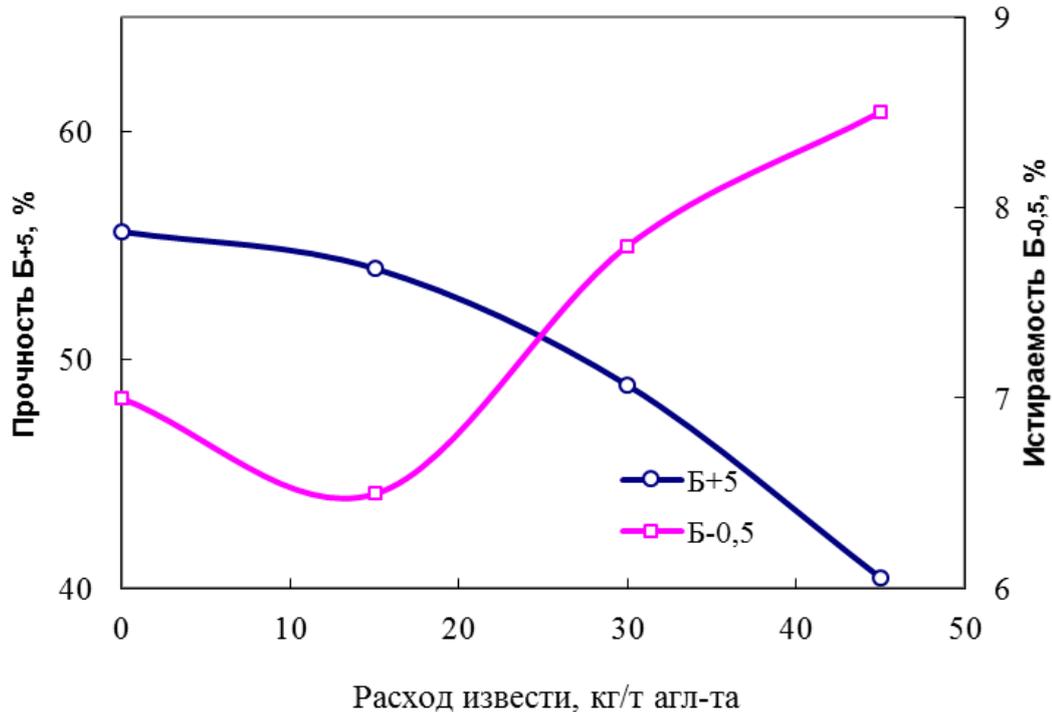


Рисунок 2.4 – Зависимость прочности (B_{+5}) и истираемости ($B_{-0,5}$) агломерата от количества известки, введенной в шихту в виде известкового молока

Максимальной прочности соответствует расход известки 15 кг/т. Наименьшее значение показателя истираемости достигнуто при расходе известкового молока 15 кг/т. Снижение прочности агломерата при расходе известки 30–45 кг/т обусловлено также низкой высотой слоя шихты и более высокой газопроницаемостью. Процесс спекания проходил с очень большой скоростью, при этом не удалось сконцентрировать тепло в узкой зоне, что привело к очень малому образованию расплава и недостаточному упрочнению спека. В этом случае необходимо повышать высоту спекаемого слоя.

В опытах с известью, по сравнению с базовым спеканием, содержание железа выше, особенно при расходе 45 кг/т и более высоком значении основности. Это также связано с уменьшением расхода твердого топлива и свидетельствует о положительном влиянии известки на качество агломерата.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено положительное влияние известкового молока на производительность процесса спекания аглошихты. Высокая эффективность известкового молока проявляется при 15 кг/т.

Способ ввода известки в шихту – в виде известкового молока.

Удельный расход извести – 15–25 кг/т агломерата (на сухую массу).

Часовой расход извести (при удельной производительности $1,4 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$) – 9,6–16,0 т.

Суточный расход извести – 231–384 т.

Годовой расход извести (годовое производство 4,2 млн т) – 63–105 тыс. т.

Требования к качеству извести: $\text{CaO}_{\text{акт}}$ не менее 85 %, крупность не более 50 мм.

Параметры известкового молока – отношение т/ж = 50/50, крупность частиц извести 100 % менее 0,1 мм.

Место ввода известкового молока в шихту – узел первичного смешивания.

Способ ввода известкового молока в шихту – дозирование насосом-дозатором и распыливание форсунками специальной конструкции в барабане-смесителе.

2.2. Опытно-промышленные испытания по производству агломерата

АО «ЕВРАЗ КГОК» с использованием в шихте извести

В связи с отсутствием в настоящее время в АО «ЕВРАЗ КГОК» производственной возможности приемки, подготовки и подачи в аглошихту извести в чистом виде, в соответствии с программой работ, около 5000 т железованадиевого концентрата для агломерата в июле 2012 г. было направлено в ОАО «ВГОК» с целью профилактирования (смешения) его с известью. Производственные мощности ОАО «ВГОК» позволяют проводить данную операцию, что и было успешно осуществлено. Профилактированный известью концентрат был погружен в железнодорожный транспорт и отправлен обратно в г. Качканар (приложение А). Вся работа проведена при непосредственном участии соискателя.

Профилактированный концентрат (рис. 2.5) поступил в цех шихтоподготовки АО «ЕВРАЗ КГОК» в количестве около 6000 т с целью использования в шихте для производства опытного агломерата (приложение А). В зависимости от состояния фронта выгрузки, разгрузка поступающего концентрата допускалась как посредством роторного вагоноопрокидывателя ВРС 93-110, так и посредством грейферных кранов на складе корпуса бентонита с последующей транспортировкой

автотранспортом в цех обогащения.



Рисунок 2.5 – Профилактированный концентрат в полувагоне

Для оценки возможности постоянного привлечения профилактированного концентрата в технологию производства агломерата по технологической цепочке, которая рассчитана на использование только концентрата, известняка и кокса (использование дополнительного материала не предусмотрено), был произведен хронометраж процесса переработки опытного материала.

Общее время на выгрузку, зачистку, транспортировку концентрата по тракту вагонопрокидыватель – склад известняка, составило 82 ч 15 мин, в пересчете на 1 полувагон время обработки составило 56,7 мин.

Основным сдерживающим фактором при разгрузке являлось перегрузочное устройство с пластинчатых питателей на конвейеры. Из-за конструктивных особенностей и низкой сыпучести материала происходит налипание материала на стенки течи (рис. 2.6).

Очистка течек производилась с применением сжатого воздуха пневмошуровками. Прокачка бункеров на вагонопрокидывателе велась под небольшой нагрузкой на минимальных оборотах пластинчатых питателей.

Несколько полувагонов разгружались на складе бентонита грейферными кранами и автотранспортом перевозились на склад цеха обогащения. После разгрузки полувагонов на складе бентонита они тепловозом переставлялись на вагонопрокидыватель для зачистки кузовов.



Рисунок 2.6 – Налипание материала на стенки течки

Для перевозки концентрата со склада известняка на склад цеха обогащения был задействован автотранспорт.

Основные проблемы по приему полувагонов с концентратом, профилактированным известью:

- налипание материала на стенки и очистка течек перегрузочных устройств;
- применение железнодорожного транспорта для перестановки полувагонов на разных фронтах выгрузки – затрачивается дополнительное время;
- затраты дополнительного времени работы грейферных кранов для погрузки концентрата в автотранспорт – 90 ч;
- задействована дополнительная численность трудящихся с других участков и цехов на очистку перегрузочных узлов с пластинчатых питателей и конвейеров по тракту разгрузки.

Качество поступившего профилактированного концентрата по данным входного контроля указано в таблице 2.3.

Максимальное среднеквадратическое отклонение в профилактированном концентрате при входном контроле составило для массовой доли Fe – 1,33; CaO – 1,43; CaO_{св} – 1,70, что характеризует нестабильность по данным показателям.

При оценке надежности среднего значения с вероятностью $P = 0,95$ доверительные границы показателей составили:

- Fe – 51,54 % ± 0,80;
- CaO – 12,15 % ± 0,86;
- SiO₂ – 4,25 % ± 0,19;
- CaO_{св} – 4,61 % ± 1,03.

Таблица 2.3 – Химический состав профилактированного концентрата, %

Дата	Fe	CaO	SiO ₂	осн	CaO _{св}	V ₂ O ₅	H ₂ O
22.07.12 (1 см)	50,90	12,55	4,39	2,859	5,33	0,49	6,31
22.07.12 (1 см)	52,30	11,24	4,51	2,492	3,01	0,49	7,32
22.07.12 (1 см)	49,50	14,21	4,44	3,200	4,31	0,50	7,14
22.07.12 (1 см)	50,90	13,14	4,40	2,986	3,85	0,46	6,05
22.07.12 (1 см)	49,90	13,61	4,47	3,045	4,34	0,48	7,83
23.07.12 (2 см)	52,80	10,40	4,23	2,459	2,22	0,50	4,15
24.07.12 (1 см)	51,90	11,71	4,10	2,856	3,46	0,47	4,30
24.07.12 (2 см)	50,70	13,16	4,61	2,855	6,55	0,47	8,24
24.07.12 (2 см)	53,70	9,94	4,13	2,407	4,74	0,51	7,55
25.07.12 (2 см)	51,00	13,03	3,67	3,550	5,74	0,49	4,44
26.07.12 (1 см)	53,50	10,16	3,61	2,814	3,33	0,50	4,97
27.07.12 (2 см)	51,40	12,59	4,46	2,823	8,38	0,44	5,03
Среднее	51,54	12,15	4,25	2,862	4,61	0,48	6,11
Среднеквадратическое отклонение от среднего	1,33	1,43	0,32	0,32	1,70	0,02	1,49

При перегрузке от вагоноопрокидывателя до шихтовых бункеров произошло дополнительное усреднение, что положительно отразилось на стабильности химического состава профилактированного концентрата. Химический состав профилактированного концентрата по результатам опробования с бункеров представлен в таблице 2.4.

Среднеквадратическое отклонение в профилактированном концентрате с бункеров составило для массовой доли Fe – 0,84; CaO – 0,94; CaO_{св} – 0,89. При оценке надежности среднего значения с вероятностью P = 0,95 доверительные границы показателей составили:

- Fe – 52,0 % ± 0,34;
- CaO – 11,01 % ± 0,38;
- SiO₂ – 4,73 % ± 0,07;
- CaO_{св} – 7,0 % ± 0,37.

Таблица 2.4 – Химический состав профилактированного концентрата, отобранного с шихтовых бункеров

№ пробы	Массовая доля, %						
	Fe	CaO	SiO ₂	Основ.	CaO _{св}	V ₂ O ₅	H ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8
5291	53,0	9,98	4,8	2,079	7,54	0,49	8,2
5294	52,4	10,67	4,82	2,214	7,97	0,48	8
5299	52,7	10,36	4,85	2,136	7,51	0,49	8
5302	51,8	11,31	5,02	2,253	8,27	0,49	8,5
5307	54,4	8,36	5,01	1,669	5,74	0,51	7,7
5316	52,4	10,63	4,82	2,205	7,00	0,5	8,4
5323	51,4	10,88	4,72	2,305	6,99	0,49	8,6
5326	50,8	12,3	4,64	2,651	7,16	0,48	8,43
5335	52,0	10,65	4,63	2,30	5,78	0,5	8,1
5345	51,1	11,82	4,61	2,564	8,08	0,49	8,17
5352	51,6	11,58	4,66	2,485	8,13	0,49	8,1
5356	51,4	11,82	4,64	2,547	8,07	0,49	8,56
5362	52,0	10,88	4,57	2,381	7,43	0,49	8,25
5368	52,4	10,4	4,64	2,241	7,14	0,5	8,3
5373	52,0	11,36	4,84	2,347	6,59	0,49	8,1
5380	51,9	11,84	4,55	2,602	7,43	0,49	8,2
5385	51,5	11,59	4,61	2,514	6,79	0,48	8,3
5391	51,2	12,07	4,75	2,541	7,51	0,48	8,2
5396	51,3	11,84	4,55	2,602	8,01	0,49	8,2
5400	51,1	11,82	4,61	2,564	7,81	0,49	8,07
5407	51,6	10,88	5,22	2,084	6,99	0,49	7,8

продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8
5414	52,7	10,75	4,64	2,317	6,04	0,5	7,83
5424	53,1	9,92	4,82	2,058	5,48	0,51	7,52
5431	52,6	10,18	4,7	2,166	5,81	0,5	8
5439	53,3	9,22	4,75	1,941	5,47	0,51	8,3
Среднее	52,01	11,01	4,73	2,33	7,02	0,493	8,15
Среднеквадратическое отклонение от среднего	0,84	0,94	0,16	0,24	0,89	0,01	0,26

Это позволило уложиться в действующие ТУ по модулю основности.

В период проведения работы железорудная часть аглошихты состояла из концентрата мокрого магнитного обогащения (обычный железованадиевый концентрат) и профилактированного известью концентрата.

Величину общей железорудной нагрузки определяли исходя из требований действующей технологической инструкции.

Расход профилактированного известью концентрата был установлен в соответствии с утвержденным расчетом шихты в соотношении 25 % от нагрузки железованадиевого концентрата и в течение всего опытного периода не менялся.

В течение трех смен слой аглошихты был поднят с 350 мм до 430-440 мм. Последние сутки работали на слое 450 мм (столько позволяла высота борта спекательной тележки и существующее загрузочное устройство).

В течение всего опытного периода в цехах шихтоподготовки и агломерации было установлено ночное дежурство технологов цехов, в дневное время контроль за соблюдением технологии осуществлял главный технолог.

Следует отметить, что был увеличен объем технологического опробования, и для этого был уменьшен вдвое объем паспортов готовой продукции. Отклонения от заданных параметров оперативно устранялись.

Заполнение профилактированного известью концентрата со склада цеха обогащения производилось в шихтовые бункера №№ 12-15 конвейера № 54. Также производилось заполнение в шихтовые бункера № 12 и 13, конвейера № 55 как

резерв на случай возникновения нештатной ситуации.

Закачка бункеров профилактированного концентрата производилась группами (по 2 бункера). Время заполнения согласовывалось с отделом технического контроля для проведения опробования отгруженной партии концентрата.

Дозирование железорудной части шихты в штатном режиме работы производилось двумя конвейерами в «раздельном» режиме: железованадиевый концентрат – по конвейеру № 55, профилактированный известью концентрат – по конвейеру № 54. Задание на концентрат устанавливали в соответствии с расчетом в зависимости от величины дозирования железованадиевого концентрата.

Дозирование кокса в аглошихту осуществлялось по конвейеру № 55 совместно с железованадиевым концентратом. Задание на дозировку кокса устанавливалось после пересчета заданного старшим агломератчиком расхода кокса в % от общей нагрузки на нагрузку концентрата по 55 конвейеру.

Дозирование известняка в аглошихту осуществлялось по конвейеру № 55 совместно с железованадиевым концентратом. Задание на известняк устанавливалось после пересчета на нагрузку концентрата по 55 конвейеру с выходом на модуль основности 2,1 ед.

Объем произведенной и отгруженной в АО «ЕВРАЗ НТМК» опытной партии агломерата составил 26027,53 т (отгрузка на склад АО «ЕВРАЗ КГОК» не производилась).

Главной проблемой при наработке опытной партии продукции был ее малый объем, продолжающийся всего лишь девять смен, поэтому не хватало времени на тщательную отработку режимов. Наряду с плановыми корректировками режима в виде изменения высоты слоя с соответствующей корректировкой дозировки топлива, несмотря на исправную систему пневмообрушения, периодически возникали проблемы с равномерностью дозировки профилактированного концентрата и необходимостью ручной ошуровки бункеров на конвейере № 54. Весь произведенный опытный агломерат соответствовал действующим техническим условиям.

Качество шихтовых материалов в период промышленных испытаний соот-

ветствовало требованиям технологической инструкции: «Подготовка и дозировка шихтовых материалов для окускования концентрата». Основным фактором, определившим результаты испытаний, явилась возросшая степень окомкования аглошихты, которая составила 74,4 % против 50,3 % в базовом периоде, т. е. почти в полтора раза. Механическая прочность произведенного агломерата повысилась и составила: массовая доля класса более 5 мм – 74,91 % против 73,48 %, содержание мелочи составило 4,60 %, против 4,89 % (база) истираемость, фр. – 0,5 мм, осталась практически на прежнем уровне.

Производительность агломашины в период промышленных испытаний повысилась на 14,9 % и составила 252,2 т/л · ч против 219,5 т/л · ч (база – при работе одной агломашиной), при пересчете на две работающие агломашины ожидаемая производительность составила бы 258,0 т/л · ч, или более 4100 тыс. т агломерата в год. Высота слоя составила 425 мм в среднем (450 мм *max*) против 350 мм (база).

При этом экономия коксовой мелочи составила 8,44 кг/т агломерата, или 14,17 %, снижение расхода электроэнергии на 4,0 кВт · ч/т агломерата, или 8,9 %, экономия известняка – 46,0 кг/т агломерата, или 27,2 %.

Показатели технологического процесса производства агломерата в период промышленных испытаний представлены в таблице 2.5 (июнь – отчетные, за период испытаний – оперативные).

Таблица 2.5 – Показатели аглопроцесса при использовании извести

Показатели		июнь 2012 г.	30.07.2012 (2 см) – 4.08.2012 (1 см)
1		2	3
Расход профилактирован. концентрата, т		0	6000
Производство агломерата, т		292776	26027
Концентрат обычный			
Влага, м. д., %		9,6	9,67
Химический состав, м. д., %	Fe	60,35	60,55
	CaO	1,85	1,77

продолжение таблицы 2.5

1		2	3
	SiO ₂	4,92	4,78
	V ₂ O ₅	0,580	0,585
Концентрат профилактированный			
Влага, м. д., %			8,15
Химический состав, м. д., %	Fe		52,01
	CaO		11,01
	SiO ₂		4,73
		июнь 2012 г.	30.07.2012 (2 см) – 4.08.2012 (1 см)
Химический состав, м. д., %	V ₂ O ₄		0,493
	CaO _{св.}		7,02
Твердое топливо			
Влага, м. д., %		10,35	7,03
м. д. класса более 4 мм, %		6,57	6,43
м. д. класса менее 0,5 мм, %		30,31	26,04
зола, м. д., %		14,65	14,28
С _{общ.} в шихте, %		3,11	2,65
С _{ост.} в возврате, %		0,106	0,08
Известняк			
м. д. CaO, %		54,62	54,66
м. д. SiO ₂ , %		0,56	0,92
ппп, %		42,4	41,07
Влага, м. д., %		1,72	1,56
Степень окомкования аглошихты, %		50,3	74,4
Качество произведенного агломерата из-под точки			
Химический состав, м. д., %	Fe	54,05	54,09
	FeO	9,25	9,75

продолжение таблицы 2.5

1		2	3
	CaO	10,6	10,79
	SiO ₂	5,04	5,14
	основность, д. ед.	2,103	2,103
	V ₂ O ₅	0,526	0,528
	TiO ₂	2,48	2,48
	S _{общ.}	0,014	0,014
Механическая прочность, м. д., %	+ 5 мм	73,48	74,91
	– 0,5 мм	4,86	4,88
	– 5 мм	4,89	4,60
Удельные расходы:			
концентрат, кг/т (влажный вес) общий		1003,8	1065,25
твердое топливо, кг/т сух. вес		56,91/59,55*	51,11
известняк, кг/т		168,66	122,64
эл/энергия, кВт × ч/т		42,32/46,03*	42,02
газ, м ³ /т		4,95	4,95
Производительность агломашин т/л. ч		222,31/219,5*	(245 ÷ 270) / 252,2 ср.
Высота слоя шихты, мм		350	410 ÷ 450
* Показатели при работе одной агломашины.			

Несмотря на кратковременность проведенных испытаний, добавка извести в аглошихту в количестве 25 кг/т агломерата показала высокую эффективность. Результаты испытаний хорошо коррелируются с испытаниями с аглофлюсом при практическом отсутствии проблем с превышением содержания пыли в воздухе рабочей зоны на рабочих местах.

По результатам работы достигнуты следующие показатели:

- механическая прочность произведенного агломерата повысилась, и составила: массовая доля класса более 5 мм – 74,91 % против 73,48 %; содержание мелочи составило 4,60 % против 4,89 %; истираемость осталась практически на

прежнем уровне;

- производительность агломашины в период промышленных испытаний повысилась на 14,9 % и составила 252,2 т/л · ч, против 219,5 т/л · ч (база); при пересчете на две работающие агломашины, ожидаемая производительность составит 258,0 т/л · ч, или свыше 4100 тыс. т в год;
- высота слоя составила 425 мм в среднем (450 мм *max*) против 350 мм (июнь 2012 г.);
- экономия коксовой мелочи составила 8,44 кг/т или 14,17 %;
- экономия электроэнергии 4,0 кВт · ч/т, или 8,9 %;
- экономия известняка 46,0 кг/т, или 27,2 % (данные по известняку подлежат уточнению, исходя из реального качества извести при реализации инвестиционного проекта ИП).

Для осуществления ИП необходимо внедрить следующие основные технические мероприятия:

- строительство комплекса оборудования по приему, складированию и дозированию обожженной извести в АО «ЕВРАЗ КГОК»;
- усиление отм. +15,0 м, корпуса агломерации, замена приводов окомкователей с доведением числа оборотов окомкователей до 6,0 об/мин.;
- модернизация загрузочных устройств на агломашинах;
- модернизация горнов агломашин;
- в целом тракт охлаждения со своей задачей справлялся (температура охлажденного агломерата не превышала 250 °С) и существенной модернизации не требует; необходимо исключить (на повышенной производительности) возможность работы на одном дымососе; выполнить мероприятия по повышению надежности оборудования, а также по визуализации работы отделения охлаждения и дистанционного управления;
- выполнить мероприятия по улучшению работы газоотводящих трактов и газоочистки;
- определить поставщика обожженной извести, готовой к употреблению (крупность 0–3,0 мм), содержание СаО не менее 90,0 %.

2.3. Выводы к главе 2 и постановка задач исследования

1. Изучены методы ввода в аглошихту извести в сухом виде (пушонка) и в виде известкового молока, с расходом в количестве, соответствующем 15, 30 и 45 кг извести на тонну агломерата. При обоих методах происходит повышение вертикальной скорости спекания шихты и повышение прочности готового агломерата.

2. Выявлено, что степень окомкования шихты при расходе извести в виде известкового молока на уровне 15 кг/т выше, чем при расходе сухой извести 45 кг/т, причем с повышением количества известкового молока степень окомкования существенно растет. При расходе извести в виде известкового молока повышается и вертикальная скорость спекания, что обусловлено повышением степени окомкования шихты.

3. Показано, что для достижения требуемых показателей агломерата необходимо реализовать следующие условия:

- при содержании тонкоизмельченного концентрата в железорудной части более 60 % удельный расход извести должен составлять не менее 30–50 кг/т агломерата;
- рациональная крупность извести – меньше 3 мм.

4. При объемах производства 3,5 млн. т агломерата в год требуется от 105 до 175 тыс. т извести, что соответствует 150–300 тыс. т шлака ВОС, т. е. предлагаемая технология позволяет полностью перерабатывать (утилизировать) самораспадающийся шлак.

5. На основании этого шлак ВОС может рассматриваться как недорогой и не дефицитный заменитель извести в аглопроцессе. Фракционный состав распавшегося шлака ВОС удовлетворяет требованиям аглопроизводства, при этом затраты на организацию подачи шлака ВОС в агломерацию будут минимальными.

6. В доменном цехе АО «ЕВРАЗ НТМК» используется два вида агломерата: до 40 % агломерата АО «ЕВРАЗ КГОК», который производится только из тонкоизмельченного концентрата; до 10 % железоблюса ОАО «ВГОК», который производится из многокомпонентной шихты, состоящей из побочной кусковой и пылевидной продукции АО «ЕВРАЗ НТМК».

7. В связи с отсутствием в настоящее время в АО «ЕВРАЗ КГОК» производственной возможности приемки, подготовки и подачи в аглошихту извести, было решено исследования по применению шлака ВОС в агломерации провести на базе ОАО «ВГОК», где такая возможность существует.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЛАКА ВОС НА ПОКАЗАТЕЛИ АГЛОПРОЦЕССА

3.1. Исследование физико-химического и фазового состава шлаков ВОС

В связи с тем, что существующие способы определения химического состава шлака требуют длительного времени, на многих металлургических предприятиях используют визуальную оценку качества ковшевого шлака при доводке металла на У КП. С этой целью на кислородную трубку или пруток намораживают тонкий слой шлака, который после его остывания осматривают. Шлак может быть черного, коричневого, серого, зеленого, желтого или белого цвета с промежуточными оттенками. Цвет шлака позволяет сделать следующие выводы о его химическом составе:

- черный цвет является признаком того, что суммарное содержание FeO и MnO в шлаке превышает 2 %;
- цвет шлака от серого до коричневого свидетельствует о том, что суммарное содержание FeO и MnO в шлаке находится в пределах 1,0–2,0 %;
- зеленый цвет шлака говорит о повышенном содержании Cr_2O_3 ;
- цвет шлака от белого до серого является признаком того, что суммарное содержание FeO и MnO в шлаке составляет менее 1,0 %;
- светло-синий цвет с белизной свидетельствует о высоком содержании в шлаке Al_2O_3 .

Хорошо раскисленный высокоосновной шлак должен отвечать следующим требованиям:

- иметь светло-серый, желтый или, желательно, белый цвет и матовую шероховатую поверхность;
- намораживаться на металлический пруток «шубой» толщиной около 5 мм;
- в изломе иметь мелкодисперсную структуру без видимых включений разнородных материалов;
- при охлаждении рассыпаться в порошок серого или белого цвета.

Шлак ВОС «ЕВРАЗ НТМК» соответствует всем требованиям хорошо

раскисленного основного шлака, имеет в основном матовый белый цвет [26] с присутствием светло-серого, коричневого и желтого оттенков (рис. 3.1 и 3.2).

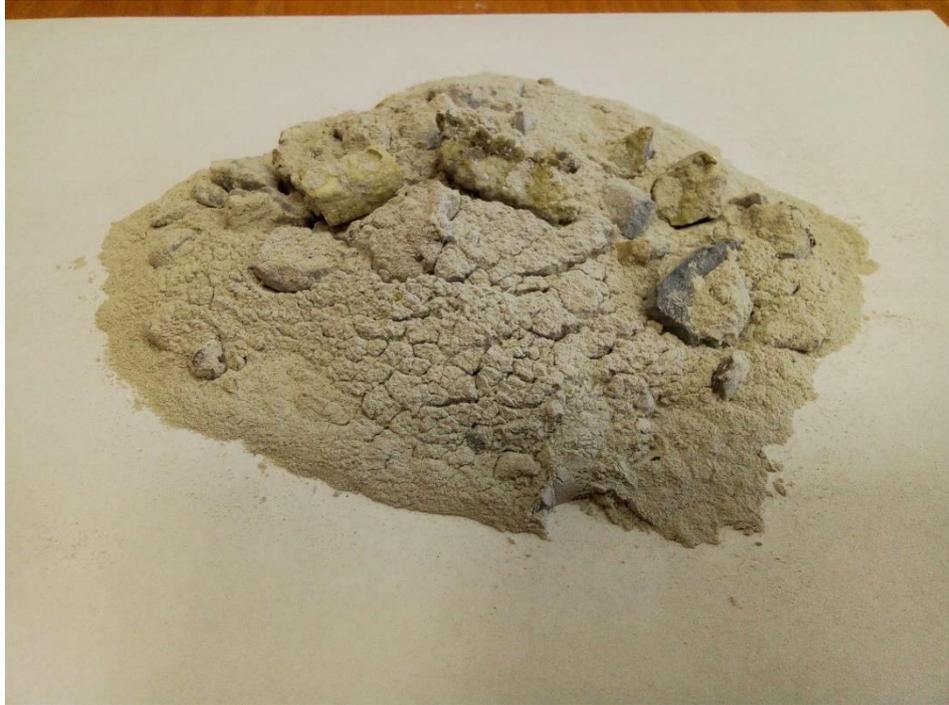


Рисунок 3.1 – Вид саморассыпающегося шлака ВОС «ЕВРАЗ НТМК»



Рисунок 3.2 – Вид шлака ВОС «ЕВРАЗ НТМК» под микроскопом

Основными компонентами шлака ВОС являются CaO, SiO₂, Al₂O₃ и MgO. Также в составе шлака ВОС может присутствовать значительное количество металлического железа (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Химический состав шлаков ВОС «ЕВРАЗ НТМК», %

Fe	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Mn	S	P	Cr ₂ O ₃	Zn
0,5-15	45-60	10-20	7-10	10-20	0,05-0,1	0,5-0,9	0,1-0,3	0,005-0,01	0,03-0,07	0,002-0,007

Из вредных примесей в составе шлака ВОС присутствует S до 0,3 %, P до 0,01 %, Cr₂O₃ до 0,1 % и Zn до 0,01%. При условии оптимальной дозировки шлака приход серы в аглошихту будет находиться на удовлетворительном уровне. Необходимо отметить, что в состав железоблюса входит значительное количество материалов с высоким содержанием серы. Колошниковая и аспирационная пыли, шламы и металлопродукты из отвальных шлаков содержат также до 0,3 % S. Уровень содержания P, Cr₂O₃ и Zn в шлаке ВОС является не критичным для агломерационного передела.

По данным ситового анализа, шлак ВОС удовлетворяет требованиям аглопроизводства и содержит более 80 % фр. 0–3 мм (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Фракционный состав шлаков ВОС «ЕВРАЗ НТМК», %

0-3 мм	3-10 мм	10-20 мм	20-100 мм	более 100 мм
80,6	2,3	0,4	7,4	9,3

В связи с тем, что в производственном процессе любого металлургического передела неизбежно происходят потери металла со шлаком, в структуре исследуемого шлака ВОС присутствует значительное количество магнитных металлических включений – скрапа разного размера и формы (рис. 3.3). Этим обусловлено и наличие в ситовом составе значительного количества шлака ВОС фракции более 20 мм.

Соответственно, перед использованием шлака ВОС в аглопроцессе необходимо организовать его очистку (отмагничивание или грохочение) от крупных металлвключений.



Рисунок 3.3 – Металлические включения в шлаке ВОС

Известно, что CaO , SiO_2 , Al_2O_3 и MgO находятся в шлаке ВОС не в свободной форме, а в виде соединений, поэтому было необходимо изучить не только химический, но и фазовый состав шлака ВОС. На основании этого в лабораторных условиях ИМЕТ УрО РАН был проанализирован фазовый состав шлаков ВОС «ЕВРАЗ НТМК» (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Фазовый состав шлаков ВОС «ЕВРАЗ НТМК»

Материал	Содержание фаз, масс. %					
	$\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$	$\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$	$\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$	Ca_3SiO_5	CaF_2	MgO
Шлак УКП	21,39	45,15	16,10	9,03	5,27	3,06

Из представленных данных видно, что шлаки ВОС содержат значительное количество фаз, обладающих вяжущими свойствами – это майенит $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$, ларнит $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$, алит Ca_3SiO_5 , – что является важным технологическим качеством шлака ВОС при проработке направлений его утилизации в условиях АО «ЕВРАЗ НТМК».

При введении шлака ВОС в аглошихту и взаимодействии с водой при смешивании и окомковании шихты он будет твердеть, играя роль связующего материала и повышая прочность горячего агломерата.

При замене в аглошихте сырого известняка на шлаки ВОС уменьшится необходимость разлагать CaCO_3 и, соответственно, снизятся затраты на агломерацию, уменьшатся расход кокса и содержание серы в агломерате.

Считается экономически целесообразным применение вторичного сырья в качестве вяжущих, в том числе металлургических шлаков. По составу они близки к вяжущим веществам и по сравнению с природными обладают большей химической активностью, обусловленной термической обработкой, в результате которой шлаки переходят в стеклообразное (аморфное) состояние и приобретают избыточную энергию [128–136].

3.2. Сравнение шлака ВОС с известковыми вяжущими

Сырьем для производства известковых вяжущих служат карбонатные породы (известняк, мел, ракушечник) содержащие до 8 % глины. Процесс производства заключается в подготовке и обжиге сырья. Оксид магния присутствует в известке всегда в виде примеси. Глинистые примеси также подвергаются обжигу с образованием оксидов алюминия и кремния. К концу обжига образуются метаалюминат кальция $\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2$ и ортосиликат кальция Ca_2SiO_4 . Когда алюминат и силикат кальция составляют более 10 %, получают гидравлическую известь, которая относится к гидравлическим вяжущим.

При 1000–1200 °С получают комовую известь, которая не обладает вяжущими свойствами. Для придания комовой известке вяжущих свойств ее измельчают на мельницах (негашеная молотая известь) или гасят водой – таким образом получают гашеную известь. Гашеная известь используется в виде известкового теста (его готовят на строительных площадках) и пушонки (получают на заводах в специальных гидраторах).

Известковые вяжущие вещества классифицируют по составу и температуре обжига исходного сырья (табл. 3.4).

Таким образом, шлак ВОС близок по своему составу к известковому вяжущему – гидравлической известке, т. к. содержит значительное количество алюминатов и силикатов кальция.

Таблица 3.4 – Виды известковых вяжущих

Наименование известкового вяжущего	Сырье	Температура обжига, °С	Состав вяжущих
Негашеная комовая известь	CaCO_3	1100	CaO
Воздушная строительная известь	$\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	1000–1200	$\text{CaO} + \text{MgO}$ (95 %), $2\text{CaO}-\text{SiO}_2$, $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$
Гашеная известь (пушонка)	CaCO_3	1200	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Гидравлическая известь	CaCO_3 + глина, $\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2-2\text{H}_2\text{O}$	1300	$5\text{CaO}-\text{SiO}_2, 3\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaOMgO}$

3.3. Оценка физико-химических свойств шлака ВОС как вяжущего вещества

Основными физико-химическими свойствами вяжущих веществ являются: дисперсность, пластичность, способность к твердению [137–142].

Дисперсность заключается в том, что используемые вяжущие вещества обладают высокой гидравлической активностью, т. е. активно взаимодействуют с водой. Гидравлическая активность возрастает, в соответствии с законом действия масс применительно к гетерогенным системам, с увеличением степени дисперсности вяжущих веществ, размер частиц которых колеблется от 1 до 40 мкм, как и у шлака ВОС.

Пластичность – это способность деформироваться под влиянием внешнего механического действия без нарушения сплошности и сохранять форму, которую придали, при отсутствии внешнего воздействия.

Пластичность вяжущего теста, образованного при смешивании с водой вяжущих веществ, обусловлена особыми свойствами поверхностных слоев воды. Свойства воды, непосредственно прилегающей к частицам вяжущего вещества, аналогичны ее свойствам в кристаллическом состоянии. Вода в связанном состоянии, обладая толщиной слоя в несколько долей микрона, выдерживает давление в несколько граммов на 1 см^2 . Полутвердые водные оболочки являются одновре-

менно и связывающим веществом, и смазкой. Благодаря этому возможно скольжение твердых веществ и их деформация.

Для получения пластичных и хорошо формируемых смесей следует вводить больше воды, чем это требуется для затворения вяжущего материала. Однако несвязанная вода, испаряясь, образует воздушные поры, которые снижают прочность и долговечность материала. С помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ), изменения формы и размера кристаллов, их удельной поверхности и др. можно снизить количество требуемой воды, уменьшить расход вяжущих веществ и одновременно сохранить достаточную пластичность.

Способность к твердению вяжущих веществ – одна из сложных проблем. В результате физико-химических процессов пластичное вяжущее тесто превращается в твердое камневидное тело. В процессе твердения различают два этапа: схватывание (потеря пластичности теста) и собственно твердение (набор прочности). Укладка и уплотнение смесей производятся, когда смесь еще не потеряла пластичности, поэтому следует учесть сроки начала и конца схватывания. Продолжительность схватывания характеризует структурообразование вяжущего теста. Постепенно материал твердеет и прочность его нарастает. Различают три вида твердения: гидратационное, карбонатное, гидросиликатное.

В работе рассмотрен механизм гидратационного твердения шлака ВОС, происходящего при его взаимодействии с водой. С термодинамической точки зрения вяжущие вещества обладают избытком свободной энергии и в воде самопроизвольно переходят в гидратные новообразования с меньшим запасом энергии.

Процесс твердения происходил в течение одних суток по стадиям: насыщение (подготовительная), коллоидация и кристаллизация.

В стадии насыщения частицы шлака ВОС, растворяясь на границе фаз вода – твердое тело, образуют насыщенный раствор и гидратируются. Молекулы воды постепенно проникают в кристаллическую решетку шлака ВОС (рис. 3.4).

В стадии коллоидации гидратные новообразования, менее растворимые в воде, чем исходные соединения, образуют пересыщенный раствор. Из раствора, который можно считать пересыщенным гелем, медленно выделяется кристаллический

сросток. Одновременно гель обезвоживается и освободившаяся вода гидратирует частицы исходного вяжущего. При этом образовавшиеся гели затвердевают, т. к. обезвоживаются в результате связывания воды (рис. 3.5).



Рисунок 3.4 – Насыщение водой шлака ВОС



Рисунок 3.5 – Коллоидация шлака ВОС

В стадии кристаллизации происходит окончательное твердение и образование твердого камневидного тела шлака ВОС (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Кристаллизация шлака ВОС

Все три стадии не следовали одна за другой, но накладывались одна на другую. Камневидное тело шлака ВОС имело плотную структуру (толщиной от 0,001 до 0,01 м (в размерах формы для твердения)), и для экспертной оценки прочности этого материала было произведено его сбрасывание с высоты 1 м (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Испытание камневидного тела шлака ВОС на сбрасывание

Содержание фракции менее 5 мм в материале после сбрасывания составило 3,1 %, остальные кусочки камневидного шлака ВОС были фр. более 5 мм.

Таким образом, шлак ВОС обладает всеми основными физико-химическими свойствами вяжущих веществ [138].

3.4. Исследование прочности на сжатие аглошихты со шлаком ВОС

Перед испытаниями все материалы отдельно были измельчены на вибро-стирателе. Смесь материалов была подготовлена к набивке путем смешивания с 15 % воды (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Смесь материалов

Наименование шихты	Основная шихта, %/г	Шлак ВОС н/ст., %/г	Шлак ВОС стаб., %/г	Известь пушонка, %/г	Вода, %/г
Базовая	100/300	0/0	0/0	0/0	15/45
Со шлаком ВОС н/ст.	92,5/277,5	7,5/22,5	0/0	0/0	15/45
Со шлаком ВОС стаб.	92,5/277,5	0/0	7,5/22,5	0/0	15/45
С известью (пушонка)	92,5/277,5	0/0	0/0	7,5/22,5	15/45

Для исследования по литейной технологии методом набивки тремя ударами копра были подготовлены цилиндры (рис. 3.8) с базовой шихтой железофлюса, с шихтой железофлюса в смеси с нестабилизированным шлаком ВОС, с шихтой железофлюса в смеси со стабилизированным шлаком ВОС и с шихтой железофлюса в смеси с гашеной известью (пушонка). Для набора прочности образцы выстаивались при комнатной температуре в течение семи суток.

Вместе с этим путем совместного помола были подготовлены к испытанию на сжатие цилиндры (рис. 3.9) шихты железофлюса с нестабилизированным шлаком ВОС, шихты железофлюса со стабилизированным шлаком ВОС и шихты железофлюса с гашеной известью (пушонка). Совместный помол – это принципиально другая технология подготовки материалов.



Рисунок 3.8 – Образцы шихты железомосса с различными вяжущими



Рисунок 3.9 – Образцы шихты железомосса при совместном помоле с различными вяжущими

После набора прочности в течение семи суток была определена прочность на сжатие образцов аглошихты с различными вяжущими на гидравлическом прессе (рис. 3.10) по ГОСТ 28840-90.

В результате испытаний получены следующие данные, указанные в таблице 3.6.



Рисунок 3.10 – Гидравлический пресс

Таблица 3.6 – Результаты испытаний образцов материалов на прочность при сжатии

Подготовка шихты	Предел прочности при сжатии брикетов железобетона через 7 суток, МПа			
	Базовая шихта	Со шлаком ВОС н/ст.	Со шлаком ВОС стаб.	С известью (пушонка)
Раздельный помол	0,44	2,69	3,23	0,84
Совместный помол	–	3,44	4,0	0,87

На основании полученных данных видно, что предел прочности смесей с шлаком ВОС значительно, в 3-4 раза, превышает показатели смеси с известью.

Так же видно, что прочность смеси со стабилизированным шлаком выше, чем прочность смеси с нестабилизированным ВОС.

При совместном помолу шихты железобетона с нестабилизированным и со стабилизированным внепечным шлаком, прочность образцов была выше примерно на 20 %, чем при раздельном помолу.

3.5. Расчет использования шлака ВОС в аглошихте

Для определения объемов замещения сырого известняка шлаком ВОС произвели расчет агломерационной шихты.

В состав железоблюса ОАО «ВГОК» входит до 15 материалов – побочных продуктов (табл. 3.7).

На основании данных, представленных в таблице 3.7, видно, что наряду с многокомпонентностью состава шихты железоблюса, материалы значительно различаются по своему химическому составу. Конвертерные шлаки (СКШ, ВКШ и шлак ВОС) содержат значительное количество CaO, и изменение их расхода значительно влияет на снижение объема использования или полное выведение сырого известняка из аглошихты [136].

Расчет агломерационной шихты проводили следующим образом:

1. Химические элементы и соединения $x = (\text{Fe}, \text{Mn}, \text{S}, \text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{V}_2\text{O}_5)$ поступают с шихтовыми материалами в количестве (M_x , т/т агломерата):

$$M_x = 0,01 \sum_{j=1}^n R_j X_j. \quad (3.1)$$

В процессе окускования полностью улетучиваются $\{\text{CO}_2\}$ карбонатов и H_2O гидратов. Потери массы при прокаливании (ППП) в окускованном материале равны 0.

2. Уменьшение массы материалов за счет удаления части серы, вносимой шихтовыми материалами, составит:

$$M_S^{y\lambda} = 0,01 \sum_{i=1}^n R_i S_i (\lambda_S)_i, \quad (3.2)$$

где, $(\lambda_S)_i$ – степень удаления серы из i -го компонента шихты.

В агломерат сера перейдет в количестве ($M_S^{\text{арл}}$, т/т агломерата):

$$M_S^{\text{арл}} = M_S - M_S^{y\lambda}. \quad (3.3)$$

3. Железо в процессе окускования полностью переходит в окускованный материал:

$$M_{\text{Fe}}^{\text{арл}} = M_{\text{Fe}}. \quad (3.4)$$

Изменение количества оксидов железа и серы за счет окислительно-восстановительных процессов проводится с учетом протекающих химических реакций.

В окускованном материале будет (т/т агломерата):

- оксида S:

$$M_{\text{SO}_3}^{\text{агл}} = M_{\text{S}}^{\text{агл}} \frac{80}{32}; \quad (3.5)$$

- оксида железа:

$$M_{\text{FeO}}^{\text{агл}} = M_{\text{Fe}} \alpha_{\text{Fe}}; \quad (3.6)$$

- оксида железа:

$$M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{агл}} = \frac{160}{112} \left(M_{\text{Fe}}^{\text{агл}} - \frac{56}{72} M_{\text{FeO}}^{\text{агл}} \right). \quad (3.7)$$

4. Остальные элементы и соединения полностью переходят в агломерат. Их количество определяется соотношениями вида:

$$M_{\text{X}}^{\text{агл}} = M_{\text{X}}. \quad (3.8)$$

5. Выход агломерата (W , т/т) равен сумме масс составляющих его оксидов. Содержание каждого оксида и элемента в агломерате определяется по формулам вида:

$$X = \frac{M_{\text{X}}}{W} \cdot 100. \quad (3.9)$$

На основании этого из 73,4 тыс. т материалов получили 66,0 тыс. т готового железоблюса со следующим расчетным химическим составом (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Химический состав железоблюса со шлаком ВОС

Содержание в железоблюсе, %	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Mn	S	Основн., ед
	49,80	9,73	4,14	4,47	3,18	0,635	0,54	0,08	2,35

Таким образом, на основании проведенных расчетов получили, что в зависимости от компонентного состава шихты и требуемой основности агломерата, при использовании шлака ВОС в аглошихте в объеме около 70 кг/т железоблюса (7-15 % в аглошихте) возможно полное выведение сырого известняка из аглопроцесса.

3.6. Лабораторные спекания агломерата с использованием в аглошихте шлака ВОС

В агломерационную лабораторию ОАО «ВГОК» были доставлены три вида шлака ВОС: исходный, полуразложившийся и разложившийся (приложение Б, В).

В качестве дополнительного был доставлен шлак с установки десульфурации конвертерного цеха (содержит до 70,0 % Fe_{общ}), который в настоящее время используется в доменном цехе, но из-за присутствия в его составе активной извести этот материал имеет ограниченный срок хранения, подвергается распаду. Если удалить железо из шлака десульфурации, то его химический состав будет сходным с составом шлака ВОС, и представляло интерес испытать пригодность его в агломерации.

В указанных шлаках произведено определение химического состава (табл. 3.9).

Таблица 3.9 – Химический состав шлака ВОС и шлака установки десульфурации конвертерного цеха

Материал	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	S	TiO ₂	FeO	Mn	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅
x/a по данным «ЕВРАЗ НТМК»										
Шлак десульфурации	63,0	6,5	2,3	2,1	0,80	н/д	н/д	4,03	1,2–1,7	3,00
Шлак ВОС	0,9	57,0	23,0	10,6	0,21	0,28	1,2	0,73	15,2	0,07
x/a по данным «ВГОК»										
Шлак десульфурации	61,5	15,8	4,9	4,4	0,60	2,52	76,6	2,71	3,1	3,54
Шлак ВОС (исходный)	2,0	64,1	14,0	3,0	0,07	0,09	2,2	0,90	11,9	0,04
Шлак ВОС (полуразлож.)	2,2	63,2	17,1	2,8	0,18	0,09	2,0	0,13	9,8	0,01
Шлак ВОС (разлож.)	4,2	59,3	19,3	4,9	0,04	0,12	3,5	0,23	10,9	0,02

Объемы образования шлака ВОС – 90 тыс. т в год. Для расчета годовой шихты железоблюса с привлечением этого шлака принят химический анализ АО «ЕВРАЗ НТМК». Варианты базовой и опытной шихт были рассчитаны с условием полного забора шлаков в шихту и увеличения объема производства железоблюса.

Учитывая повышенную основность проб шлаков, доставленных на лабораторные спекания, расчет шихт на спекания произведен с условием полного замещения сырого известняка в составе. Путем лабораторных спеканий опробованы все виды шлаков. Для объективности лабораторных испытаний каждый из пяти опытов повторяли. Результаты испытаний приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты лабораторных спеканий железоблиста НТМК со шлаками ВОС и десульфурации

	База	№ опыта				
		1	2	3	4	5
		со шлаком десульфурации	со шлаком десульфурации и шлаком ВОС исходным	со шлаком десульфурации и шлаком ВОС полуразложившимся	со шлаком десульфурации и шлаком ВОС разложившимся	со шлаком десульфурации и смесью шлаков ВОС*
1	2	3	4	5	6	7
Состав шихты, %						
Известняк	4,3	4,1	–	–	–	–
Смесь отходов НТМК	82,0	79,5	77,2	75,9	71,0	75,6
СКШ	4,5	4,4	4,2	4,1	3,9	4,1
шлак ЦУШ	9,2	8,9	8,7	8,5	8,0	8,5
шлак десульфурации (фр. 0–10 мм)	–	3,1	3,0	2,9	2,7	2,9
шлак ВОС (фр. 0–3 мм)	–	–	6,9	8,6	14,3	8,9
Кокс (сверх 100 %)	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Возврат	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
Показатели процесса и качество агломерата						
Высота слоя шихты, мм	250	240	245	250	250	245
Влажность шихты, %	6,5	6,3	6,4	6,3	6,2	6,3

продолжение таблицы 3.10

1	2	3	4	5	6	7
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	13,2	12,3	12,3	13,0	13,9	12,9
Удельная производительность установки, т/м ² ·ч	1,048	1,122	1,088	1,087	1,175	1,112
Выход годного агломерата, %	86,2	86,8	88,5	85,5	86,1	86,7
Содержание фракции –5 мм, %	13,8	13,2	11,5	14,5	13,9	13,3
Прочность, Б ₊₅ мм	67,7	68,0	68,0	69,1	71,2	68,9
Истираемость, Б _{-0,5} мм	4,9	4,5	4,4	4,6	4,1	4,4
Химический состав агломерата, %						
Fe _{общ.}	51,3	51,7	49,0	48,6	48,0	48,2
CaO	11,60	11,74	12,51	13,98	14,33	13,87
SiO ₂	5,68	5,41	5,66	6,72	6,34	6,14
Основность	2,24	2,17	2,21	2,08	2,26	2,26
MgO	2,72	2,88	3,20	2,92	2,96	3,05
Mn	0,47	0,47	0,45	0,44	0,44	0,44
Al ₂ O ₃	2,67	2,73	3,13	3,44	3,47	3,40
V ₂ O ₅	0,57	0,59	0,60	0,57	0,57	0,58
TiO ₂	1,95	1,90	1,90	1,86	1,84	1,85
FeO	19,8	22,3	20,3	20,0	19,1	19,7
* Смесь исходного, полуразложившегося и разложившегося шлаков ВОС в соотношении 1 : 1 : 1						

Исходная крупность шлаков составляла до 100 мм (рис. 3.11–3.14). При подготовке к спеканиям шлак десульфурации [143] измельчался до фр. 0–10 мм, шлаки ВОС – до 0–3 мм.



Рисунок 3.11 – Шлак участка десульфурации



Рисунок 3.12 – Шлак ВОС исходный



Рисунок 3.13 – Шлак ВОС полуразложившийся



Рисунок 3.14 – Шлак ВОС разложившийся

В результате лабораторных спеканий показано следующее:

1. Так как шлак ВОС дробили до фр. 0-3 мм, его структурное состояние не оказало влияние на показатели аглопроцесса. Стабилизированная структура шлака имеет важное значение для осуществления транспортировки этого материала до потребителя.
2. За счет использования шлака ВОС возможно полностью вывести из ших-

ты железоблиуса сырой известняк.

3. Ухудшения механических показателей качества железоблиуса и снижение удельной производительности аглошашин не прогнозируется.

4. При полном замещении сырого известняка в шихте ожидается снижение расхода кокса на спекание на $\geq 5,0$ отн. % [144].

5. Относительно годового расчета шихт прогнозировались следующие изменения химического состава железоблиуса:

- снижение содержания Fe на $-4,5$ абс. %;
- увеличение содержания S на $+0,03$ абс. %;
- снижение содержания TiO_2 на $0,1$ абс. %;
- увеличение содержания Al_2O_3 на $+1,3$ абс. %;
- увеличение содержания MgO на $+0,6$ абс. %.

Привлечение шлака участков ВОС было рекомендовано к промышленным испытаниям [145].

3.7. Выводы к главе 3

Основными компонентами шлака ВОС являются CaO, SiO_2 , Al_2O_3 и MgO. Из вредных примесей в составе шлака ВОС присутствуют S до 0,3 %, P до 0,01 %, Cr_2O_3 до 0,1 % и Zn до 0,01%. При условии оптимальной дозировки шлака приход серы в аглошихту будет находиться на удовлетворительном уровне. Уровень содержания P, Cr_2O_3 и Zn в шлаке ВОС является некритичным для агломерационного передела.

По данным ситового анализа распавшийся шлак ВОС удовлетворяет требованиям аглопроизводства и содержит более 80 % фр. 0-3 мм.

В структуре исследуемого шлака присутствует значительное количество магнитных металлических включений – скрапа разного размера и формы, поэтому перед использованием шлака ВОС в аглопроцессе необходимо организовать его очистку (отмагничивание или грохочение) от крупных металлических включений.

Шлаки УКП содержат значительное количество фаз, обладающих вяжущими свойствами, это майенит $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$, ларнит $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$, алит Ca_3SiO_5 , что является важным технологическим качеством шлака ВОС при проработке направлений его утилизации в условиях АО «ЕВРАЗ НТМК» и, в частности, при агломерации.

Установлено, что шлак ВОС близок по своему составу к известковому вяжущему – гидравлической извести, т. к. содержит значительное количество алюминатов и силикатов кальция.

Шлак ВОС обладает всеми основными физико-химическими свойствами вяжущих веществ, такими как дисперсность, пластичность и способность к твердению.

По результатам испытания на сжатие образцов шихты железоблиста с различными вяжущими получено, что прочность смеси со шлаком ВОС превышает прочность образцов из базовой шихты железоблиста и шихты в смеси с гашеной известью в 3-4 раза. При совместном помоле шихты железоблиста со шлаком ВОС, прочность образцов была выше примерно на 20 %, чем при отдельном помоле.

Расчетным путем установлено, что в зависимости от компонентного состава шихты и требуемой основности агломерата (железоблиста) при использовании шлака ВОС в аглошихте в объеме около 70 кг/т железоблиста возможно полное выведение сырого известняка из аглопроцесса.

На основании серии проведенных лабораторных спеканий было показано, что привлечение шлаков участка ВОС в шихту для производства агломерата (железоблиста) в качестве флюса и связующего вещества возможно и целесообразно.

Привлечение шлаков участка ВОС было рекомендовано к промышленным испытаниям.

ГЛАВА 4. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАФИНИРОВОЧНЫХ ШЛАКОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОАО «ВГОК»

4.1. Опытнo-промышленные испытания по использованию шлака ВОС в шихте железofлюса ОАО «ВГОК»

Как отмечалось ранее, основная технологическая привлекательность шлака ВОС заключается в содержании в нем 45–60 % CaO, что позволяет заменить, по этому химическому соединению, в аглопроизводстве сырой известняк (содержит 54 % CaO). Шлак ВОС содержит подготовленный CaO, в отличие от CaCO₃ в сыром известняке, поэтому не нужно использовать дополнительный кокс (тепло) на разложение CaCO₃. Кроме того, шлак ВОС содержит значительное количество фаз, обладающих вяжущими свойствами, что способствует повышению прочности железofлюса [146, 147].

В связи с этим представляло интерес полностью заменить сырой известняк и привлечь максимальное количество шлака ВОС в аглошихту. Так как флюсующая способность шлака ВОС в аглошихте снижается наличием в нем SiO₂ (10–15 %), то для целей полного замещения известняка в аглошихте понадобилось привлечение какого-либо дополнительного материала АО «ЕВРАЗ НТМК».

В качестве такого материала было предложено использовать в аглошихте шлак «дуплекс»-процесса – стальной конвертерный шлак (СКШ), вывозимый в настоящее время на отвал [148–150].

В соответствии с совместной (АО «ЕВРАЗ НТМК» – ОАО «ВГОК») программой работ (приложение Б) для шлака ВОС была разработана и утверждена нормативно-техническая документация – технические соглашения (приложение Г). Для бухгалтерской отчетности шлаку ВОС был присвоен номенклатурный номер и осуществлены погрузка (рис. 4.1) и поставка материала в Лебяжинский аглоцех ОАО «ВГОК».



Рисунок 4.1 – Погрузка шлага ВОС со шлакового двора конвертерного цеха АО «ЕВРАЗ НТМК» в ж/д транспорт перед отправкой в ОАО «ВГОК»

В Лебяжинском аглоцехе шлак ВОС разгружался и подавался в шихту по цепочке подготовки известняка, дозировка в шихту – в чистом виде. Из четырех поступивших думпкаров был привлечен в производство только один (приложение Д). Причина – наличие крупных металловключений (до 350 мм) в составе шлага, исключающее безаварийную работу молотковой дробилки.

С учетом вышеизложенного опытный режим характеризовался частичной заменой известняка шлаком ВОС и являлся промежуточным этапом (табл. 4.1), т. к. для формирования корректных выводов был необходим повтор опытно-промышленных испытаний с увеличением их продолжительности и полным выведением известняка из аглошихты. При повторных испытаниях требовалось исключить подачу металловключений в молотковую дробилку.

Таблица 4.1 – Результаты промежуточных опытно-промышленных испытаний

Показатели	База без шлака ВОС	Опыт со шлаком ВОС
Состав аглошихты, %		
Шлак ВОС	0	3,3
Известняк	4,3	2,2
Отсев агломерата	3,5	2,8
Смесь отходов ЕВРАЗ НТМК	64,8	59,1
Шлам аглоцефа ВГОК	11,2	12,7
Шлам ЦУШ ЕВРАЗ НТМК	9,5	15,0
ВКШ	6,7	4,9
Показатели процесса		
Высота слоя шихты, мм	300	300
Удельная производительность а/м, т/м ² ·ч	1,112	1,160
Скорость а/лент, м/мин.	1,18	1,22
Прочность агломерата, %		
Прочность, Б ₊₅ мм	6,9	6,9
Истираемость, Б _{-0,5} мм	74,3	74,6
Содержание фракции –5 мм, %	4,4	4,5
Химический состав агломерата, %		
Fe _{общ.}	51,6	53,0
S	0,06	0,03
FeO	13,3	14,0
CaO	13,4	12,7
SiO ₂	5,9	5,7
Осн.	2,27	2,21
MgO	3,33	3,28
TiO ₂	1,70	1,77
Mn	0,39	0,32
V ₂ O ₅	0,61	0,55
Al ₂ O ₃	2,73	2,74
Zn	0,07	0,07

На основании данных промежуточных испытаний было установлено, что ввод в состав аглошихты шлака ВОС положительно влияет на производитель-

ность агломашин и не снижает прочности агломерата, удельная производительность агломашин увеличилась на 4,3 %; B_{+5} мм увеличение на 0,3 абс. %, показатели $B_{-0,5}$ мм и содержание фракции -5 мм остались на прежнем уровне. Также при привлечении шлака ВОС прогнозировалось снижение расхода коксовой мелочи на уровне 10 %.

Для проведения повторных испытаний (приложение Е) потребовалось организовать очистку шлака ВОС от крупных металловключений на шлакоразделке конвертерного цеха путем погрузки его в ж/д вагоны через решетку 100×100 мм.

В связи с неудовлетворительной очисткой шлака ВОС от металловключений его использование в шихте железоблюса через закрытый тракт подачи известняка было недопустимым. На основании этого было решено подавать шлак ВОС в шихту железоблюса в виде смеси со сталеплавильными шлаками дуплекс- и монопроцесса (стальной конвертерный шлак – СКШ, ванадийсодержащий конвертерный шлак – ВКШ), которые дробятся щековой дробилкой. Таким образом, шлак ВОС привлекался в шихту железоблюса 7 и 20 декабря 2018 года. Химический состав шлака приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Химический состав шлака ВОС, %

Дата испытаний	H ₂ O	Fe _{общ.}	CaO	SiO ₂	MgO	ппп	FeO	S
06.12.2018	1,2	13,9	46,08	14,63	7,22	2,47	7,4	0,184
19.12.2018	0,7	13,8	45,10	13,50	н/д	н/д	н/д	0,30

Смесь формировалась путем совместного дробления данных компонентов в соотношении 5 : 1 (7 декабря) и 5 : 2 (20 декабря) с целью снижения нагрузки на дробильное оборудование и минимизации пылеобразования на участке. Смесь шлаков привлекалась в состав шихты с условием полного замещения известняка, без изменения основности железоблюса. Химический состав смеси шлаков приведен в таблице 4.3.

В таблице 4.4 приведены заключительные результаты испытаний. В качестве базовых показателей были выбраны усредненные данные работы аглоцеха при производстве партий железоблюса № 559 и № 587. Показатели производства пар-

тий железоблюса №№ 560, 561 и 588 с привлечением шлака ВОС усреднены в опыт. Всего в опытный период было произведено 3132,4 т железоблюса.

Таблица 4.3 – Химический состав смеси ВКШ/СКШ+ВОС 5:1, 5:2, %

Дата, соотношение смеси	Fe _{общ.}	S	CaO	SiO ₂	MgO	ппп	FeO
07.12.2018, 5 : 1	26,5	0,21	31,1	9,9	9,7	1,52	18,3
20.12.2018, 5 : 2	27,0	0,12	31,7	8,8	10,54	н/д	н/д

Таблица 4.4 – Заключительные результаты опытно-промышленных испытаний

Показатели	База ср. п. №№ 559, 587	Опыт ср. п. №№ 560, 561, 588
	Без шлака ВОС	Со шлаком ВОС
1	2	3
Состав аглошихты, %		
Шлак ВОС	–	6,5
Известняк	2,7	–
Смесь отходов НТМК	68,4	56,1
ВКШ/СКШ	7,1	21,6
Шлам ЦУШ + Металлопродукт ТМ	21,9	15,9
Кокс (сверх. 100 %)	1,0	0,7
Показатели процесса		
Высота слоя шихты, мм	300	300
Удельная производительность а/м, т/м ² · ч	1,000	1,063
Скорость а/лент, м/мин.	1,23	1,29
Прочность агломерата, %		
Прочность, Б ₊₅ мм	74,3	74,7
Истираемость, Б _{-0,5} мм	4,4	4,6
Содержание фракции –5 мм, %	6,9	7,0
Химсостав агломерата, %		
Fe _{общ.}	53,9	51,2

1	2	3
S	0,03	0,04
FeO	11,70	9,95
CaO	12,20	14,81
SiO ₂	5,01	6,05
Осн.	2,44	2,45
MgO	3,45	5,05
TiO ₂	1,86	1,83
Mn	0,44	0,60
V ₂ O ₅	0,54	0,76
Al ₂ O ₃	2,58	2,61
Zn	0,086	0,076

При использовании в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с ВКШ/СКШ были получены следующие результаты:

- из аглошихты полностью выведен сырой известняк;
- снижение расхода кокса составило 7,5 кг/т железоблюса;
- повышение содержания V₂O₅ в железоблюсе на 0,22 абс. %;
- удельная производительность агломашин увеличилась на 6,3 %;
- показатель прочности Б +5 мм увеличился на 0,4 абс. %;
- показатели Б_{-0,5} мм и содержание фр. –5 мм остались на прежнем уровне;
- снижение в железоблюсе содержания железа на 2,7 абс. %.

4.2. Использование опытного железоблюса со шлаком ВОС

в шихте доменных печей

При поступлении и разгрузке материала в доменном цехе (приложение Ж) по визуальной оценке опытный железоблюс отличался от обычного равномерностью гранулометрического состава (рис. 4.2).

В связи с повышенным модулем основности у железоблюса (до 3,0 ед.)

в отличие от других агломератов, используемых в России и за рубежом, при длительном, более 10 дней, хранении на складе обычный желефлюс с известью претерпевает распад – разрушается по известковым включениям.



Рисунок 4.2 – Опытный железофлюс в бункере доменной печи № 5

В связи с этим образцы опытного железофлюса со шлаком ВОС были отобраны для оценки срока его хранения и подлежали наблюдению в течение одного месяца (рис. 4.3). Опытный железофлюс оставался без изменений и не разрушался по известковым составляющим.

Как отмечено выше, шлак ВОС подготавливался и подавался в шихту железофлюса в смеси с конвертерными шлаками, а так как ВКШ и СКШ содержат до 3,0 % V_2O_5 , это позволило привлечь в агло-доменный процесс дополнительный ванадий в объеме более 100 т в месяц, что при переработке в конвертерном цехе и получении товарного ванадия, с учетом его потерь на указанных металлургических переделах, будет приносить дополнительную прибыль компании ООО «ЕвразХолдинг». Цена товарного ванадия в зависимости от колебаний рынка начинается от 300 тыс. руб. за 1 т, а в конце 2018 г. превышала 1 млн. руб. за 1 т (приложение И).

В силу того, что одной из целей работы ставилось определение возможности

производства агломерата с привлечением в аглошихту шлака ВОС, периоды производства опытного железоблюса и, соответственно, его использования в шихте доменных печей были крайне непродолжительны.



Рисунок 4.3 – Образцы железоблюса со шлаком ВОС, пролежавшие 1 месяц

Сравнительные данные технико-экономических показателей работы доменных печей в базовый и опытные периоды приведены в таблице 4.5.

В шихте доменных печей опытный железоблюс использовался в течение коротких периодов (от 8 до 30 ч). Кроме опытных паспортов, в доменной шихте в течение опытных периодов использовался базовый железоблюс.

Стабильных изменений химического состава чугуна и шлака, связанных с использованием опытного железоблюса, не выявлено.

Учитывая короткий срок опытных периодов и незначительную долю опытного железоблюса в шихте, оценить влияние его использования на технико-экономические показатели работы [151–152] доменных печей при длительном использовании не представилось возможным.

Таблица 4.5 – Технико-экономические показатели работы доменных печей при использовании опытного железоблюса

Показатели	ДП5			ДП7		
	01–09. 12.2018	10–11. 12.2018	24.12. 2018	01–09. 12.2018	10–11. 12.2018	24.12. 2018
	база	опыт	опыт	база	опыт	опыт
№ опытного паспорта ЖФ		560, 561	588		560	588
1	2	3	4	5	6	7
Производство факт, т	6405,1	6627,1	3745,5	7254,8	7226,4	7110,4
Кокс всего факт, кг/т	392	385,9	411,6	333,8	334	331,4
ПУТ факт, кг/т	0	0	0	68	66,6	68,6
ПГ факт, м ³ /т	121,4	122,3	122,3	104,5	104,8	106,3
Содержание Fe в шихте, %	57,7	57,5	58,0	57,6	57,5	58,0
Химический состав чугуна, %:						
Mn	0,374	0,345	0,39	0,359	0,335	0,38
V	0,471	0,485	0,477	0,478	0,475	0,507
Si	0,083	0,077	0,102	0,079	0,082	0,09
S	0,024	0,025	0,023	0,025	0,024	0,025
Ti	0,155	0,146	0,198	0,15	0,160	0,178
Cr	0,106	0,101	0,116	0,103	0,096	0,121
P	0,046	0,050	0,048	0,044	0,046	0,049
Химический состав шлака, %:						
SiO ₂	27,23	27,19	27,11	27,21	27,11	27,33
Al ₂ O ₃	14,89	14,96	15,48	14,86	14,90	15,53
CaO	33,27	33,11	32,98	33,57	33,56	33,00
TiO ₂	10,46	10,60	10,63	10,56	10,49	10,69
V ₂ O ₅	0,24	0,25	0,26	0,23	0,23	0,20
MnO	0,55	0,56	0,53	0,57	0,53	0,53
MgO	13,98	13,90	13,63	13,99	13,94	13,74
FeO	0,52	0,61	0,74	0,46	0,49	0,66
S	0,66	0,65	0,68	0,66	0,66	0,68

продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7
Основность	1,22	1,22	1,22	1,23	1,24	1,21
Полная основность	1,74	1,73	1,72	1,75	1,75	1,71
Давление горячего дутья, атм.	3,33	3,36	3,37	3,7	3,71	3,7
Расход дутья, м ³ /мин	4135	4118	4023	4405	4393	4364
Температура горячего дутья, С	1229	1248	1180	1210	1208	1211
Давление под колошником, атм.	1,89	1,89	2,03	2,19	2,19	2,19
Содержание кислорода в дутье, %	27,5	28	27,1	30,5	30,5	30,3
Агломерат КГОК, %	39,6	38,9	38,7	40,7	40,5	39,7
Окатыши КГОК, %	51,1	49,9	50,0	50,5	49,6	50,3
Железофлюс ванадийсодержащий, %	9,3	11,2	11,4	8,8	10	10

4.3. Оценка технологической и производственной возможности привлечения в аглошихту железофлюса шлака внепечной обработки стали (ВОС) и сталеплавильного шлака «дуплекс»-процесса (СКШ)

Из-за ограниченных возможностей шлакоразделок конвертерного цеха по фракционированию и отгрузке требуемых объемов СКШ и ВОС было предложено и согласовано с ОАО «ВГОК» организовать переработку материалов по нескольким вариантам:

1. Подготовка (отмагничивание крупного скрапа), погрузка в думпкары и отправка шлака ВОС в ОАО «ВГОК» со шлакового двора № 2 конвертерного цеха (без фракционирования).

2. Подготовка СКШ (отмагничивание крупного скрапа) и отгрузка на «ВГОК» со шлакового двора № 2 конвертерного цеха (без фракционирования). Дальнейшую сортировку с фракционированием и удалением скрапа из СКШ и ВОС перед использованием в аглошихту подразумевалось производить в ОАО «ВГОК».

3. Подготовка СКШ на шлаковом дворе № 3 конвертерного цеха (фракционирование путем погрузки в полувагоны через решетку 100×100 мм) и отправка на «ВГОК».

4. Подготовка СКШ на шлаковом дворе № 3 конвертерного цеха (фракционирование путем погрузки в полувагоны через решетку 200×200 мм) и отправка на ВГОК.

Дополнительно было предложено осуществлять подготовку СКШ и ВОС перед отправкой на «ВГОК» на дробильно-сортировочной установке (ДСУ) участка переработки отвальных шлаков (УПОШ ДЦ) с получением фракции 0-100 мм.

Далее для корректного учета материалов была разработана нормативно-техническая документация, по которой шлак ВОС и СКШ могут поставляться на «ВГОК» с различной крупностью зерен: шлак ВОС (СКШ) нефракционированный; шлак ВОС (СКШ) фракции 0–100 мм и шлак ВОС (СКШ) фракции 0-200 мм.

Приемка и переработка шлака ВОС и СКШ в ОАО «ВГОК» осуществлялась на дробильно-обогащительном участке (ДОУ) с получением полупродукта для агломерации фр. 0-10мм → шлаковой смеси → и выделением магнитного скрапа мелкой и крупной фракции.

На этом участке образовалась основная проблема при выполнении ОПР, связанная с неудовлетворительным фракционным составом поступающего материала и наличием в нем крупных металловключений [153–155]. Поступающая на ВГОК шлаковая смесь из нефракционированных шлаков имела в своем составе значительное количество крупных кусков шлака фракции более 500 мм и крупный скрап (рис. 4.4 и 4.5), переработка которых на ДОУ недопустима из-за риска поломки дробильно-сортировочного оборудования.

Для продолжения работы крупные куски шлаковой смеси, которые не проходили через приемную решетку ДОУ, при помощи ручных инструментов (лом, лопата) или магнитной шайбы перемещали на площадку, расположенную в стороне от ДОУ, чтобы не останавливать процесс переработки следующей партии шлаков (рис. 4.6).



Рисунок 4.4 – Нефракционированный шлак ВОС в думпкарах



Рисунок 4.5 – Выгрузка нефракционированного СКШ в приемный бункер ДОУ ОАО «ВГОК»



Рисунок 4.6 – Куски шлака фракции более 500 мм и крупный скрап

Несмотря на максимальный отбор крупного скрапа с приемной решетки бункеров ДОУ, после крупного дробления на щековой дробилке на цепочку дод-раблевания конусной дробилкой попадало значительное количество скрапа, на которой происходило его закусывание (расплющивание) в дробящей зоне.

Для подачи СКШ (ВОС) в дальнейший технологический процесс производства железобетона технологический персонал вручную снимал скрап с ленты и откидывал его из окон транспортной галереи на открытую площадку (рис. 4.7).

Таким образом, опыт переработки негабаритной шлаковой смеси в аглопро-изводстве «ВГОК» оказался отрицательным. Для дальнейшей работы по данному направлению требуется более тщательная проработка мероприятий в ОАО «ВГОК», например, организация предварительной сортировки шлаков через решетку 100×100 мм перед подачей на ДОУ.



Рисунок 4.7 – скрап, извлеченный с транспортера после конусной дробилки

Шлаки фракции 0-200 мм так же, как и шлаки нефракционированные, имеют в своем составе значительное количество крупного скрапа, и их переработка на ДОУ ВГОК приводит к последствиям, отраженным выше.

Прием и переработка шлаков фр. 0-100 мм на ДОУ ОАО «ВГОК» является оптимальным вариантом. Фракционированный на шлаковом дворе № 3 конвертерного цеха СКШ путем погрузки в полувагоны через решетку 100×100 мм не имеет

в своем составе крупного скрапа, не нарушает обычный процесс дробления и сортировки материалов на ДОУ. Более того, в шихте железоблюса ОАО «ВГОК» с 2012 г. эффективно используется ванадийсодержащий конвертерный шлак (ВКШ) фр. 0–100 мм, схожий по своим физико-химическим характеристикам с СКШ. Однако ограниченные возможности шлакоразделок конвертерного цеха по производству и отгрузке СКШ + ВКШ фр. 0-100 мм в объеме до 3000 т/мес. не позволяют эффективно (в объеме до 7000 т/мес.) использовать эти шлаки в шихте железоблюса.

В настоящее время на ДСУ УПОШ ДЦ в опытном порядке перерабатывается (дробится, отмагничивается, сортируется) и отправляется на ОАО «ВГОК»

для производства железобитума СКШ фр. 0-100 мм, который не имеет в своем составе ни мелкого, ни крупного скрапа и, соответственно, более эффективно перерабатывается на ДООУ ОАО «ВГОК» и в дальнейших технологических переделах производства железобитума.

Фактическое использование СКШ и битума ВОС в шихте железобитума в 2020 г. по сравнению с 1 п/г 2019 г. отражено в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Объемы использования СКШ и битума ВОС в 2019–2020 гг.

Период	Фактический расход СКШ, т.			Фактический расход ВОС, т.		
	2019	1 п/г 2020	Δ	2019	1 п/г 2020	Δ
Январь	1 748,1	2919,3	1 171,2	0	566,2	566,2
Февраль	1 292,3	2146,6	854,3	0	153,7	153,7
Март	2 587,4	715,9	-1 871,5	0	152,7	152,7
Апрель	739,4	2893,6	2 154,2	0	390,6	390,6
Май	2 010,8	2436,8	426,0	0	0,0	0,0
Июнь	0	2961,8	2 961,8	0	146,4	146,4
Июль	366,2			0		
Август	2 265,6			0		
Сентябрь	2 447,4			0		
Октябрь	2 608,1			219,9		
Ноябрь	2 295,5			0		
Декабрь	1 556,8			0		
Факт ср. мес.	1 659,8	2 345,7	685,9	18,3	234,9	216,59
План ср. мес.		5 608,8			3 448,3	

Из данных, приведенных в таблице 4.6, видно, что существующие схемы переработки шлаков ВОС и СКШ не позволяют в требуемых объемах использовать их в шихте железобитума. Из-за специфичности гранулометрического состава битума ВОС его переработка в большей мере вызывает затруднения. Из планируемого расхода в аглошихту 3 448,3 т/мес. фактический расход составил 234,9 т/мес.

4.4. Оптимальная схема утилизации шлака внепечной обработки стали

На рисунке 4.8 представлены существующие (при отгрузке на отвал и на ОАО «ВГОК») схемы переработки шлаков ВОС и оптимальная, при которой требуется введение химических добавок на стадии внепечной обработки стали со стабилизацией структуры шлака ВОС.

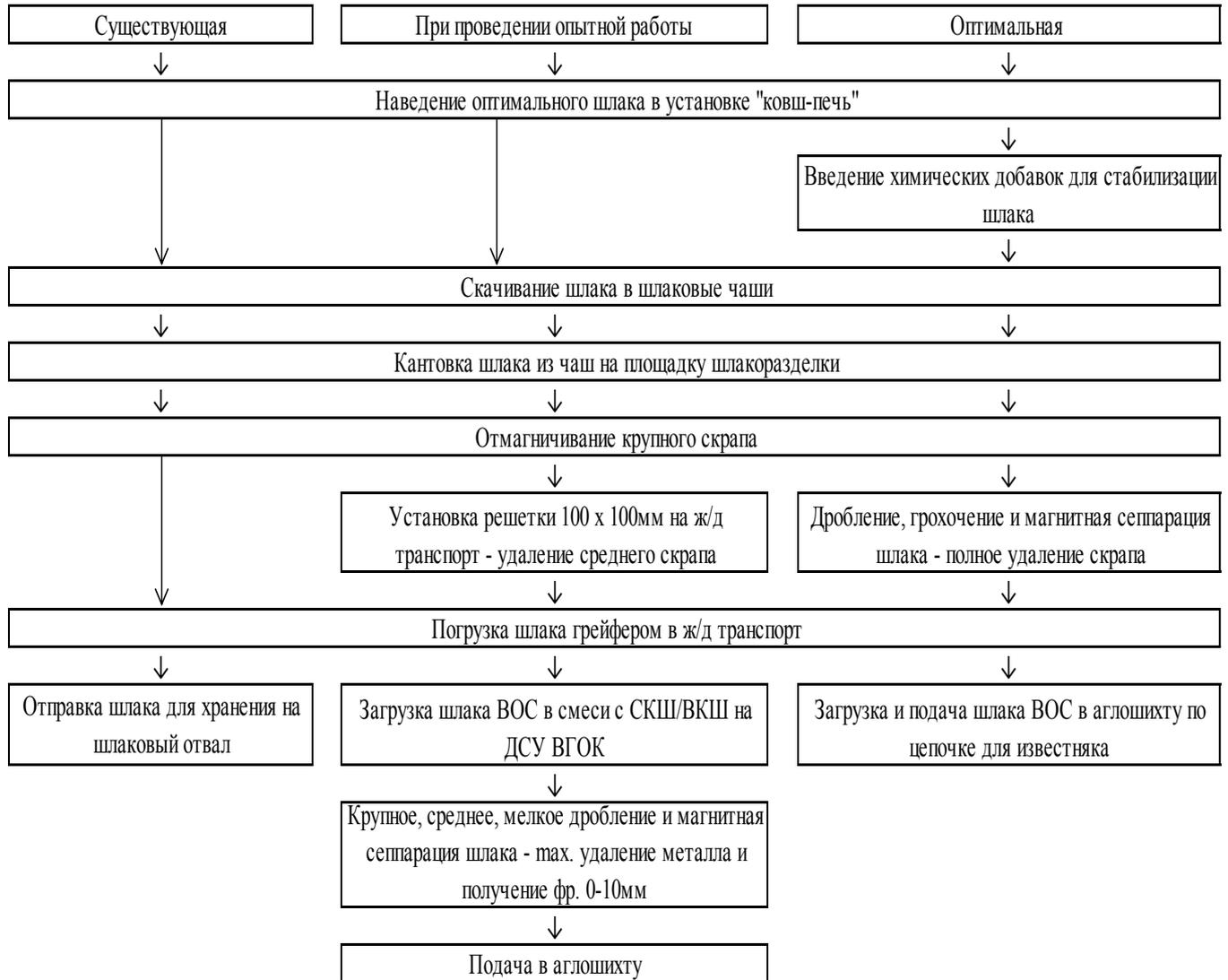


Рисунок 4.8 – Схемы переработки шлака ВОС

В предлагаемом (наиболее рациональном) варианте переработки шлака ВОС требуется модернизация шлакового двора конвертерного цеха со строительством дробильно-сортировочного участка [156–158]. В настоящее время в АО «ЕВРАЗ НТМК» ведется проработка данного направления. Благодаря этому шлаки, отправляемые на ОАО «ВГОК» для использования в аглошиту, будут полностью очищены от металловключений. Транспортировка шлака ВОС со стабилизиро-

ванной структурой будет существенно облегчена, и его переработка может происходить по цепочке дробления сырого известняка.

4.5. Выбросы загрязняющих веществ при новой технологии производства железоблеса

Новая технология при использовании в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с конвертерными шлаками «дуплекс» процесса и «моно» процесса позволит значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. За счет снижения объемов складирования мелкодисперсного материала на отвалах снизится аэрация шлака ВОС, загрязнение почвы и воды [153, 154]. За счет вяжущих свойств шлака ВОС при агломерации снизятся выбросы взвешенных частиц на участках аглоцеха.

Показатели загрязнения в ОАО «ВГОК» без использования и с использованием шлака ВОС в аглошихте представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Показатели замеров загрязняющих веществ в ОАО «ВГОК»

Наименование показателя загрязнения и место проведения измерения	Производство железоблеса из базовой шихты		Железоблес с использованием шлака ВОС в шихте	Δ	ПДВ (г/м ³) или ПДК (мг/м ³)
1	2		3	4	5
Взвешенные вещества, в том числе дижелезо триоксид, железо оксид (в пересчете на железо), в зоне спекания а/машины	0,189 г/м ³		0,164 г/м ³	-0,025	0,197 г/м ³
Пыль (взвешенные вещества), в том числе аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли 2–10 %)	в шихтовой зоне	16,3 мг/м ³	18,2 мг/м ³	1,9	4 мг/м ³
	в зоне спекания	11,5 мг/м ³	9,1 мг/м ³	-2,4	
	в зоне эксгаустеров	9,9 мг/м ³	8,3 мг/м ³	-1,6	

продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5
Диванадий пентаоксид, ванадий оксид в зоне спекания а/машины	0,37 мг/м ³	0,38 мг/м ³	0,01	0,5 мг/м ³
Углерод оксид (угарный газ, углерода окись) в зоне спекания а/машины	5,8 мг/м ³	4,5 мг/м ³	-1,3	20 мг/м ³
Азота оксиды (в пересчете на NO ₂) в зоне спекания а/машины	1,9 мг/м ³	2,1 мг/м ³	0,2	5 мг/м ³
Сера диоксид (сернистый ангидрид, сернистый газ) в зоне спекания а/машины	5,3 мг/м ³	5,4 мг/м ³	0,1	10 мг/м ³

Из данных, представленных в таблице 4.7, видно, что в зоне спекания агломашины при использовании в шихте шлака ВОС взвешенные вещества, в том числе дижелезо триоксид, железо оксид (в пересчете на железо) снижены на 0,025 г/м³, снижена пыль (взвешенные вещества), в том числе аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли 2-10 %), на 2,4 мг/м³, а в зоне эксгаустеров этот показатель снижен на 1,6 мг/м³. Снижен уровень углерода оксида (угарный газ, углерода окись) в зоне спекания а/машины на 1,3 мг/м³.

Негативным фактором является то, что за счет повышенного пылеобразования шлака ВОС на участке подготовки шихты (шихтовая зона) повышена концентрация пыли (взвешенные вещества), в том числе аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли 2-10 %) на 1,9 мг/м³.

Остальные показатели, такие как ванадий оксиды, азота оксиды, сера диоксид (сернистый ангидрид, сернистый газ), изменились незначительно.

Ввиду физической изношенности оборудования и систем аспирации аглоцеха во всех зонах наблюдается значительное превышение ПДК по пыли (взвешенные вещества), в том числе аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли 2-10 %). При ПДК не более

4 мг/м³ фактические замеры достигают 18 мг/м³, но это происходит как при базовой, так и опытной технологии.

4.6. Выводы к главе 4

1. В процессе агломерации при использовании в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с ВКШ/СКШ были получены следующие результаты:

- из аглошихты был полностью выведен сырой известняк;
- снижение расхода кокса составило 7,5 кг/т железоблюса;
- повышение содержания V₂O₅ в железоблюсе на 0,22 абс. %;
- удельная производительность агломашин увеличилась на 6,3 %;
- показатель прочности B₊₅ мм – увеличение на 0,3 абс. %;
- показатели B_{-0,5} мм и содержание фр. –5 мм остались на прежнем уровне;
- снижено содержание железа в железоблюсе на 2,7 абс. % (негативный фактор).

2. При поступлении в доменный цех опытный железоблюс отличался от обычного равномерностью гранулометрического состава, а также более длительным (более одного месяца) сроком хранения.

3. Шлак ВОС подготавливался и подавался в шихту железоблюса в смеси с конвертерными шлаками, а так как ВКШ и СКШ содержат до 3,0 % V₂O₅, это позволило привлечь в аглодоменный процесс дополнительный ванадий в объеме более 100 т в месяц, что при переработке в конвертерном цехе и получении товарного ванадия, с учетом его потерь на указанных металлургических переделах, будет приносить дополнительную прибыль компании ООО «ЕвразХолдинг». Цена товарного ванадия в зависимости от колебаний рынка начинается от 300 тыс. руб. за 1 т, а в конце 2018 г. превышала 1 млн. руб. за 1 т.

4. Стабильных изменений химического состава чугуна и шлака, связанных с использованием опытного железоблюса, не выявлено.

5. Существующие схемы переработки шлаков ВОС и СКШ не позволяют в требуемых объемах использовать их в шихте железоблюса. Из-за специфичности гранулометрического состава шлака ВОС его переработка в большей мере вы-

зывает затруднения. Поэтому наиболее рациональной схемой переработки шлаков ВОС является введение химических добавок на стадии внепечной обработки стали со стабилизацией структуры шлака. Для этого требуется модернизация шлакового двора конвертерного цеха со строительством дробильно-сортировочного участка. Транспортировка до потребителя шлака ВОС со стабилизированной структурой будет существенно облегчена, и его переработка может происходить по цепочке дробления сырого известняка.

6. Новая технология при использовании в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с конвертерными шлаками «дуплекс» процесса и «моно» процесса позволит значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. За счет снижения объемов складирования мелкодисперсного материала на отвалах снизится аэрация шлака ВОС, загрязнение почвы и воды.

7. За счет вяжущих свойств шлака ВОС при агломерации снизятся выбросы взвешенных частиц на участках аглоцеха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ литературных источников по вопросу переработки шлаков металлургического производства. Показано, что большинство металлургических шлаков перерабатывается в попутную продукцию или утилизируется в металлургических агрегатах после специальной подготовки. Исключения составляют шлаки ВОС. В настоящей работе рассмотрена утилизация шлака ВОС при производстве агломерата в качестве флюса, не требующего подготовки. Шлак ВОС может рассматриваться как недорогой и недефицитный заменитель извести в аглопроцессе, который по данным ситового анализа удовлетворяет требованиям аглопроизводства и содержит более 80 % фр. 0-3 мм.

2. Проведен петрографический анализ образцов шлака с УКП. Определено, что они содержат значительное количество фаз, обладающих вяжущими свойствами: это майенит $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$, ларнит $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$, алит Ca_3SiO_5 , что значительно повысит эффективность аглопроцесса при использовании шлака. Кроме того, установлено, что шлак ВОС близок по своему составу к известковому вяжущему – гидравлической извести, т.к. содержит значительное количество алюминатов и силикатов кальция.

3. Проведены испытания на сжатие образцов шихты железофлюса с различными вяжущими, при которых получено, что прочность смеси со шлаком ВОС превышает прочность образцов из шихты в смеси с гашеной известью в 3-4 раза. Расчетным путем установлено, что в зависимости от компонентного состава шихты и требуемой основности агломерата (железофлюса) при использовании шлака ВОС в аглошихте в объеме около 70 кг/т железофлюса возможно полное выведение сырого известняка из аглопроцесса.

4. В процессе агломерации, при использовании в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с ВКШ/СКШ были получены следующие результаты:

- из аглошихты был полностью выведен сырой известняк;
- снижение расхода кокса составило 7,5 кг/т железофлюса;
- повышение содержания V_2O_5 в железофлюсе на 0,22 абс. %;

- удельная производительность агломашин увеличилась на 6,3 %;
- показатель прочности B_{+5} мм увеличился на 0,3 абс. %;
- показатели $B_{-0,5}$ мм и содержание фр. –5 мм остались на прежнем уровне.

5. Разработанная технология использования в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с ВКШ/СКШ позволит значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. За счет снижения объемов складирования на отвалах снизится аэрация шлака ВОС, загрязнение почвы и воды. Ожидаемый экономический эффект от внедрения данного мероприятия в аглодоменный передел составит 143,517 млн. руб. в год.

6. По результатам диссертационного исследования получен патент РФ (приложение К).

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования состоят из внедрения мероприятий по стабилизации структуры шлака ВОС путем введения химических добавок на стадии внепечной обработки стали, переработки шлака с полным удалением металлических включений, разработки и внедрения технологии агломерации и производства окатышей с использованием стабилизированного шлака ВОС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дильдин, А. Н. Комплексное использование отходов сталеплавильного производства / А. Н. Дильдин, В. И. Чуманов, И. В. Чуманов // *Металлург.* – 2010. – № 11. – С. 42–44.
2. Дробный, О. Ф. Реализация принципов рационального природопользования в производственной деятельности ОАО «ММК» / О. Ф. Дробный, И. С. Бурмистров, В. Д. Черчинцев // *Сталь.* – 2012. – № 2. – С. 147–149.
3. Крикунов, Б. П. Пути утилизации отходов и сокращение затрат в металлургическом производстве / Б. П. Крикунов, Д. В. Колесников, А. И. Дрейко // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2011. – № 4. – С. 128–131.
4. Носов, С. К. Комплексная технология переработки конвертерных ванадийсодержащих шлаков с извлечением ванадия и марганца / С. К. Носов, В. Г. Мизин, Т. П. Сирина // *Сталь.* – 2005. – № 8. – С. 51–55.
5. Опыт переработки металлургических шлаков в ОАО «ММК» / В. И. Гладских, А. В. Бочкарев, Н. В. Сукинова [и др.] // *Сталь.* – 2012. – № 2. – С. 152–154.
6. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М. И. Панфилов, Я. Ш. Школьник, Н. В. Орининский [и др.]. – Москва : Металлургия, 1987. – 238 с.
7. Повышение ценности сталеплавильных шлаков и пыли // *Новости черной металлургии за рубежом.* – 2017. – № 5. – С. 49–52.
8. Повышение эффективности сталеплавильного производства доизвлечением ценных компонентов из утилизируемых шлаков / А. А. Юсупходжаев, Х. Р. Валиев, С. Р. Худояров, С. Т. Маткаримов // *Черные металлы.* – 2015. – № 1. – С. 19–22.
9. Попель, С. И. Теория металлургических процессов : [учеб. пособие для металлург. спец. вузов] / С. И. Попель, А. И. Сотников, В. Н. Бороненков. – Москва : Металлургия, 1986. – 463 с.

10. Современные способы безотходной утилизации сталеплавильных шлаков / Ю. А. Гудим, А. А. Голубев, С. Г. Овчинников, И. Ю. Зинуров // *Сталь*. – 2009. – № 7. – С. 93–95.
11. Технология глубокой переработки и многоцелевого использования сталеплавильного шлака // *Новости черной металлургии за рубежом*. – 2013. – № 2. – С. 85–89.
12. Утилизация и оборотное использование доменных и сталеплавильных шлаков // *Новости черной металлургии за рубежом*. – 2005. – № 6. – С. 81–86.
13. Шамари, У. Экономический аспект: защита окружающей среды и ресурсов благодаря шлакам черной металлургии / У. Шамари // *Черные металлы*. – 2015. – № 7. – С. 54–56.
14. Экологически чистые технологические процессы и оборудование для переработки металлургических шлаков / Ю. В. Сорокин, Я. Ш. Школьник, В. А. Коломиец, Б. Л. Демин // *Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке (Москва, июнь 6–10, 1994)*. [В 5 томах]. Т. 1. – Москва : Металлургия, 1994. – С. 273–276.
15. Конвертерный передел ванадиевого чугуна / Л. А. Смирнов, Ю. А. Дерябин, С. К. Носов [и др.]. – Екатеринбург : Сред.-Урал. кн. изд-во. – 2000. – 528 с. – ISBN 5-7529-0025-5.
16. Смирнов, Л. А. Современное состояние и перспективы переработки титаномагнетитового ванадийсодержащего сырья в России / Л. А. Смирнов, А. В. Кушнарев // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. – 2013. – № 5. – С. 3–20.
17. Третьяк, А. А. Доменное производство России в 2011–2016 годы в свете вызовов XXI века / А. А. Третьяк // *Металлургия чугуна – вызовы XXI века. VIII Международный конгресс доменщиков*. – Москва : Кодекс. 2017. – С. 21–34.
18. Кушнарев, А. В. Нижнетагильскому металлургическому комбинату – 75 лет / А. В. Кушнарев // *Сталь*. – 2015. – № 5. – С. 12–15.
19. Smelting low-silica hot metal at OAO NTMK / S. V. Filatov, A. A. Kirichkov, V. A. Mikhalev [et al.] // *Steel in Translation*. – 2010. – Vol. 40, № 5. – P. 443–

445.

20. System improvement of vanadium hot metal process at EVRAZ NTMK / A. V. Kushnarev, V. V. Filippov, V. A. Mikhalev, B. S. Tleugabulov // CIS Iron and Steel Review. – 2017. – Vol. 13. – P. 13–17.

21. Technological solutions for intensive production of low silicon hot metal in blast furnace processing vanadium containing titania-magnetite / S. A. Zagainov, S. V. Filatov, O. N. Sobianina, Y. M. Gordon // 6th International Congress on Science and Technology of Ironmaking 2012 (ICSTI): including proceedings from the 42nd Ironmaking and Raw Materials Seminar, and the 13th Brazilian Symposium on Iron Ore; Rio de Janeiro, Brazil, 14–18 October 2012. Vol. 2. – Red Hook : Curran, 2013. – P. 1406–1415.

22. Патент № 2712792 Российская Федерация, МПК C21В 5/02 (2006.01), C22С 37/00 (2006.01). Шихта для производства ванадиевого чугуна : № 2019113067 : заявл. 29.04.2019 : опубл. 31.01.2020 / Темников В. В., Калимулина Е. Г., Миронов К. В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат. – 6 с.

23. Стабилизация шлаков внепечной обработки стали от силикатного распада / И. В. Кушнерев, М. Б. Оржех, Б. Б. Либанов [и др.] // Новые огнеупоры. – 2018. – № 4. – С. 44.

24. Технологические приемы переработки шлаков в жидком состоянии / Л. А. Смирнов, Ю. В. Сорокин, Б. Л. Демин, А. А. Мясник // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2008. – № 7. – С. 47–51.

25. Разработка технологии доменной плавки титаномагнетитов с использованием железоблюса / С. А. Загайнов, Б. С. Тлеугабулов, С. В. Филатов [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2010. – № 4. – С. 13–19.

26. Темников, В. В. Удаление цинка из доменного сырья при агломерации, сконцентрированного в металлургических пылях и шлаках ОАО «НТМК» / В. В. Темников // Труды XXXV международной научно-технической конферен-

ции молодых специалистов ОАО «НТМК». – 2003. – С. 15.

27. Темников, В. В. Метод удаления щелочей из пространства доменной печи / В. В. Темников // Труды XXXIII международной научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «НТМК». – 2001. – С. 24.

28. Дильдин, А. Н. Утилизация шлаков сталеплавильного производства / А. Н. Дильдин, В. И. Чуманов, Т. А. Бендера // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2007. – № 13. – С. 15–16.

29. Лейба, С. П. О кристаллохимической стабилизации расплавов распадающихся доменных шлаков / С. П. Лейба // Metallургические шлаки и применение их в строительстве / С. П. Лейба. – Москва : Госстройиздат, 1962. – С. 134–146.

30. Новые конструкции установок барабанного типа для переработки шлакового расплава / Б. Л. Демин, Л. А. Смирнов, Ю. В. Сорокин [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2014. – № 8. – С. 72–80.

31. Новые процессы и агрегаты для переработки шлаковых расплавов / Ю. В. Сорокин, Я. Ш. Школьник, Б. Л. Демин, А. А. Мясник // Сталь. – 2000. – № 11. – С. 106–109.

32. Опробование технологии кристаллохимической стабилизации самораспадающихся сталеплавильных шлаков / Б. Л. Демин, Ю. В. Сорокин, Р. Я. Шарафутдинов [и др.] // Сталь. – 2014. – № 6. – С. 102–105.

33. Охлаждение и кристаллизация шлакового расплава в межшаровом пространстве / А. Г. Шакуров, Я. Ш. Школьник, В. М. Паршин [и др.] // Сталь. – 2012. – № 5. – С. 19–22.

34. Патент № 2018494 Российская Федерация, МПК С04В 5/02 (2006.01). Способ переработки шлака и установка для его осуществления : № 5045809/33 : заявл. 20.04.1992 : опубл. 30.08.1994 / Школьник Я. Ш., Демин Б. Л., Сорокин Ю. В. [и др.]. – 13 с. : ил.

35. Переработка шлаков ЭСПЦ в опытной установке барабанного типа с шаровой насадкой / Ю. В. Сорокин, Б. Л. Демин, Л. А. Смирнов [и др.] // Сталь.

– 2012. – № 3. – С. 70–73.

36. Перспективы применения установок барабанного типа для переработки металлургических шлаков / Б. Л. Демин, Ю. В. Сорокин, Е. Н. Щербаков [и др.] // Научно-технический прогресс в черной металлургии. Материалы II Международной научно-технической конференции (7–9 октября 2015 г.). – Череповец : Череповец. гос. ун-т, 2015. – С. 39–41.

37. Сорокин, Ю. В. Свойства и направления использования сталеплавильных шлаков / Ю. В. Сорокин, Б. Л. Демин, Л. А. Смирнов [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2014. – № 7. – С. 75–79.

38. Сорокин, Ю. В. Эффективность рециклинга шлаков от установок ковшепечь в электропечах / Ю. В. Сорокин, Б. Л. Демин, Е. Н. Щербаков // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2017. – № 10. – С. 94–96.

39. Технические решения по переработке самораспадающихся шлаков / Б. Л. Демин, Ю. В. Сорокин, Е. Н. Щербаков [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2012. – № 12. – С. 63–71.

40. Технология и оборудование для переработки и стабилизации жидких сталеплавильных шлаков / А. Г. Шакуров, Я. Ш. Школьник, В. В. Журавлев [и др.] // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2013. – № 2. – С. 44–48.

41. EAF stainless steel refining. Pt. I. Observational study on chromium recovery in an eccentric bottom tapping furnace and a spout tapping furnace / M. Guo, D. Durinck, P. T. Jones [et al.] // Steel Research International. – 2007. – Vol. 78, Iss. 2. – P. 117–124.

42. Options to Prevent Dicalcium Silicate-Driven Disintegration of Stainless Steel Slags / Y. Pontikes, P. T. Jones, D. Geysen, B. Blanpain // Archives Of Metallurgy And Materials. – 2010. – Vol. 55, Iss. 4. – P. 1167–1172.

43. Recent development in slag treatment and dust recycling / P. Drissen, A. Ehrenberg, M. Kuhn, D. Mudersbach // Steel Research international. – 2009. – № 10. –

P. 737–745.

44. Sakamoto, N. Effects of MgO based glass addition on the dusting of stainless steel slag (development of control process of stainless steel slag dusting-3) / N. Sakamoto // *Current Advance in Materials and Processes*. – 2001. – Vol. 14, Iss. 4. – P. 939.

45. The chemistry of dicalcium silicate mineral / S. N. Ghosh, P. B. Rao, A. K. Paul, K. Raina // *Journal of Material Sciences*. – 1979. – Vol. 14, Iss. 7. – P. 1554–1566.

46. Берг, Х. Влияние внепечной обработки на износ футеровки сталеразливочных ковшей / Х. Берг, Р. Герлинг // *Черные металлы*. – 2005. – № 6. – С. 27–32.

47. Бигеев, А. М. *Металлургия стали. Теория и технология плавки стали* / А. М. Бигеев, В. А. Бигеев. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2000. – 544 с. – ISBN 5-7114-0179-3.

48. Внепечная десульфурация стали / Г. Грунер, Ф. Барденхойер, Х.-В. Роммерсвинкель, Х. Шульте // *Черные металлы*. – 1976. – № 20. – С. 23–27.

49. Гольдштейн, М. И. *Специальные стали : учеб. пособие* / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – Москва : *Металлургия*, 1985. – 408 с.

50. Гольдштейн, Я. Е. *Модифицирование и микролегирование чугуна и стали : учеб. пособие* / Я. Е. Гольдштейн, В. Г. Мизин. – Москва : *Металлургия*, 1986. – 272 с.

51. Гудим, Ю. А. *Обработка основными шпаками при внепечном рафинировании металла и ее влияние на неметаллические включения в стали* / Ю. А. Гудим, И. Ю. Зинуров // *Электрометаллургия*. – 2006. – № 6. – С. 5–11.

52. Дюдкин, Д. А. *Оптимизация состава рафинировочного шлака ковша-печи* / Д. А. Дюдкин, С. Е. Гринберг, С. Н. Маринцев // *Сталь*. – 2003. – № 5. – С. 17–19.

53. Дюдкин, Д. А. *Производство стали. В 4 томах. Т. 1. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки* / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисленко. – Москва : *Теплотехник*, 2008. – 528 с. – ISBN 5-98457-058-0.

54. Дюдкин, Д. А. *Современная технология производства стали* / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисленко. – Москва : *Теплотехник*, 2007. – 528 с. – ISBN 5-98457-

052-1.

55. Ершов, Г. С. Свойства металлургических расплавов и их взаимодействие в сталеплавильных процессах : монография / Г. С. Ершов, Ю. Б. Бычков. – Москва : Металлургия, 1983. – 216 с.

56. Исследование и разработка комплексной технологии производства низкоуглеродистой борсодержащей стали с низким содержанием серы / А. А. Бабенко, В. И. Жучков, Л. А. Смирнов [и др.] // Сталь. – 2015. – № 11. – С. 48–50.

57. Новиков, В. К. Применение полимерной модели к расчету вязкости оксидных расплавов / В. К. Новиков, В. Н. Невидимов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1988. – № 2. – С. 5–10.

58. Новиков, В. К. Прогнозирование рафинирующих свойств многокомпонентных шлаковых расплавов / В. К. Новиков, В. Н. Невидимов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1997. – № 1. – С. 5–10.

59. Новиков, В. К. Способы выражения основности шлаковых расплавов / В. К. Новиков // Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов. Научные сообщения 7-ой Всесоюзной конференции. В 3 томах. Т. I. Микроскопические и феноменологические теории неупорядоченных систем. Ч. 1. – Челябинск : ЧПИ, 1990. – С. 4–12.

60. Новиков, В. К. Сравнение моделей шлаковых расплавов на примере расчета активности оксидов в алюмосиликатной системе / В. К. Новиков, В. Н. Невидимов, Г. А. Топорищев // Расплавы. – 1991. – № 1. – С. 3–9.

61. Особенности десульфурации стали на установке ковш-печь в ОАО ММК / Р. С. Тахаутдинов, А. М. Бигеев, А. Х. Валиахметов [и др.] // Электрметаллургия. – 2003. – № 7. – С. 31–34.

62. Поволоцкий, Д. Я. Физико-химические основы процессов производства стали : учеб. пособие для вузов / Д. Я. Поволоцкий. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 183 с. – ISBN 5-696-03363-6.

63. Попель, С. И. Физикохимия дисперсных систем в металлургии : учеб. пособие / С. И. Попель – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2002. – 51 с.

64. Прогнозирование областей гомогенизации силикатных расплавов / В. Н.

Неви-димов, В. К. Новиков, А. В. Климов, Д. М. Гладков // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2005. – № 1. – С. 3–4.

65. Производство стали на агрегате печь-ковш : [монография] / Д. А. Дюдкин, С. Ю. Бать, С. Е. Гринберг, С. Н. Маринцев ; под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Д. А. Дюдкина. – Донецк : Юго-Восток Лтд, 2003. – 300 с. – ISBN 996-8278-70-4.

66. Пути ресурсосбережения при внепечной обработке стали / Д. А. Дюдкин, С. Е. Гринберг, А. В. Грабов [и др.] // Сталь. – 2002. – № 3. – С. 55–57.

67. Смирнов, Н. А. О рациональной технологии внепечной десульфурации стали твердыми шлаковыми смесями / Н. А. Смирнов // Электromеталлургия. – 2003. – № 5. – С. 35–41.

68. Смирнов, Н. А. Оптимизация составов шлаковых смесей для внепечного рафинирования стали / Н. А. Смирнов, М. Г. Разина, И. А. Магидсон // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1997. – № 11. – С. 21–24.

69. Смирнов, Н. А. Оптимизация технологии десульфурации стали на установке ковш-печь / Н. А. Смирнов // Электromеталлургия. – 2004. – № 1. – С. 20–28.

70. Шакиров, М. К. Оптимизация режима внепечной обработки стали с использованием математической модели образования ковшевого шлака / М. К. Шакиров, Р. С. Айзатулов // Труды IV конгресса сталеплавильщиков (Москва, 7–10 октября 1996 г.). – Москва : Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии, 1997. – С. 251–253.

71. Шахпазов, Е. Х. Разработка высокоэффективных технологий производства высококачественных сталей на базе физикохимического исследования и моделирования металлургических расплавов / Е. Х. Шахпазов, А. И. Зайцев, И. Г. Родионова // Проблемы и перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР (Екатеринбург, 16–17 июня 2011 г.). Т. 1. – Екатеринбург : УрО РАН, 2011. –

С. 57–62.

72. Школьник, Я. Ш. Переработка шлаковых расплавов с охлаждением их в межшаровом пространстве / Я. Ш. Школьник, М. З. Мандель, А. Г. Шакуров // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2012. – № 4. – С. 110–113.

73. Явойский, В. И. Теория процессов производства стали : монография / В. И. Явойский. – Москва : Металлургия, 1967. – 791 с.

74. A secondary alumina source for the stabilisation of CaO-SiO-MgO slags / R. I. Iacobescu, P. Pontikes, A. Malfliet [et al.] // Proceedings of the 3rd International Slag Valorisation Symposium: The Transition to Sustainable Materials Management (19–20 March 2013, Leuven, Belgium). – Leuven : [Leuven University Press], 2013. – P. 311–314.

75. Additions of industrial residues for hot stage engineering of stainless steel slags / Y. Pontikes, L. Kriskova, X. Wang [et al.] // Proceedings of the second International Slag Valorisation Symposium: The Transition to Sustainable Materials Management (18–20 April 2011, Leuven, Belgium). – Leuven : [Leuven University Press], 2011. – P. 313–326.

76. Borate distribution in stabilized stainless-steel slag / D. Durinck, S. Arnout, G. Mertens [et al.] // Journal of the American Ceramic Society. – 2008. – Vol. 91, Iss. 2. – P. 548–554.

77. Branca, T. A. A way to reduce environmental impact of ladle furnace slag / T. A. Branca, V. Colla, R. Valentini // Ironmaking and Steelmaking. – 2009. – Vol. 36, № 8. – P. 597–602.

78. Chan, C. J. Physical Stabilization of the Beta to Gamma Transformation in Dicalcium Silicate / C. J. Chan, W. M. Kriven, J. F. Young // Journal of the American Ceramic Society. – 1992. – Vol. 75, Iss. 6. – P. 1621–1627.

79. Development of dusting prevention stabilizer for stainless steel slags / A. Seki, Y. Aso, M. Okubo [et al.] // Kawasaki Steel Giho. – 1986. – Vol. 18. – P. 20–24.

80. Evolution of microstructure, mineralogy and properties during firing of clay-based ceramics with borates / A. Christogerou, T. Kavas, Y. Pontikes [et al.] // Ceram-

ics International. – 2010. – Vol. 36, Iss. 2. – P. 567–575.

81. Fletcher, J. G. Phase relations in the system CaO-B₂O₃-SiO₂ / J. G. Fletcher, F. P. Glasser // Journal of Materials Science. – 1993. – Vol. 28, Iss. 10. – P. 2677–2686.

82. Ghose, A. Microstructural characterization of doped dicalcium silicate polymorphs / A. Ghose, S. Chopra, J. F. Young // Journal of Materials Science. – 1983. – Vol. 18, Iss. 10. – P. 2905–2914.

83. Kühn, M. Decreasing the scorification of chrome / M. Kühn, H. Behmenburg // Report EUR 19382, Primary Steelmaking, European Commission 39. – 2000. – Vol. 55, Iss. 4. – P. 1167–1172.

84. Kühn, M. Treatment of liquid steel slags / M. Kühn, P. Drissen, H. Schrey // Engineering of slags: a scientific and technological challenge : 2nd European Slag Conference, proceedings, 9th to 11th October, 2000, Düsseldorf. – Duisburg-Rheinhausen : European Slag Association, 2001. – P. 123–135.

85. Sakamoto, N. Effect of cooling process to crystallization of stainless steel slag (development of control process of stainless steel slag dusting-1) / N. Sakamoto // Current Advance in Materials and Processes. – 1996. – Vol. 9, Iss. 4. – P. 803.

86. Use of boron wastes in the production of heavy clay ceramics / A. Christogerou, T. Kavas, Y. Pontikes [et al.] // Ceramics International. – 2009. – Vol. 35, Iss. 1. – P. 447–452.

87. Анализ влияния глиноземсодержащих добавок на шлакообразование при внепечной обработке стали / О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков, И. В. Некрасов [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2016. – № 7. – С. 56–64.

88. Металлургия стали : [учебник для вузов по специальности «Металлургия черных металлов»] / В. И. Явойский, Ю. В. Кряковский, В. П. Григорьев [и др.] ; под общ. ред. В. И. Явойского, Ю. В. Кряковского. – Москва : Металлургия, 1983. – 583 с.

89. Найдек, В. Л. Переработка и использование сталеплавильных шлаков / В. Л. Найдек, В. И. Курпас, С. Г. Мельник // Металл и литье Украины. – 2013. –

№ 3. – С. 3–6.

90. Рязанов, С. А. О комплексной переработке алюминиевых шлаков / С. А. Рязанов // *Литейщик России*. – 2010. – № 7. – С. 43–45.

91. Технологические особенности переработки шлаков ДСП и АКП в строительные материалы и опыт утилизации рафинировочного шлака в ОАО СТЗ / О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков, А. И. Степанов [и др.] // *Сталь*. – 2014. – № 6. – С. 106–109.

92. Отходы производства вторичного алюминия – сырье для огнеупорной промышленности / И. Д. Кашеев, Т. В. Баяндина, А. И. Ушеров [и др.] // *Новые огнеупоры*. – 2008. – № 6. – С. 15–19.

93. Вдовин, К. Н. Изучение поведения отходов производства вторичного алюминия (ОПВА) в пирометаллургических процессах / К. Н. Вдовин, А. И. Ушеров, Е. С. Махоткина // *Вестник МГТУ им. Г. И. Носова*. – 2007. – № 3. – С. 37–39.

94. Козлов, В. В. Оптимизация шлакового режима и стабилизация шлаков внепечной обработки стали для повышения ресурса футеровки / В. В. Козлов // *Новые огнеупоры*. – 2018. – № 4. – С. 43–44.

95. Носов, Ю. Н. Особенности десульфурации на АКП низкокремнистой, раскисленной алюминием конвертерной стали / Ю. Н. Носов, А. А. Михалев, Ю. В. Школа // *Сталь*. – 2009. – № 2. – С. 17–20.

96. Результаты разработки технологии и оборудования для переработки и стабилизации шлакового расплава в товарный продукт / А. Г. Шакуров, Я. Ш. Школьник, В. В. Журавлев [и др.] // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. – 2014. – № 2. – С. 82–86.

97. Техногенные материалы – сырье для производства шлакообразующих / О. Ю. Шешуков, В. С. Гуляков, И. В. Некрасов [и др.] // *Экология и промышленность России*. – 2012. – № 12. – С. 51–53.

98. Sakamoto, N. Inhibition mechanism of dusting on stainless steel slag with additive B₂O₃ (development of control process of stainless steel slag dusting-2) / N. Sakamoto // *Current Advance in Materials and Processes*. – 2000. – Vol. 13, № 4. –

P. 862.

99. Rethink, reduce, recycle, reuse – стратегия безотходного производства компании Georgsmarienhutte / Д. Альгермиссен, М. Канкаревич, Т. Рекерсдреес [и др.] // Черные металлы. – 2018. – № 6. – С. 46–51.

100. Горшков, В. С. Методы физико-химического анализа вязущих веществ : учеб. пособие для студентов вузов / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, В. Г. Савельев. – Москва : Высшая школа, 1981. – 335 с.

101. Заякин, О. В. Изучение возможности получения неразлагающегося шлака при производстве низкоуглеродистого феррохрома / О. В. Заякин, Р. Н. Статных, В. И. Жучков // Metallurg. – 2018. – № 9. – С. 25–29.

102. Оптимизация состава шлака внепечной обработки стали с целью повышения стойкости огнеупоров и возможности утилизации шлака / О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков, И. В. Некрасов [и др.] // Metallurg. – 2018. – № 8. – С. 9–12.

103. Применение алюмошлаковых брикетов при внепечной обработке стали на Ашинском металлургическом заводе / М. Т. Гиндулин, С. В. Федотов, З. Х. Шакиров, В. И. Гернер // Сталь. – 2011. – № 8. – С. 28–30.

104. Шлипхакке, Х. Ресурсосбережение и циркуляционная экономика / Х. Шлип-хакке, Г. Эндеман // Черные металлы. – 2017. – № 3. – С. 58–64.

105. Eriksson, J. MgO modification of slag from stainless steelmaking / J. Eriksson, B. Bjorkman // VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts. – Johannesburg : The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004. – P. 455–459.

106. Fayalite slag modified stainless steel AOD slag / S. Huang, M. Guo, P. Jones, B. Blanpain // Proceedings of the 3rd International Slag Valorisation Symposium: The Transition to Sustainable Materials Management (19–20 March 2013, Leuven, Belgium). – Leuven : [Leuven University Press], 2013. – P 107–110.

107. Gieseler, J. Properties of iron and steel slags regarding their use / J. Gieseler // Proceedings of the Sixth International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts: Stockholm, Sweden – Helsinki, Finland, 12–17 June, 2000. – [Stockholm] : [Kungliga

Tekniska högskolan], 2000. – 1 CD ROM. – P. 207.

108. Hot stage engineering to improve slag valorisation options / F. Engstrom, Y. Pontikes, D. Geysen [et al.] // Proceedings of the second International Slag Valorisation Symposium: The Transition to Sustainable Materials Management (18–20 April 2011, Leuven, Belgium). – Leuven : [Leuven University Press], 2011. – P. 231–251.

109. Lai, G. C. Studies of the stability of β -Ca₂SiO₄ doped by minor ions / G. C. Lai, T. Nojiri, K. I. Nakano // Cement and Concrete Research. – 1992. – Vol. 22, Iss. 5. – P. 743–754.

110. Lopatin, D. V. The new stability criterion of crystal-chemical stabilization of β -C₂S / D. V. Lopatin, V. M. Chizhikova // Proceedings of the International Conference “Advances in metallurgical processes and materials” (AdMet), May 27–30, 2007, Dnipropetrovsk, Ukraine. Vol. 1. – Dnepropetrovsk : Porohy, 2007. – P. 481–482.

111. Modification study of a steel slag to prevent the slag disintegration after metal recovery and to enhance slag utilization / Q. Yang, F. Engström, B. Björkman, D. Adolfsson // Molten 2009. Proceedings of the VIII International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts. 18–21 January 2009, Santiago, Chile. – Chile : GECAMIN. – 2009. – P. 33–41.

112. Treatments of AOD slag to produce aggregates for road construction / Q. Yang, L. Nedar, F. Engström, M. He // AISTech 2006. Proceedings of the Iron & Steel Technology Conference and Exposition: May 1–4, 2006, Cleveland, Ohio, USA. Vol. 1. – Warrendale : Iron and Steel Society, 2006. – P. 573–583.

113. Бабайлов, Н. А. Брикетирование отсева металлургической извести и параметры, позволяющие повысить эффективность процесса / Н. А. Бабайлов, Л. И. Полянский, Ю. Н. Логинов // Металлург. – 2016. – № 6. – С. 32–35.

114. Влияние извести на спекание аглошихты / В. М. Куркин, М. С. Табаков, Е. А. Кашкаров [и др.] // Металлург. – 2007. – № 8. – С. 49–52.

115. Исследование эффективности использования извести при производстве агломерата АО «Уральская сталь» / А. Н. Шаповалов, С. П. Зубов, Н. А. Майстренко, И. С. Берсенев // Сталь. – 2017. – № 6. – С. 2–6.

116. Исследование свойств и эффективности применения в доменной плавке

жидкого композитного топлива на основе замасленной окалины и маслоотходов / С. Ф. Ерохин, Д. Н. Тихонов, И. Ф. Курунов, Е. А. Самси // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2004. – № 4. – С. 12–22.

117. Фролов, Ю. А. Подготовка топлива к агломерации руд и концентратов на конвейерных машинах / Ю. А. Фролов, Г. Н. Бездежский, А. М. Малыгин // Цветная металлургия. – 2002. – № 8–9. – С. 10–15.

118. Дорофеев, Г. А. О выборе рационального способа окускования мелкофракционных материалов техногенного и природного происхождения / Г. А. Дорофеев, Е. Ю. Барсукова // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2015. – № 12. – С. 73–80.

119. Использование гранулированного сырья на основе мелкофракционных отходов в шихте при производстве агломерата / В. П. Русских, В. Б. Семакова [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2013. – № 10. – С. 19–21.

120. Исследование структуры агломератов ПАО «НЛМК» и оценка возможности повышения их металлургических свойств / И. С. Берсенев, А. Ю. Петрышев, А. Ю. Колясников [и др.] // Сталь. – 2018. – № 9. – С. 2–9.

121. Казанцев, Е. А. Подготовка и использование железофлюсовой смеси в агломерации / Е. А. Казанцев, В. Х. Баринов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 3. – С. 22–24.

122. Курунов, И. Ф. Наилучшие доступные технологии в производстве окускованного сырья для доменных печей / И. Ф. Курунов, В. М. Чижикова, А. М. Бижанов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 4. – С. 62–67.

123. Оценка эффективности применения магнезиального флюса «Флюмаг М» в аглодоменном производстве / В. И. Носенко, А. Н. Филатов, Г. А. Нечкин, В. А. Кобелев // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2019. – Т. 75, № 1. – С. 26–32.

124. Технология получения металлизированного агломерата / Д. К. Исин, А.

- М. Газалиев, С. Е. Орынгожина, Б. Д. Исин // *Металлург.* – 2012. – № 11. – С. 28–30.
125. Анашкин, Н. С. Мартеновские шлаки и их использование в металлургии и других отраслях народного хозяйства / Н. С. Анашкин, С. И. Павленко ; отв. ред. Е. Г. Аввакумов. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. – 135 с. – ISBN 5-7692-0859-7.
126. Еремеев, Н. А. Опыт промышленного использования конвертерного шлака Южно-Уральского никелевого комбината в качестве раскислителя в ДЦ ПАО ЧМК / Н. А. Еремеев, А. Ж. Лысюк // *Сталь.* – 2018. – № 3. – С. 7.
127. Жилкин, В. П. Производство агломерата. Технология, оборудование, автоматизация / В. П. Жилкин, Д. Н. Доронин ; под общ. ред. Г. А. Шалаева. – Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы, 2004. – 292 с. – ISBN 5-85247-034-1.
128. Каплан, А. В. Обеспечение экономической эффективности рекультивации шлаковых отвалов металлургических комбинатов / А. В. Каплан, Т. В. Давыдова, О. А. Грибков // *Металлург.* – 2011. – № 6. – С. 86–88.
129. Комплексная переработка металлургических шлаков / А. В. Ентальцев, В. М. Шариков, В. К. Косарев [и др.] // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации.* – 2011. – № 1. – С. 71–74.
130. Металлургические шлаки в рамках политики охраны окружающей среды и ресурсосбережения / К. Ю. Арльт, Н. Банненберг, Г. Эндеман, Х. Мотц // *Черные металлы.* – 2013. – № 8. – С. 36–43.
131. Михайлов, В. Г. Изучение влияния добавки доменного шлака на минералогический состав агломерата / В. Г. Михайлов, Т. В. Прохорова // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – 2010. – № 8. – С. 51–52.
132. Опыт применения продуктов переработки металлургических шлаков в аглодоменном производстве / Е. В. Якушев, В. А. Зайцев, Н. А. Майстренко, А. Ю. Фукс // *Металлург.* – 2010. – № 2. – С. 40–41.
133. Рецикл техногенных отходов при производстве агломерата и чугуна / В. А. Долинский, Л. Д. Никитин, А. А. Одинцов, К. И. Домнин // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – 2010. – № 8. – С. 41–44.

134. Технология использования техногенных отходов при производстве агломерата в условиях ОАО «Днепропетровский меткомбинат» / И. Д. Буга, В. И. Романенко, А. А. Дашенко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 5. – С. 17–19.

135. Чижевский В. Б. Разработка высокоэффективной технологии глубокой переработки и комплексного использования сталеплавильных шлаков / В. Б. Чижевский, И. А. Гришин, О. П. Шавакулева // *Черные металлы*. – 2016. – № 9. – С. 18–23.

136. Темников, В. В. Использование конвертерных шлаков в доменном производстве ОАО «НТМК» / В. В. Темников // *Труды XXXIV международной научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «НТМК»*. – 2002. – С. 19.

137. Придание сталеплавильным шлакам свойств минеральных вяжущих веществ / М. А. Михеенков, О. Ю. Шешуков, И. В. Некрасов [и др.] // *Сталь*. – 2016. – № 3. – С. 66–69.

138. Сравнительный анализ эффективности использования связующих различного типа при агломерации / И. С. Берсенева, С. Н. Евстюгин, В. А. Горбачев [и др.] // *Сталь*. – 2015. – № 8. – С. 2–4.

139. Ожогин, В. В. Способы получения гранул и влияние их добавок на процесс спекания и механические свойства агломерата / В. В. Ожогин // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2006. – № 3 (5). – С. 19–24.

140. Исследование влияния ввода полимерных связующих веществ на процессы подготовки и спекания агломерационной шихты / С. А. Яремчук, В. Ю. Кучин, Т. В. Деткова [и др.] // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. – 2015. – № 7. – С. 36–40.

141. Кормина, И. В. Влияние водных растворов полимерных связующих на формирование и свойства железорудного агломерата / И. В. Кормина, А. А. Пономаренко // *Сталь*. – 2016. – № 11. – С. 11–14.

142. Опыт применения полимерного связующего в агломерации / Д. Н. Волков, А. Л. Мамонов, И. В. Кормина [и др.] // *Черная металлургия. Бюллетень*

научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 6. – С. 13–21.

143. Опыт использования шлака установки десульфурации в доменном производстве ОАО «ЕВРАЗ НТМК» / В. В. Темников, А. А. Форшев, Е. Г. Калимулина, Л. П. Бабкин // Черные металлы. – 2020. – № 6. – С. 24–27.

144. Использование шлака внепечной обработки стали в аглопроизводстве / П. А. Зажигаев, О. Ю. Шешуков, В. В. Темников [и др.] // Научно-технический прогресс в черной металлургии – 2019. Материалы IV Международной научной конференции (Череповец, 18–20 сентября 2019 г.). – Череповец : Череповец. гос. ун-т, 2019. – С. 62–66.

145. Темников, В. В. Анализ образования и переработки металлургических отходов в АО «ЕВРАЗ НТМК» / В. В. Темников, Е. Г. Калимулина, Б. С. Тлеугабулов // Черные металлы. – 2018. – № 7. – С. 32–37.

146. Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства : монография / О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков, И. В. Некрасов [и др.]. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – ISBN 978-5-9544-0075-5. – С. 18–43.

147. Использование шлака внепечной обработки стали в аглопроизводстве / В. В. Темников, О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков [и др.] // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2020. – № 2. – С. 22–26.

148. Калимулина, Е. Г. Утилизация пылей аспирации сталеплавильного производства в АО «ЕВРАЗ НТМК» / Е. Г. Калимулина, В. В. Темников // Черные металлы. – 2018. – № 7. – С. 38–40.

149. Миронова, М. В. Обзор докладов участников секции «Горно-металлургическое производство» международной научно-технической конференции «Наука – Образование – Производство: опыт и перспективы развития» / М. В. Миронова, Б. С. Тлеугабулов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 3. – С. 102–103.

150. Темников, В. В. Опыт переработки отходов в АО «ЕВРАЗ НТМК» / В. В. Темников // Международный металлургический саммит «Металлы и сплавы». – Екатеринбург, 2020.

151. Iron production evaluating coke quality / Yu. P. Petrenko, V. V. Belov, V. V. Temnikov, A. M. Ivanov // *Steel in Translation*. 2005. – № 6. – P. 12.
152. New methods of diagnosis of coke quality / Yu. P. Petrenko, V. V. Belov, V. V. Temnikov, A. M. Ivanov // *Steel*. 2005. – № 6. – P. 37.
153. Использование шлака внепечной обработки стали в аглопроизводстве / П. А. Зажигаев, О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков [и др.] // *Сталь*. – 2019. – № 12. – С. 78–79.
154. Опыт переработки шлака установки ковш-печь в АО «ЕВРАЗ НТМК» / В. В. Темников, О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков, А. А. Метелкин // *Металлург*. – 2020. – № 6. – С. 23–27.
155. Патент № 2722946 Российская Федерация, МПК С22В 1/16 (2006.01). Шихта для производства железорудного агломерата : № 2019127852 : заявл. 04.09.2019 : опубл. 05.06.2020 / Темников В. В., Калимулина Е. Г., Зажигаев П. А. [и др.] ; заявители и патентообладатели ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – 8 с.
156. Темников, В. В. Использование шлака ВОС в аглопроизводстве / В. В. Темников // *Международная научно-техническая конференция «Наилучшие доступные технологии в доменном производстве» (23–24 октября 2019 г.)*. – Москва : Кодекс, 2019. – С. 77–79.
157. Темников, В. В. Использование шлака ВОС в аглопроизводстве / В. В. Темников // *IX Международный конгресс доменщиков «Металлургия чугуна. Перспективы развития до 2025 года» (Нижний Тагил, 25–27 сентября 2018)*. – Москва : Кодекс, 2018. – С. 57–62.
158. Практический результат производственной культуры в рамках бизнес-темы АО «ЕВРАЗ НТМК» и АО «ЕВРАЗ КГОК» / А. А. Форшев, В. В. Темников, Д. В. Черных [и др.] // *Сталь*. – 2020. – № 7. – С. 74–76.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Отчет опытно-промышленных испытаний по производству агломерата «ЕВРАЗ КГОК» с использованием в аглошихте извести

ЕВРАЗ | ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЕВРАЗ КАЧКАНАРСКИЙ
ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ»

мы делаем мир сильнее

СОГЛАСОВАНО

Директор по производству ЕВРАЗ КГОК

А.Г. Сухарев
« 14 » 08 2012г.

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер ЕВРАЗ КГОК

В.А. Мартынов
« 14 » 08 2012 г.



Отчёт

опытно-промышленных испытаний по производству агломерата КГОК с добавлением профилактированного концентрата

1 Общие положения

В соответствии с «РАБОЧЕЙ ПРОГРАММОЙ промышленных испытаний производства агломерата с добавлением профилактированного известью концентрата», в период с 30 июля (смена 2) по 4 августа (смена 1) 2012 года были проведены промышленные испытания по производству агломерата с добавлением профилактированного известью концентрата.

Цель работы:

1 Отработка технологии агломерации с добавлением профилактированного известью концентрата к концентрату КГОК.

Работа предусматривала выпуск опытной партии агломерата объемом 26 тыс. тонн на одной работающей агломерационной машине № 2.

Для сравнительного анализа, в качестве базового периода, использовались показатели производства агломерата за июнь текущего года.

2 Приемка и подготовка профилактированного концентрата

В период с 22.07.2012г. по 27.07.2012г. в цех шихтоподготовки поступили под разгрузку 87 полувагонов с концентратом профилактированным известью в количестве 6000 тонн для производства опытного агломерата. В зависимости от состояния фронта выгрузки, разгрузка поступающего концентрата допуска-



лась как посредством роторного вагонопрокидывателя ВРС-93\110, так и посредством грейферных кранов на складе корпуса бентонита с последующей транспортировкой автотранспортом в цех обогащения.

Общее время на выгрузку, зачистку, транспортировку концентрата по тракту вагонопрокидыватель → склад известняка, составило 82 часа 15 минут, в пересчете на 1 полувагон время обработки составило 56,7 минуты.

Основным сдерживающим фактором при разгрузке является перегрузочное устройство с пластинчатых питателей на конвейера №№ 9;10 (рис. 1,2). Из-за конструктивных особенностей и низкой сыпучести материала, происходит налипание материала на стенки течки. Очистка течек производилась с применением сжатого воздуха пневмошуровками. Прокачка бункеров на вагонопрокидывателе велась небольшой нагрузкой на минимальных оборотах пластинчатых питателей.

Одиннадцать полувагонов разгружались на складе бентонита грейферными кранами и автотранспортом перевозились на склад цеха обогащения. После отчерпывания полувагонов на складе бентонита они тепловозом представлялись на вагонопрокидыватель для зачистки кузовов.

Для перевозки концентрата со склада известняка на склад цеха обогащения был задействован автотранспорт АТЦ.

Основные проблемы по приему полувагонов с концентратом профильтрованным известью:

1. Налипание материала на стенки и очистка течек перегрузочных устройств (рис. 3,4).
2. Применение Ж.Д. транспорта, для перестановки полувагонов, на разных фронтах выгрузки - затрачивается дополнительное время.
3. Дополнительное время работы грейферных кранов СИиТ для погрузки концентрата в автотранспорт - 90 часов.
4. Задействована дополнительная численность трудящихся с других участков и цехов на очистку перегрузочных узлов с пластинчатых питателей и конвейеров по тракту разгрузки.

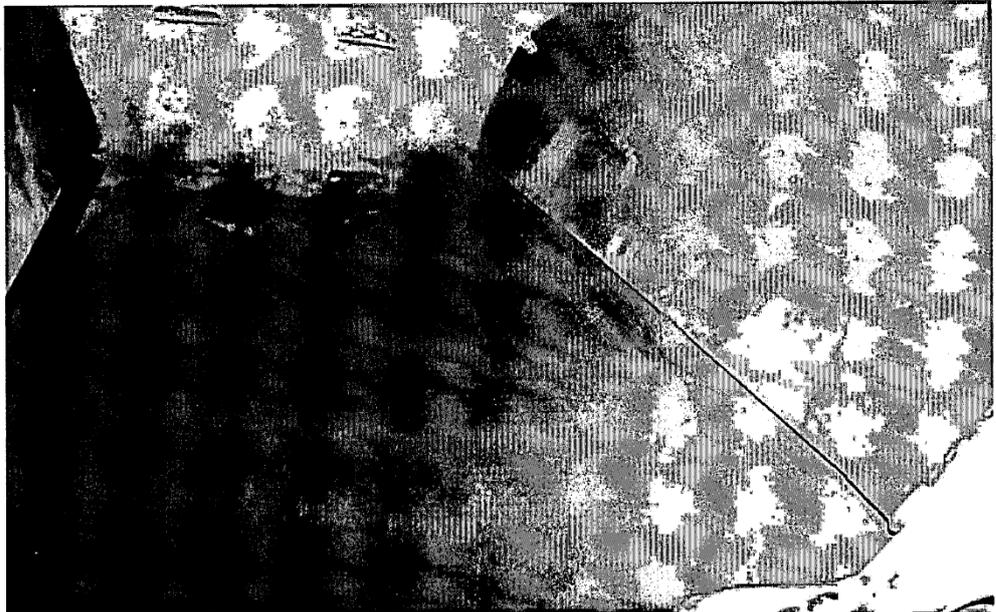


рис. 1

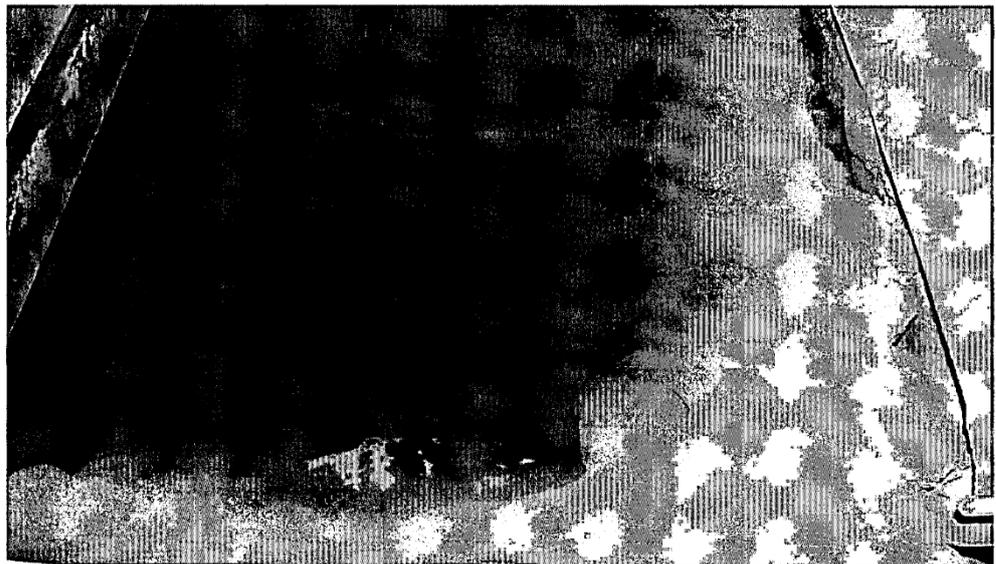


рис. 2

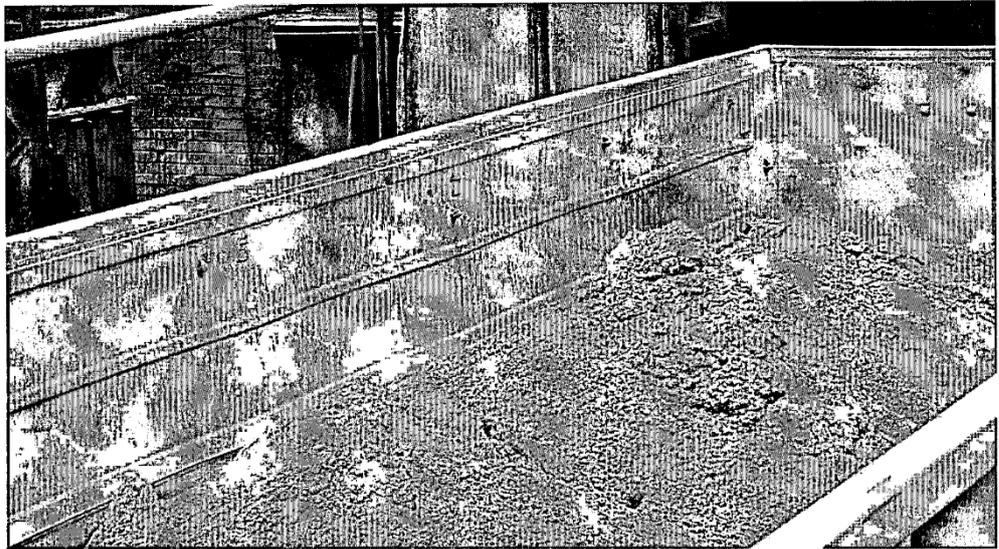


рис. 3



рис. 4

Таблица 1 Химический состав профилактированного концентрата по данным входного контроля ОТК

Дата	Fe	CaO	SiO ₂	осн	CaOсв	V ₂ O ₅	H ₂ O
22.07.12 1см.	50,90	12,55	4,39	2,859	5,33	0,49	6,31
22.07.12 1см.	52,30	11,24	4,51	2,492	3,01	0,49	7,32
22.07.12 1см.	49,50	14,21	4,44	3,200	4,31	0,50	7,14
22.07.12 1см.	50,90	13,14	4,40	2,986	3,85	0,46	6,05
22.07.12 1см.	49,90	13,61	4,47	3,045	4,34	0,48	7,83
23.07.12 2см.	52,80	10,40	4,23	2,459	2,22	0,50	4,15
24.07.12 1см.	51,90	11,71	4,10	2,856	3,46	0,47	4,30
24.07.12 2см.	50,70	13,16	4,61	2,855	6,55	0,47	8,24
24.07.12 2см.	53,70	9,94	4,13	2,407	4,74	0,51	7,55
25.07.12 2см.	51,00	13,03	3,67	3,550	5,74	0,49	4,44
26.07.12 1см.	53,50	10,16	3,61	2,814	3,33	0,50	4,97
27.07.12 2см.	51,40	12,59	4,46	2,823	8,38	0,44	5,03
Среднее	51,54	12,15	4,25	2,862	4,61	0,48	6,11
Среднеквадратическое отклонение от среднего	1,33	1,43	0,32	0,32	1,70	0,02	1,49

Максимальное среднеквадратическое отклонение в профилактированном концентрате при входном контроле составило для массовой доли Fe - 1,33; CaO - 1,43; CaOсв - 1,70, что характеризует нестабильность по данным показателям.

При оценке надежности среднего значения с вероятностью P=0,95 доверительные границы показателей составили:

Fe - 51,54% ± 0,80;

CaO - 12,15% ± 0,86;

SiO₂ - 4,25% ± 0,19;

CaOсв - 4,61 ± 1,03.

При перегрузке от вагоноопрокидывателя до бункеров КШБ произошло дополнительное усреднение, что положительно отразилось на стабильности химического состава профилактированного концентрата. Химический состав профилактированного концентрата по результатам опробования с бункеров КШБ представлен в таблице 2

Таблица 2 Химический состав профилактированного концентрата по результатам опробования с бункеров КШБ

N пробы	Массовая доля, %						
	Fe	CaO	SiO ₂	Основ	CaOсв	V ₂ O ₅	H ₂ O
5291	53	9,98	4,8	2,079	7,54	0,49	8,2
5294	52,4	10,67	4,82	2,214	7,97	0,48	8
5299	52,7	10,36	4,85	2,136	7,51	0,49	8
5302	51,8	11,31	5,02	2,253	8,27	0,49	8,5
5307	54,4	8,36	5,01	1,669	5,74	0,51	7,7
5316	52,4	10,63	4,82	2,205	7,00	0,5	8,4
5323	51,4	10,88	4,72	2,305	6,99	0,49	8,6
5326	50,8	12,3	4,64	2,651	7,16	0,48	8,43
5335	52	10,65	4,63	2,30	5,78	0,5	8,1
5345	51,1	11,82	4,61	2,564	8,08	0,49	8,17
5352	51,6	11,58	4,66	2,485	8,13	0,49	8,1
5356	51,4	11,82	4,64	2,547	8,07	0,49	8,56
5362	52	10,88	4,57	2,381	7,43	0,49	8,25
5368	52,4	10,4	4,64	2,241	7,14	0,5	8,3
5373	52	11,36	4,84	2,347	6,59	0,49	8,1
5380	51,9	11,84	4,55	2,602	7,43	0,49	8,2
5385	51,5	11,59	4,61	2,514	6,79	0,48	8,3
5391	51,2	12,07	4,75	2,541	7,51	0,48	8,2
5396	51,3	11,84	4,55	2,602	8,01	0,49	8,2
5400	51,1	11,82	4,61	2,564	7,81	0,49	8,07
5407	51,6	10,88	5,22	2,084	6,99	0,49	7,8
5414	52,7	10,75	4,64	2,317	6,04	0,5	7,83
5424	53,1	9,92	4,82	2,058	5,48	0,51	7,52
5431	52,6	10,18	4,7	2,166	5,81	0,5	8
5439	53,3	9,22	4,75	1,941	5,47	0,51	8,3
Среднее	52,01	11,01	4,73	2,33	7,02	0,493	8,15
Среднеквадратическое отклонение от среднего	0,84	0,94	0,16	0,24	0,89	0,01	0,26

Среднеквадратическое отклонение в профилактированном концентрате с бункеров КШБ составило для массовой доли Fe -0,84; CaO -0,94; CaOсв-0,89. При оценке надежности среднего значения с вероятностью P=0,95 доверительные границы показателей составили:

Fe- 52,0% ± 0,34;

CaO - 11,01% ± 0,38;

SiO₂ - 4,73% ± 0,07;

CaOсв - 7,0 ± 0,37.

Это позволило уложиться в действующие ТУ по модулю основности

3 Организация работ при производстве агломерата с применением профилактированного известью концентрата



В период работы с применением профилактированного известью концентрата железорудная часть аглошихты состояла из концентрата мокрого магнитного обогащения (железованадиевый концентрат) и профилактированного известью концентрата.

Величину общей железорудной нагрузки определял старший агломератчик, исходя из требований действующей технологической инструкции.

Расход профилактированного известью концентрата был установлен в соответствии с утверждённым расчётом шихты в соотношении 25 % от нагрузки железованадиевого концентрата и в течение всего опытного периода не менялся.

Увеличение слоя аглошихты на спекательных тележках происходило по заданию начальника отдела главного технолога фабрики. В течение трех смен слой был поднят с 350 мм до 430 – 440 мм. Последние сутки работали на слое 450 мм (столько позволяла высота борта спекательной тележки и существующее загрузочное устройство).

В течение всего опытного периода в цехах шихтоподготовки и агломерации было установлено ночное дежурство технологов цехов, днем контроль за соблюдением технологии осуществлял начальник отдела главного технолога.

Также, в соответствии с «Рабочей программой...» был увеличен объем технологического опробования и уменьшен вдвое вес паспортов готовой продукции.

Отклонения от заданных параметров оперативно устранялись.

3.1 Дозирование компонентов шихты в штатных условиях промышленного эксперимента.

3.1.1 Дозирование профилактированного концентрата

Заполнение профилактированного известью концентрата со склада цеха обогащения производилось в шихтовые бункера № 12, 13, 14, 15 конвейера № 54. Также производилось заполнение в шихтовые бункера № 12, 13, конвейера

№ 55 как резерв на случай возникновения нештатной ситуации.

Закачка бункеров профилированного концентрата производилась группами (по 2 бункера). Время заполнения согласовывалось с ОТК для проведения опробования отгруженной партии концентрата.

Дозирование железорудной части шихты в штатном режиме работы производилось двумя конвейерами в «раздельном» режиме: железованадиевый концентрат - по конвейеру № 55, профилированный известью концентрат - по конвейеру № 54. Задание на концентрат устанавливал дозировщик по конвейерам № 54, 55 в соответствии с расчётом в зависимости от величины дозирования железованадиевого концентрата.

3.1.2 Дозирование кокса

Дозирование кокса в аглошихту осуществлялось по конвейеру № 55 совместно с железованадиевым концентратом. Задание на кокс устанавливалось после пересчёта заданного старшим агломератчиком расхода кокса в % от общей нагрузки на нагрузку концентрата по 55 конвейеру.

3.1.3 Дозирование известняка

Дозирование известняка в аглошихту осуществлялось по конвейеру № 55 совместно с железованадиевым концентратом. Задание на известняк устанавливалось после пересчёта на нагрузку концентрата по 55 конвейеру с выходом на модуль основности 2.1.

4 Производство агломерата

Объём произведенной и отгруженной на ЕВРАЗ НТМК опытной партии агломерата составил 26027,53 тонн (отгрузка на склад не производилась).

Главной проблемой при наработке опытной партии был малый объём, практически девять смен. Поэтому не хватало времени на тщательную отра-

ботку режимов. Наряду с плановыми корректировками режима в виде изменения высоты слоя с соответствующей корректировкой дозировки топлива, несмотря на исправную систему пневмообрушения, периодически возникали проблемы с равномерностью дозировки профилактированного концентрата и необходимостью ручной ошуровки бункеров на конвейере № 54. Весь произведенный опытный агломерат соответствует действующим техническим условиям.

В таблице 3 представлено качество паспортного агломерата.

Таблица 3

Время отбор пробы	N Пас-порта	Вес пасп., т	Качество									Мех.проч., мм			
			Fe	FeO	CaO	SiO2	Осн.	V2O5	MnO	S	TiO2	5	-0.5	-5	
13.00	1597	541.74	53.60	11.36	11.24	5.29	2.12	0.53	0.18	0.016	2.44	73.80	4.60	5.00	
15.20	1598	541.58	53.50	12.00	11.43	5.49	2.08	0.54	0.18	0.020	2.47	74.50	4.70	4.50	
18.00	1599	545.73	54.00	10.91	10.78	5.29	2.04	0.54	0.19	0.015	2.47	74.70	4.60	4.60	
21.20	1600	548.90	54.10	10.55	10.71	5.21	2.06	0.54	0.20	0.013	2.48	74.00	5.30	4.60	
22.50	1601	540.55	54.10	9.82	10.89	5.03	2.17	0.53	0.19	0.013	2.45	73.80	5.00	4.80	
0.40	1602	540.28	54.30	10.00	10.82	4.94	2.19	0.54	0.19	0.016	2.47	74.80	5.30	4.60	
2.40	1603	541.02	54.40	9.65	10.63	4.83	2.20	0.54	0.18	0.014	2.51	74.00	5.00	4.70	
4.20	1604	551.53	54.60	9.21	10.37	4.96	2.09	0.54	0.19	0.013	2.52	74.20	4.90	4.80	
7.15	1605	533.74	54.40	8.16	10.62	4.97	2.14	0.54	0.19	0.013	2.49	74.50	5.00	4.80	
10.15	1606	547.03	53.80	8.00	10.94	5.03	2.17	0.53	0.25	0.013	2.45	74.80	4.90	5.00	
12.15	1607	551.99	53.50	8.00	11.35	5.15	2.20	0.52	0.19	0.014	2.41	74.20	5.00	4.20	
15.00	1608	691.66	53.50	8.00	11.34	5.15	2.20	0.52	0.18	0.014	2.43	74.50	4.70	4.00	
18.15	1609	687.82	53.70	10.96	10.91	5.45	2.00	0.53	0.19	0.016	2.50	74.30	4.80	4.30	
21.50	1610	682.15	53.90	9.92	10.98	5.41	2.03	0.53	0.19	0.014	2.50	74.50	4.70	4.20	
23.40	1611	673.81	53.70	8.00	11.02	5.12	2.15	0.53	0.19	0.013	2.48	74.40	4.80	4.40	
2.40	1612	688.08	54.00	8.70	10.80	4.90	2.20	0.55	0.20	0.014	2.50	74.80	5.00	4.60	
5.15	1613	688.46	54.50	8.04	10.28	5.06	2.03	0.54	0.19	0.012	2.54	75.00	4.80	4.50	
8.30	1614	685.99	54.30	8.55	10.44	5.12	2.04	0.53	0.19	0.012	2.51	75.30	5.30	4.60	
11.40	1615	686.30	54.10	8.84	10.74	4.96	2.17	0.53	0.20	0.013	2.47	75.50	5.00	4.90	
14.20	1616	679.05	54.40	9.64	10.45	4.91	2.13	0.53	0.18	0.015	2.49	74.80	4.80	4.50	
16.40	1617	687.08	54.30	9.07	10.43	5.04	2.07	0.53	0.19	0.013	2.50	75.20	4.90	4.60	
20.40	1618	696.99	54.70	10.17	10.31	5.07	2.03	0.53	0.19	0.014	2.49	75.50	5.30	5.00	
22.00	1619	687.24	54.20	8.84	10.62	5.02	2.12	0.53	0.19	0.013	2.47	75.20	5.40	5.30	
1.20	1620	676.41	54.30	10.26	10.51	5.07	2.07	0.53	0.18	0.013	2.49	75.60	5.00	4.60	
3.15	1621	676.53	54.50	9.76	10.46	5.11	2.05	0.53	0.18	0.012	2.49	75.50	4.80	4.20	
6.00	1622	680.39	54.20	10.52	10.77	5.23	2.06	0.52	0.18	0.013	2.46	75.10	4.70	4.50	
8.40	1623	669.68	54.00	8.77	10.84	5.07	2.14	0.52	0.18	0.012	2.44	75.20	4.70	4.60	
10.50	1624	676.79	54.10	10.17	10.87	5.14	2.11	0.52	0.18	0.014	2.48	75.90	5.00	4.50	
14.40	1625	677.85	54.40	10.59	10.61	5.09	2.08	0.52	0.18	0.014	2.49	74.60	4.80	4.70	
17.50	1627	690.26	54.20	11.20	10.81	5.20	2.08	0.52	0.18	0.015	2.48	78.00	4.70	3.90	
20.30	1628	673.22	54.40	10.99	10.55	5.17	2.04	0.52	0.18	0.016	2.48	75.60	4.50	4.20	
23.30	1629	680.89	54.10	10.80	10.81	5.41	2.00	0.51	0.21	0.016	2.47	75.40	4.70	4.50	
3.00	1630	688.50	53.50	9.40	11.43	5.37	2.13	0.52	0.19	0.015	2.46	75.00	4.80	4.60	
5.00	1631	686.76	54.00	9.96	11.00	5.10	2.16	0.52	0.18	0.014	2.45	74.60	4.80	5.00	
8.30	1632	682.49	54.40	10.21	10.76	5.16	2.09	0.53	0.18	0.018	2.50	74.80	5.00	4.80	
11.25	1633	685.18	53.90	10.39	10.96	5.36	2.04	0.53	0.18	0.016	2.50	75.30	4.70	5.20	
13.50	1634	682.95	54.10	9.94	10.86	5.12	2.12	0.52	0.19	0.015	2.47	75.10	4.80	5.00	
17.45	1635	684.92	53.90	8.92	10.92	4.98	2.19	0.52	0.19	0.016	2.45	74.60	4.80	4.70	
20.40	1636	690.70	54.00	9.71	10.78	5.22	2.07	0.52	0.18	0.014	2.46	74.70	4.90	4.60	
2.50	1637	905.29	54.00	11.52	10.90	5.12	2.13	0.53	0.18	0.020	2.47	75.40	4.70	4.20	
Итого			26 027.53	54.09	9.75	10.79	5.13	2.102	0.53	0.19	0.014	2.48	74.91	4.88	4.60

Качество шихтовых материалов в период промышленных испытаний соответствовало требованиям ТИ-ШП-7-2008 «Подготовка и дозировка шихтовых



материалов для окучивания концентрата». Основным фактором, определившим результаты испытаний, явилась возросшая степень окомкования аглошихты, которая составила 74,4% против 50,3% в базовом периоде, т. е. почти в полтора раза. Механическая прочность произведенного агломерата повысилась и составила: массовая доля класса более 5 мм - 74,91% против 73,48%, содержание мелочи составило 4,60%, против 4,89% (июнь 2012г) истираемость осталась практически на прежнем уровне.

Производительность агломашин в период промышленных испытаний повысилась на 14,9% и составила 252,2 т/л*час против 219,5 т/л*час (июнь 2012г. при работе одной агломашинной), при пересчете на две работающие агломашинные, ожидаемая производительность составит 258,0 т/л*час, или свыше 4100 тыс.т по году. Высота слоя составила 425 мм в среднем (450мм max) против 350 мм (июнь 2012г.).

При этом экономия коксовой мелочи составила 8,44кг/т, или 14,17%, электроэнергии 4,0 кВт*час/т, или 8,9%, известняка 46,0кг/т, или 27,2%.

Показатели технологического процесса производства агломерата в период промышленных испытаний представлены в таблице 4 (за июнь отчетные, за период испытаний – оперативные)

Примечание: * - показатели при работе одной агломашинной.

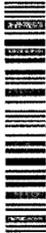
Таблица 4

		июнь 2012г	30.07 Исм-4.08 I см 2012г
Расход профилакированного концентрата, т			6000
Производство агломерата, т		292776	26027
Концентрат отгруж. без профилакт.			
Влага, м.д., %		9,6	9,67
Химический состав, м.д., %	Fe	60,35	60,55
	CaO	1,85	1,77
	SiO ₂	4,92	4,78
	V ₂ O ₅	0,580	0,585
Концентрат профилакированный			
Влага, м.д., %			8,15
Химический состав, м.д., %	Fe		52,01
	CaO		11,01
	SiO ₂		4,73
	V ₂ O ₄		0,493
	CaO св.		7,02



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЕВРАЗ КАЧКАНАРСКИЙ
ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ»

мы делаем мир сильнее



Твердое топливо			
Влага, м.д., %	10,35	7,03	
м. д. класса более 4 мм, %	6,57	6,43	
м. д. класса менее 0,5 мм, %	30,31	26,04	
зола, м.д., %	14,65	14,28	
С _{общ} в шихте, %	3,11	2,65	
С _{ост} в возврате, %	0,106	0,08	
Известняк			
м.д.СаО, %	54,62	54,66	
м.д. SiO ₂ , %	0,56	0,92	
ппп, %	42,4	41,07	
Влага, м.д., %	1,72	1,56	
Степень окомкования аглошихты, %	50,3	74,4	
Качество произведенного агломерата из-под тетки			
Химический состав, м.д., %	Fe	54,05	54,09
	FeO	9,25	9,75
	CaO	10,6	10,79
	SiO ₂	5,04	5,14
	основность, д.ед.	2,103	2,103
	V ₂ O ₅	0,526	0,528
	TiO ₂	2,48	2,48
	S _{общ}	0,014	0,014
Механическая прочность, м.д., %	+ 5 мм	73,48	74,91
	- 0,5 мм	4,86	4,88
	- 5 мм	4,89	4,60
6 Удельные расходы			
концентрат, кг/т (влажный вес) общий	1003,8	1065,25	
твердое топливо, кг/т сух.вес	56,91/59,55*	51,11	
известняк, кг/т	168,66	122,64	
эл/энергия, кВт*ч/т	42,32/46,03*	42,02	
газ, м ³ /т	4,95	4,95	
Производительность агломашин т/л.час	222,31/219,5*	(245 ÷ 270)/252,2ср.	
Высота слоя шихты, мм	350	410 ÷ 450	

5 Экономические показатели

Исходные данные		
Наименование показателя	бюджет	факт
Удельный расход на агломерат:		
- концентрата сухого, кг/т	904,99	752,71
- концентрата влажного, кг/т	1 003,32	834,49
- концентрата профилированного сухого, кг/т		207,69
- концентрата профилированного влажного, кг/т		230,77
- известняка влажного, кг/т	169,73	122,64
- кокса сухого, кг/т	60,57	51,11
- кокса влажного, кг/т	67,30	56,79
- известь обожженная, кг/т		25
Удельный расход на тонну агломерата		
газа, м ³ /т	5,17	5,17
электроэнергии, кВт*ч/т	45,95	42,02

Расчет изменения себестоимости агломерата с использованием профилактированного концентрата

Наименование	использование собственного концентрата					на 1 тн агломерата		использование профилактированного концентрата					на 1 тн агломерата	
	объем произв одства, тн	норма расхода	кол-во, тн	цена, руб.	сумма, тыс. руб.	кол-во, тн	сумма, руб.	объем произв одства, тн	норма расхода	кол-во, тн	цена, руб.	сумма, тыс. руб.	кол-во, тн	сумма, руб.
СЫРЬЕ И ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ					37 296		1 432.96					43 363		1 666.05
Концентрат	26 028	1 003.32	26 114	1 129.17	29 487	1 003.32	1 132.92	26 028	834.49	21 720	1 129.17	24 525	834.49	942.28
Концентрат профилактированный								26 028	230.77	6 006	2 075.37	12 465	230.77	478.93
Известняк	26 028	169.73	4 418	405.72	1 792	169.73	68.86	26 028	122.64	3 192	405.72	1 295	122.64	49.76
Кокс	26 028	67.30	1 752	3 435.07	6 017	67.30	231.18	26 028	56.79	1 478	3 435.07	5 077	56.79	195.08
ЭНЕРГОЗАТРАТЫ					2 826		97.06					2 347		90.16
Электроэнергия	26 028	45.95	1 196	1 756	2 100	45.95	80.69	26 028	42.02	1 094	1 756	1 920	42.02	73.79
Природный Газ	26 028	5.17	135	3 166	426	5.17	16.37	26 028	5.17	135	3 166	426	5.17	16.37
Условно-постоянные расходы*					5 835		224.19					5 835		194.59
Сумма					45 658		1 754.20					51 545		1 980.39

Примечание:
Расчет произведен: нормы - по бюджетным данным за 2012г., цены план июля 2012г.
Достигнутая производительность на период проведения эксперимента 258 тн/час при плане 224 тн/час
* снижение условно-постоянных расходов на 1 тн при увеличении производительности

Расчет изменения себестоимости агломерата с использованием извести обожженной

Наименование	использование известняка					на 1 тн агломерата		использование извести обожженной					на 1 тн агломерата	
	объем произв одства, тн	норма расхода	кол-во, тн	цена, руб.	сумма, тыс. руб.	кол-во, тн	сумма, руб.	объем произв одства, тн	норма расхода	кол-во, тн	цена, руб.	сумма, тыс. руб.	кол-во, тн	сумма, руб.
СЫРЬЕ И ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ					442 089		1 432.96					447 098		1 449.26
Концентрат	308 500	1 003.32	309 524	1 129	349 505	1 003.32	1 132.92	308 500	1 007.16	310 709	1 129	350 843	1 007.16	1 137.25
Известняк	308 500	169.73	52 382	406	21 244	169.73	68.86	308 500	128.08	39 513	406	16 031	128.08	51.96
Известь обожженная								308 500	25.00	7 713	2 600	20 053	25.00	65.00
Кокс	308 500	67.30	20 762	3 435	71 319	67.30	231.18	308 500	56.78	17 517	3 435	60 171	56.78	195.04
ЭНЕРГОЗАТРАТЫ					29 942		97.06					27 813		90.16
Электроэнергия	308 500	45.95	14 176	1 756	24 892	45.95	80.69	308 500	42.02	12 983	1 756	22 763	42.02	73.79
Природный Газ	308 500	5.17	1 595	3 166	5 050	5.17	16.37	308 500	5.17	1 595	3 166	5 050	5.17	16.37
Условно-постоянные расходы*					69 163		224.19					69 163		194.59
Сумма					541 174		1 754.20					544 073		1 763.61

Примечание:
Расчет произведен: нормы - по бюджетным данным за 2012г., цены и производство- план июля 2012г.
Производительность на период проведения эксперимента 258 тн/час при плане 224 тн/час
* снижение условно-постоянных расходов на 1 тн при увеличении производительности
Цена извести обожженной из программы SAP R3

Из сравнения вариантов видно, что рекомендовать к внедрению необходимо вариант с прямым вводом извести в шихту.

Примечание: в сравнительных расчетах не учтены затраты по Сарех на внедрение мероприятий для приема и дозирования извести, а так же на модернизацию существующего оборудования.

6 Охрана труда и промышленная безопасность

Информация по результатам исследования содержания пыли в воздухе рабочей зоны в цехе шихтоподготовки

№ пп	Точка динамического контроля	Концентрация пыли, мг/м ³ (с начала года)	Концентрация пыли, мг/м ³ (на момент замера)	Примечание
23 июля 2012 года				
1	Операторская вагоноопрокидывателя	4.4	2.0	
2	Приёмный бункер	8.3	3.0	
3	Конвейера № 9-10, середина	5.4	5.1	работал конвейер № 10
4	Конвейера № 9-10, головная часть	5.5	3.1	
5	Конвейера № 11-12, площадка обслуживания	5.7	6.1	работал конвейер № 12
6	Конвейера № 13-15, площадка обслуживания	4.9	6.1	работал конвейер № 15
7	Кабина грейферного крана	5.6	2.6	
30 июля 2012 года				
1	Площадка конвейеров № 5,6	4.0	6.1	работал конвейер № 5
2	Конвейера № 54,55, р.м. дозировщика	3.9	3.9	работал конвейер № 54
3	Операторская № 3	2.9	2.8	

7 Выводы и рекомендации:

7.1 Несмотря на кратковременность проведенных испытаний, добавка извести в аглошихту в количестве 25 кг/т. агломерата показала высокую эффективность. Результаты испытаний хорошо коррелируются с испытаниями с аглофлюсом при практическом отсутствии проблем с превышением содержания пыли в воздухе рабочей зоны на рабочих местах.



7.2 Достигнуты следующие показатели:

- механическая прочность произведенного агломерата повысилась и составила: массовая доля класса более 5 мм - 74,91% против 73,48%, содержание мелочи составило 4,60 %, против 4,89 % (июнь 2012г) истираемость осталась практически на прежнем уровне;
- производительность агломашин в период промышленных испытаний повысилась на 14,9% и составила 252,2 т/л*час против 219,5 т/л*час (июнь 2012г. при работе одной агломашинной), при пересчете на две работающие агломашинные, ожидаемая производительность составит 258,0 т/л*час, или свыше 4100 тыс.т по году;
- высота слоя составила 425 мм в среднем (450мм max) против 350 мм (июнь 2012г.);
- экономия коксовой мелочи составила 8,44кг/т, или 14,17%;
- экономия электроэнергии 4,0 кВт*час/т, или 8,9%;
- экономия известняка 46,0кг/т, или 27,2% (данные по известняку подлежат уточнению, исходя из реального качества извести при реализации ИП).

7.3 Для осуществления ИП необходимо внедрить следующие основные технические мероприятия:

- строительство комплекса оборудования по приему, складированию и дозированию обожженной извести на ЕВРАЗ КГОК;
- усиление отм. +15,0м, корпуса агломерации замена приводов окомкователей с доведение числа оборотов окомкователей до 6,0 об/мин.;
- модернизация загрузочных устройств на агломашинах;
- модернизация горнов агломашин;
- в целом тракт охлаждения со своей задачей справлялся (температура охлажденного агломерата не превышала 250 °С) и существенной модернизации не требует. Необходимо исключить (на повышенной производительности) возможность работы на одном дымососе. Выполнить мероприятия по повышению надежности оборудования, а также по визуализации работы отделения охлаждения и дистанционного управления;
- выполнить мероприятия по улучшению работы газоотводящих трактов и газоочистки;

- определить поставщика обожженной извести, готовой к употреблению (крупность $0,0 \div 1,0$ мм, содержание СаО не менее 90,0 %).



Главный металлург

Д.Н. Волков

Начальник ФОК

В.А. Глухих

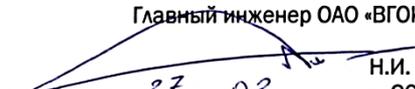
Начальник УКП

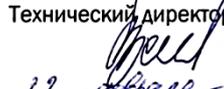
Н.А. Сытых

Исп. Леушин В.Н.
Тел. (34341) 6 41-01

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Совместная (АО «ЕВРАЗ НТМК» – ОАО «ВГОК») программа по производству и доменной плавке опытного железоблеса со шлаком ВОС

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер ОАО «ВГОК»

«27» 02 2018 г. Н.И. Рябов

УТВЕРЖДАЮ
Технический директор АО «ЕВРАЗ НТМК»

«22» 02 2018 г. П.А. Зажигаев

СОВМЕСТНАЯ ПРОГРАММА

по производству в ОАО «ВГОК» железоблеса
с привлечением в аглошихту шлаков участка внепечной обработки стали и
шлаков установки десульфурации АО «ЕВРАЗ НТМК»

В конвертерном цехе АО «ЕВРАЗ НТМК» образуется более 90 тыс. тонн в год шлаков внепечной обработки стали (ВОС) с установок ковш-печь, которые в полном объеме вывозятся в отвал. Эти шлаки имеют технологическую ценность для агломерации в части повышенного содержания в них подготовленного СаО – до 60,0%.

На шлаковый отвал АО «ЕВРАЗ НТМК» вывозится около 30 тыс. тонн в год шлаков установки десульфурации (десул.), которые являются ценным железосодержащим материалом (содержание Fe_{общ} до 65,0%).

Цель работы:

1. Оценка возможности использования шлаков участка внепечной обработки стали и шлаков установки десульфурации ЕВРАЗ НТМК в аглошихте железоблеса.
2. Снижение экологической нагрузки АО «ЕВРАЗ НТМК».
3. Увеличение объемов использования в доменной плавке ЕВРАЗ НТМК железоблеса.
4. Снижение объемов использования в доменную плавку ЕВРАЗ НТМК окатышей ЕВРАЗ КГОК и реализация их на сторону.
5. Снижение объемов использования сырого известняка в шихте железоблеса.
6. Повышение физико-химических показателей готового железоблеса.
7. Улучшение технико-экономических показателей работы ДЦ при использовании в плавку опытного железоблеса.
8. Улучшение экономической эффективности работы АО «ЕВРАЗ НТМК» и ОАО «ВГОК».

№ п.п.	Наименование этапа	Содержание этапа	Срок исполнения	Исполнители
1	Подготовительные работы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет агломерационных шихт железоблеса с привлечением: <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Отдельно, шлака ВОС; 1.2 Отдельно, шлака десул. 1.3 Шлака ВОС и шлака десул., вместе. 2. Анализ и согласование расчетных показателей каждой шихты железоблеса. 3. Выбор приоритетного направления работы по привлечению в аглошихту каждого шлака отдельно, либо вместе. 4. Отбор пробы шлака ВОС в количестве около 100 кг. 5. Отбор пробы шлака десул. в количестве около 100 кг. 6. Доставка проб в корпус 3 управления ЕВРАЗ НТМК (ЦЛК), каб. № 70 бюро ЖР и СМ ТУ (Темников В.В.). 7. Оформление разрешительных документов на вывоз проб шлаков ВОС (≈100 кг) и шлаков десул. (≈100 кг) с территории АО «ЕВРАЗ НТМК». 	Февраль-март 2018	<p>Мамонов А.Л. - гл. агломератчик ОАО «ВГОК»;</p> <p>Смирнов П.Г. – зам. нач. ПРУ ЕВРАЗ НТМК;</p> <p>Темников В.В. - нач. бюро ЖР и СМ ТУ ЕВРАЗ НТМК</p>

2	Проведение серии лабораторных спеканий опытного железоблюса	<ol style="list-style-type: none"> 1. Доставка проб шлаков ВОС (≈100 кг) и шлаков десул. (≈100 кг) в агломерационную лабораторию ОАО «ВГОК». 2. Проведение серии лабораторных спеканий железоблюса из шихты в соответствии с п.п. 1 – 3 подготовительного этапа работы. 3. Определение химического состава образцов лабораторного железоблюса и его механических свойств. 4. Анализ и оценка показателей лабораторного железоблюса. 5. Корректировка объемов дозировки в аглошихту шлаков ВОС и десул., при необходимости. Проведение дополнительных лабораторных спеканий. 6. Оформление заключения по проведению лабораторных спеканий. 	Апрель-май 2018	<p>Темников В.В. – нач. бюро ЖР и СМ ТУ ЕВРАЗ НТМК;</p> <p>Волков Д.Н. – нач. центральной лаборатории ОАО ВГОК»;</p> <p>Мамонов А.Л. – гл. агломератчик ОАО «ВГОК».</p>
3	Принятие решения о целесообразности использования в аглошихте шлаков ВОС и десул.	<ol style="list-style-type: none"> 1. По результатам заключения установить объемы возможного ежемесячного использования шлаков ВОС и десул. при производстве железоблюса. 2. Рассчитать и предоставить агломерационные шихты с включением возможного месячного объема использования шлаков ВОС и десул. 3. На основании предоставленных шихт рассчитать ожидаемый экономический эффект для АО «ЕВРАЗ НТМК» и ОАО «ВГОК» от использования шлаков ВОС и десул. в шихте железоблюса. 4. Принять решение о целесообразности проведения дальнейшей работы по привлечению шлаков ВОС и десул. в шихту железоблюса. 5. При положительном решении приступить к выполнению следующих этапов работы. 	Май-июнь 2018	<p>Мамонов А.Л. – гл. агломератчик ОАО «ВГОК»;</p> <p>Темников В.В. – нач. бюро ЖР и СМ ТУ ЕВРАЗ НТМК;</p> <p>Мельникова И.В. – нач. управления экономики производства ЕВРАЗ НТМК;</p> <p>Ильченко О.С. – начальник ПЭО ОАО «ВГОК»</p>
4	Поставка шлаков ВОС и десул. в ОАО «ВГОК»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Согласование плановой шихты железоблюса на следующий месяц, с объемами использования шлаков ВОС, десул. и основного сырья, и объемами производства железоблюса. 2. Проработка и выбор эффективных методов подготовки и погрузки шлаков ВОС и десул., в т.ч. с возможным привлечением ООО «Технологии металла». 3. Погрузка опытно-промышленной партии шлаков ВОС и десул. в ж/д транспорт и поставка в ОАО «ВГОК», вместе с другими материалами в соответствии с согласованной шихтой. 	Июнь-июль 2018	<p>Мамонов А.Л. – гл. агломератчик ОАО «ВГОК»;</p> <p>Смирнов П.Г. – зам. нач. ПРУ ЕВРАЗ НТМК;</p> <p>Темников В.В. – нач. бюро ЖР и СМ ТУ ЕВРАЗ НТМК</p>

5	Производство опытной партии железоблюса	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прием партии материалов в Лебяжинском аглоцехе ОАО «ВГОК». 2. Проведение входного контроля всех компонентов шихты железоблюса, в т.ч. шлаков ВОС и десульфурации. 3. Организация подготовки и дозировки компонентов в аглошихту. 4. Опытно-промышленное спекание железоблюса со шлаками ВОС и десул. 5. Проведение аттестации каждой партии опытного железоблюса. 6. Осуществление систематического контроля со стороны сотрудников ТУ ЕВРАЗ НТМК процесса аттестации опытного железоблюса. Передача сотрудникам ЕВРАЗ НТМК контрольного порошка совместно-аттестованной партии ж/ф. 	Август 2018	<p>Мамонов А.Л. – гл. агломератчик ОАО «ВГОК»;</p> <p>Скакун Л.А. – нач. ОТК ОАО «ВГОК»;</p> <p>Шешуков Ю.М. – нач. Лебяжинского аглоцеха ОАО «ВГОК»;</p> <p>Темников В.В. – нач. бюро ЖР и СМ ТУ ЕВРАЗ НТМК</p>
6	Поставка опытной партии железоблюса в ДЦ. Проведение опытно-промышленной работы по использованию в ДЦ железоблюса со шлаками ВОС и десул.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оформление заказа на испытание и получение от ЦЛК ЕВРАЗ НТМК данных химического анализа каждого контрольного порошка опытного железоблюса. Оценка результатов химанализа. 2. Поставка опытно-промышленной партии железоблюса в ДЦ ЕВРАЗ НТМК. 3. Разгрузка опытной партии железоблюса в бункера доменных печей или на р/двор ДЦ. 4. Доменная проплавка партии железоблюса, произведенного с привлечением в аглошихту шлаков ВОС и десул., осуществляется по внутренней программе ОНР ДЦ ЕВРАЗ НТМК. 	Август-сентябрь 2018	<p>Темников В.В. – нач. бюро ЖР и СМ ТУ ЕВРАЗ НТМК;</p> <p>Галкин А.А. – зам. нач. ПРУ ЕВРАЗ НТМК;</p> <p>Мамонов А.Л. – гл. агломератчик ОАО «ВГОК»;</p> <p>Миронов К.В. – нач. ДЦ ЕВРАЗ НТМК</p>
7	Отчет по работе	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ полученных результатов работы. 2. Оформление заключения. Передача заключения ОАО «ВГОК» в АО «ЕВРАЗ НТМК». 	Сентябрь 2018	Мамонов А.Л. – гл. агломератчик ОАО «ВГОК»

от ЕВРАЗ ВГОК

Директор по производству

С.Ю. Жбанов

Начальник ТУ

Р.А. Гельбинг

Главный агломератчик

А.Л. Мамонов

от ЕВРАЗ НТМК

Начальник ПРУ

А.А. Грац

Начальник ТУ

М.В. Савельев

Начальник ДЦ

К.В. Миронов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Отчет о лабораторных спеканиях шлака ВОС в шихте железоблюса



Научно-производственное региональное объединение «УРАЛ»



Открытое Акционерное Общество
«ВЫСОКОГОРСКИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ»
(ОАО «ВГОК»)

г. Нижний Тагил

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер ОАО «ВГОК»
Н. И. Рябов
« 08 » 05 2018

Отчёт

о лабораторных испытаниях привлечения шлаков участков внепечной обработки стали и десульфурации в шихту железоблюса НТМК.

Цель работы:

Определение влияния шлаков участков внепечной обработки стали (ВОС) и десульфурации на качество железоблюса и показатели процесса агломерации.

В агломерационную лабораторию доставлены три вида шлака ВОС: исходный, полуразложившийся и разложившийся. В процессе остывания и выдержки на шлакоотвале исходный шлак ВОС рассыпается в мелкодисперсный порошок. Путём лабораторных спеканий опробованы все виды шлаков.

Химический состав шлаков приведён в таблице 1.

	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	S	TiO ₂	FeO	Mn	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅
	х/а по данным ЕВРАЗ НТМК									
Шлак десульфурации	63.0	6.5	2.3	2.1	0.80	н/д	н/д	4.03	1.2-11.7	3.00
Шлак ВОС	0.9	57.0	23.0	10.6	0.21	0.28	1.2	0.73	15.2	0.07
	х/а по данным ВГОК									
Шлак десульфурации	61.5	15.8	4.9	4.4	0.60	2.52	76.6	2.71	3.1	3.54
Шлак ВОС (исходный)	2.0	64.1	14.0	3.0	0.07	0.09	2.2	0.90	11.9	0.04
Шлак ВОС (полуразлож-ся)	2.2	63.2	17.1	2.8	0.18	0.09	2.0	0.13	9.8	0.01
Шлак ВОС (разлож-ся)	4.2	59.3	19.3	4.9	0.04	0.12	3.5	0.23	10.9	0.02

Среднегодовые объёмы образования шлаков: участка десульфурации – 30 тыс. т/год, участка ВОС – 90 тыс. т./год. Для расчёта годовой шихты железоблюса с привлечением данного вида шлаков принят химический анализ НТМК. Варианты базовой и опытной шихт приведены в приложении I и II, с условием полного забора шлаков в шихту и увеличении объёма производства железоблюса.

Учитывая повышенную основность проб шлаков доставленных на лабораторные спекания, расчёт шихт на спекания произведён с условием полного замещения сырого известняка в составе.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты лабораторных спеканий железобитумента НТМК с шлаками ВОС и десульфурации

	База	Опыт № 1	Опыт № 2	Опыт № 3	Опыт № 4	Опыт № 5
		с шлаком десульфурации	с шлаком десульфурации и шлаком ВОС исходным	с шлаком десульфурации и шлаком ВОС полуразложившимся	с шлаком десульфурации и шлаком ВОС разложившимся	с шлаком десульфурации и смесью шлаков ВОС*
Состав шихты, %						
Известняк	4,3	4,1	-	-	-	-
Смесь отходов НТМК	82,0	79,5	77,2	75,9	71,0	75,6
СКШ	4,5	4,4	4,2	4,1	3,9	4,1
шлак ЦУШ	9,2	8,9	8,7	8,5	8,0	8,5
шлак десульфурации (фр. 0-10 мм)	-	3,1	3,0	2,9	2,7	2,9
шлак ВОС (фр. 0-3 мм)	-	-	6,9	8,6	14,3	8,9
Кокс (сверх 100%)	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Возврат	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
Показатели процесса и качество агломерата						
Высота слоя шихты, мм	250	240	245	250	250	245
Влажность шихты, %	6,5	6,3	6,4	6,3	6,2	6,3
Вертик. скор. спекания, мм/мин	13,2	12,3	12,3	13,0	13,9	12,9
Уд. произв-ть а/установки, т/м ² ч	1,048	1,122	1,088	1,087	1,175	1,112
Выход годного агломерата, %	86,2	86,8	88,5	85,5	86,1	86,7
Содержание фракции -5 мм, %	13,8	13,2	11,5	14,5	13,9	13,3
Прочность, Б+5 мм	67,7	68,0	68,0	69,1	71,2	68,9
Истираемость, Б-0,5 мм	4,9	4,5	4,4	4,6	4,1	4,4
Химический состав агломерата, %						
Fe	51,3	51,7	49,0	48,6	48,0	48,2
CaO	11,60	11,74	12,51	13,98	14,33	13,87
SiO ₂	5,68	5,41	5,66	6,72	6,34	6,14
Основность	2,24	2,17	2,21	2,08	2,26	2,26
MgO	2,72	2,88	3,20	2,92	2,96	3,05
Mn	0,47	0,47	0,45	0,44	0,44	0,44
Al ₂ O ₃	2,67	2,73	3,13	3,44	3,47	3,40
V ₂ O ₅	0,57	0,59	0,60	0,57	0,57	0,58
TiO ₂	1,95	1,90	1,90	1,86	1,84	1,85
FeO	19,8	22,3	20,3	20,0	19,1	19,7

* - смесь исходного, полуразложившегося и разложившегося шлаков ВОС в соотношении 1:1:1

Исходная крупность шлаков – до 100 мм (Рис. 1-4). При подготовке к спеканиям шлак десульфурации измельчался до фр. 0-10 мм, шлаки ВОС – до 0-3 мм.



Рис. 1. Шлак участка десульфурации НТМК



Рис. 2. Шлак ВОС исходный

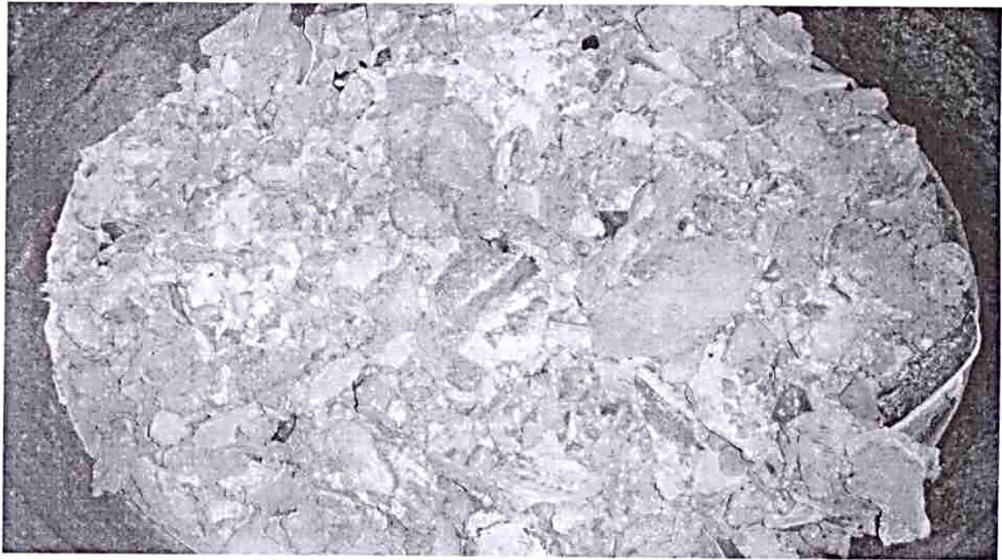


Рис. 3. Шлак ВОС полуразложившийся

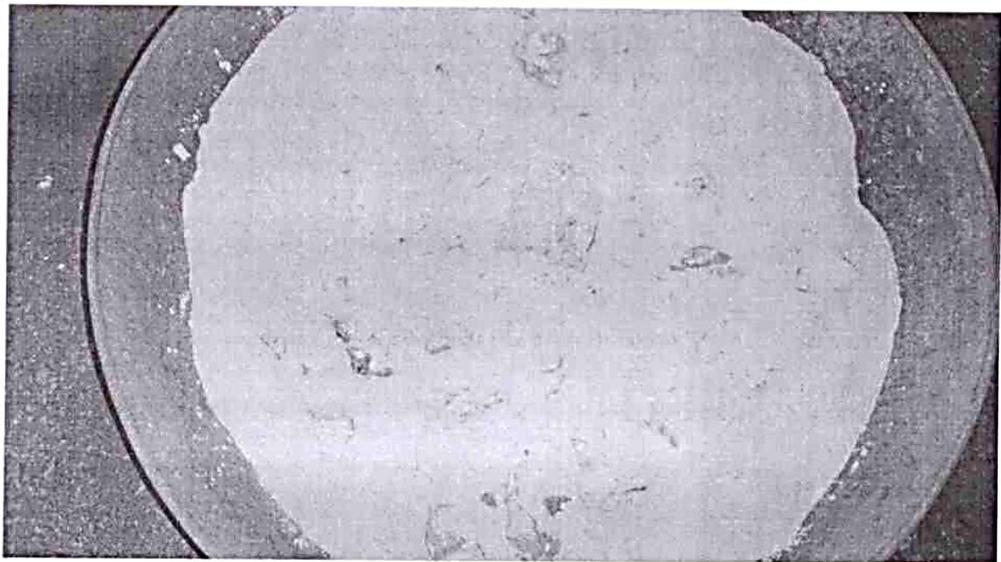


Рис. 4. Шлак ВОС разложившийся

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ:

1. Привлечение шлаков участков ВОС и десульфурации возможно.
2. Ухудшения показателей прочности железобетона и снижение удельной производительности не прогнозируется.
3. При полном замещении сырого известняка в шихте ожидается снижение расхода кокса на спекание на $\geq 5,0\%$ отн.
4. Снижение расхода сырого известняка в шихте составит $24,2\%$ (отн.) с $40,5$ кг/т до $26,6$ кг/т железобетона.
5. Относительно годового расчёта шихт (Приложения I, II) прогнозируются следующие изменения химического состава железобетона:
 - снижение содержания Fe на $-4,5\%$ абс.;
 - снижение содержания TiO_2 на $-0,1\%$ абс.;
 - увеличение содержания Al_2O_3 на $+1,3\%$ абс.;
 - увеличение содержания MgO на $+0,6\%$ абс.
6. Привлечение шлаков участков ВОС и десульфурации рекомендовано к промышленным испытаниям.

Начальник технического управления -
заместитель главного инженера

Главный агломератчик

Начальник ЦЛК



Р. А. Гельбинг

А. Л. Мамонов

Д. Н. Волков



Научно-производственное региональное объединение «УРАЛ»

Приложение I

Железные ВМЖ 2018 701 ВМЖ

Период производства - 2018 года

Наименование материала	Сырье	Классиф. код	Ед. изм.	Содержание компонентов в %										Содержание компонентов в т.т.			Размер фракц. (Стр.)	
				Fe	CaO	SiO2	Al2O3	SiO2	CaO	SiO2	Fe	CaO	SiO2	Железа	Магн.	Железа		
Звезда	3,206	1,000	3,000	0,00	5,950	50,300	0,00	0,000	0,000	0,000	2,490	1,100	0,000	3,21	0,00	0,19	1,61	0,005
Классификатор	28,367	0,985	27,970	0,00	54,000	0,870	41,86	0,041	0,000	0,000	0,390	0,000	0,000	16,25	0,00	15,10	0,24	0,040
Материал железобетон	46,900	0,978	45,842	55,00	3,170	2,230	1,03	0,170	1,160	0,040	1,460	2,230	0,560	45,34	25,24	1,45	1,02	0,065
Материал железобетон	1,200	0,945	1,134	39,50	14,770	14,200	4,80	0,100	0,930	0,040	6,690	1,900	0,630	1,540	0,45	0,17	0,16	0,002
Материал железобетон	54,900	0,945	51,864	60,00	14,600	15,640	4,72	0,090	0,930	0,060	8,780	1,900	0,540	1,230	0,90	31,12	7,57	7,80
Материал железобетон	417,262	0,998	416,427	53,20	11,350	4,920	0,80	0,030	2,170	0,040	2,910	2,500	0,420	412,97	221,54	47,26	20,49	0,594
Материал железобетон	2,000	0,980	1,940	0,00	54,300	1,140	81,83	0,021	0,000	0,000	0,440	0,000	0,000	1,14	0,00	1,06	0,02	0,003
Материал железобетон	93,500	0,945	92,220	40,20	16,660	6,530	3,31	0,195	1,930	0,050	3,910	2,600	0,540	90,78	37,47	6,23	6,06	0,133
Материал железобетон	75,600	0,954	73,122	64,00	4,150	1,330	3,49	0,100	0,230	0,040	1,160	0,530	0,360	47,16	2,89	0,95	0,263	
Материал железобетон	42,000	1,000	42,000	30,40	11,880	0,290	1,02	0,180	1,120	0,040	11,460	1,100	3,180	41,50	12,77	13,39	2,64	0,080
Материал железобетон	26,000	0,925	24,042	42,00	11,530	6,910	5,87	0,140	0,760	0,050	2,560	0,800	0,230	32,60	10,10	2,77	1,66	0,034
Итого	780,934		774,836											753,76	384,84	98,20	42,69	1,112
Выходные			54,069											54,069	26,34			
Железные	701,000																	

Fe в железобетоне	51,0560	Исходные	7,00
Основность	2,3000	Классиф. стоимость деульфы	- 0,700
Содержание в железобетоне: (т)			
CaO	11,0276	SiO2	5,6642
Al2O3	1,681	Ca	0,043
MgO	3,719	Al2O3	2,292
ZnO	0,590	Mn	0,499
Zn	0,065		
Содержание в шихте: (т)			
Fe	49,31	CaO	12,5920
SiO2	5,4746		
Al2O3	1,625	Ca	0,041
MgO	3,595	Al2O3	2,215
ZnO	0,570	Mn	0,482
Zn	0,064		
Себа в железобетоне	0,0361		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Нормативно-технический документ (техническое соглашение) для бухгалтерского учета и осуществления поставки шлака ВОС



СОГЛАСОВАНО

Главный инженер ОАО «ВГОК»
Н.И. Рябов

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор
ЕВРАЗ ИТМК

Письмо от 3 июля 18 г. № 15-06/40.

П.А. Зажигаев

2018



ШЛАКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ДЛЯ ПЕРЕПЛАВКИ

ТЕХНИЧЕСКОЕ СОГЛАШЕНИЕ

ТС 00186269- 352 -2018
(Введено впервые)

Дата введения 12.07.2018

Основание – Письмо ОАО «ВГОК» № 01-23-264 от 29.05.2018

Всего страниц 2

2	ТС 00186269- 352 -2018
---	------------------------

Настоящее техническое соглашение распространяется на шлак металлургический для переплавки, являющийся продуктом, образующимся при внепечной обработке стали.

Пример условного обозначения шлака металлургического для переплавки, образующегося при внепечной обработке стали (далее – шлак ВОС), в других документах и при заказе:

Шлак ВОС ТУ 0798-195-00186269-2011, ТС 00186269- 352-2018

1 Шлак ВОС изготавливается и поставляется в соответствии с ТУ 0798-195-00186269-2011 со следующими дополнениями технических требований:

1.1 Крупность зерен шлака ВОС – от 0 до 100 мм.

1.2 Шлак ВОС не должен содержать посторонних примесей (боя огнеупорного кирпича, дерева, бетона и т.п.).

РАЗРАБОТАНО

Начальник
технического управления
АО «ЕВРАЗ НТМК»

М.В. Савельев

«25» 05 2018

Зарегистрировано АО «ЕВРАЗ НТМК» 04.07 .2018

Главный специалист
бюро стандартизации

У.С.

О.А. Чубелова

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Отчет о промежуточных опытно-промышленных спеканиях железофлюса со шлаком ВОС



Научно-производственное региональное объединение «УРАЛ»



Открытое Акционерное Общество
«ВЫСОКОГОРСКИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ»
(ОАО «ВГОК»)

г. Нижний Тагил

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер
Н. И. Рябов
« 03 » 09 2018г.

Отчёт о привлечении шлака участка ВОС НТМК в шихту железофлюса

Шлак участка внепечной обработки стали (ВОС) НТМК привлекался в шихту железофлюса 22 августа 2018 г. Химический состав шлака приведён в табл 1.

Таблица 1.

Химический состав шлака ВОС, %

Месяц	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	ппп	V ₂ O ₅	Mn	S
август	15,0	45,3	13,4	6,8	1,8	0,04	0,8	0,26

Подача в шихту осуществлялась по цепочке подготовки известняка, дозировка в шихту – в чистом виде. Из поступивших 4 думпкар привлечен в производство только один. Причина – наличие крупных металловключений (до 350 мм) в составе шлака, исключающее безаварийную работу молотковой дробилки.

С учётом вышеизложенного, опытный режим характеризовался частичной заменой известняка шлаком ВОС.

В таблице 2 приведены результаты испытаний.

Таблица 2

Результаты ОПИ железоблиста НТМК с шлаком ВОС

	База 21-22.08.2018 п №№ 384-386	ОПИ 22.08.2018 п № 387
	Без шлака ВОС	с шлаком ВОС
Состав шихты, %		
Шлак ВОС	0,0	3,3
Известняк	4,3	2,2
Отсев агломерата	3,5	2,8
Смесь отходов НТМК	64,8	59,1
Шлам ЛАЦ	11,2	12,7
Шлам ЦУШ НТМК	9,5	15,0
ВКШ	6,7	4,9
Показатели процесса		
Высота слоя шихты, мм	300	300
Удельная производительность а/м, т/м ² ч	1,112	1,160 ✓
Скорость а/лент, м/мин.	1,18	1,22 ✓
Нагрузка шихты (ср. на две а/м), т/ч	180	190 ✓
Прочность агломерата, %		
Содержание фракции -5 мм	6,9	6,9
Прочность, Б+5 мм	74,3	74,6
Истираемость, Б-0,5 мм	4,4	4,5
Химсостав агломерата, %		
Fe	51,6	53,0 ✓
S	0,06	0,03
FeO	13,3	14,0
CaO	13,4	12,7
SiO ₂	5,9	5,7
Основность	2,27	2,21
MgO	3,33	3,28
TiO ₂	1,70	1,77
Mn	0,39	0,32
V ₂ O ₅	0,61	0,55
Al ₂ O ₃	2,73	2,74
Zn	0,07	0,07

Ввод в состав шихты шлака ВОС положительно влияет на производительность агломашин и не снижает прочность агломерата. По результатам ОПИ: удельная производительность увеличилась на 4,3 %; Б +5 мм - увеличение на 0,3% абс, показатели Б -0,5 мм и содержание фр. -5 мм остались на прежнем уровне. Также при привлечении шлака ВОС прогнозируется снижение расхода коксовой мелочи на уровне 10%.

ВЫВОДЫ:

1. Для формирования корректных выводов необходим повтор промышленных испытаний с увеличением их продолжительности и полным замещением известняка шлаком ВОС.
2. При повторных ОПИ исключить подачу металлоключений в молотковую дробилку. Обеспечить крупность шлака на дробление ≤ 80 мм.
3. По результатам проведённых ОПИ:
 - удельная производительность агломашин увеличилась на 4,3 %;
 - показатель прочности Б $+5$ мм - увеличение на 0,3% абс;
 - показатели Б $-0,5$ мм и содержание фр. -5 мм остались на прежнем уровне;
 - снижение расхода коксовой мелочи прогнозируется на уровне 10%.

Начальник технического управления -
заместитель главного инженера

Р. А. Гельбинг

Главный агломератчик

А. Л. Мамонов

Начальник ЦЛК

Д. Н. Волков

Начальник ЛАЦ

Ю. М. Шешуков

А. А. Парфёнов
47-83

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Отчет окончательный по опытно-промышленным спеканиям железофлюса со шлаком ВОС



Научно-производственное региональное объединение «УРАЛ»



Открытое Акционерное Общество
«ВЫСОКОГОРСКИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ»
(ОАО «ВГОК»)

г. Нижний Тагил

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер
Н. И. Рябов
«26» 12 2018г.

Отчёт о привлечении шлака участка ВОС ЕВРАЗ НТМК в шихту железофлюса доменного ванадийсодержащего

Шлак участка внепечной обработки стали (ВОС) ЕВРАЗ НТМК привлекался в шихту железофлюса 07 и 20 декабря 2018 года. Шлака ВОС было получено 191 тонна (5 думпкаров).
Химический состав шлака приведён в таблице 1:

Таблица 1

Химический состав шлака ВОС, %

дата	H ₂ O	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	ппп	FeO	S
06.12.2018	1,2	13,9	46,08	14,63	7,22	2,47	7,4	0,184
19.12.2018	0,7	13,8	45,10	13,50	н/д	н/д	н/д	0,30

Подача в шихту шлака ВОС осуществлялась в виде смеси с СКШ/ВКШ. Смесь формировалась путём совместного дробления данных компонентов на УД ЛАЦ, в соотношении 5:1 (7 декабря) и 5:2 (20 декабря), с целью снижения нагрузки на дробильное оборудование. При приёмке шлака 07 декабря отмечено наличие единичных крупных кусков шлака фракции до 300 мм.

Согласно программе испытаний, смесь шлаков привлекалась в состав шихты с условием полного замещения известняка, без изменения основности железофлюса. Химический состав смеси шлаков приведён в таблице 2:

Таблица 2

Химический состав смеси ВКШ/СКШ+ВОС 5:1, 5:2, %

дата, соотнош. смеси	Fe	S	CaO	SiO ₂	MgO	П.п.п.	FeO
07.12.2018, 5:1	26,5	0,21	31,1	9,9	9,7	1,52	18,3
20.12.2018, 5:2	27,0	0,12	31,7	8,8	10,54	н/д	н/д

В таблице 3 приведены результаты испытаний:

Таблица 3

7, 20 декабря	База ср. п.№№ 559, 587	ОПИ +шлак ВОС ср. п.№№ 560, 561, 588 (3132,4 т. железофлюса)
	Без шлака ВОС	с шлаком ВОС
Состав шихты, %		
Шлак ВОС	-	6,5
Известняк	2,7	-
Смесь отходов НТМК	68,4	56,1
ВКШ/СКШ	7,1	21,6
Шлам ЦУШ+ Мет-прод. ТМ	21,9	15,9
Кокс (сверх 100%)	2,5	1,75
Показатели процесса		
Высота слоя шихты, мм	300	300
Удельная произв-ть а/м, т/м ² ч	1,000	1,063
Скорость а/лент, м/мин.	1,23	1,29
Прочность агломерата, %		
Прочность, Б+5 мм	74,3	74,6
Истираемость, Б-0,5 мм	4,4	4,4
Содержание фракции -5 мм, %	6,9	6,96
Химсостав агломерата, %		
Fe	53,9	49,5
S	0,03	0,044
FeO	11,70	11,5
CaO	12,20	14,42
SiO ₂	5,01	5,83
Осн.	2,44	2,47
MgO	3,45	4,7
TiO ₂	1,86	1,83
Mn	0,44	0,56
V ₂ O ₅	0,54	0,73
Al ₂ O ₃	2,58	2,62
Zn	0,086	0,074

Расчёт шихты для оценки месячного потребления шлака ВОС с учетом замещения сырого известняка представлен в приложении 2. Базовый вариант для расчёта в приложении 1.

По результатам ОПИ, ввод в состав шихты шлака ВОС в смеси с ВКШ/СКШ с увеличением доли последнего положительно влияет на производительность агломашин и повышает прочность агломерата. По результатам ОПИ: удельная производительность увеличилась на 6,3 %; Б +5 мм - увеличение на 0,3 % абс. показатели Б -0,5 мм и содержание фр. -5 мм – остались на прежнем уровне.

Изменения химического состава:

- повышение содержания V_2O_5 в железоблюсе на 0,19 % абс.;
- снижение содержания Fe в железоблюсе на 4,4 % абс.;
- повышение содержания S в железоблюсе на 0,014 % абс.;
- повышение содержания MgO в железоблюсе на 1,25 % абс.;
- повышение содержания Mn в железоблюсе на 0,12 % абс.;
- снижение содержания Zn в железоблюсе на 0,012 % абс.

ВЫВОДЫ:

1. Производство железоблюса с полным замещением известняка шлаком ВОС возможно.
2. При промышленном производстве необходимо осуществлять дробление шлака ВОС в смеси с СКШ (ВКШ) в соотношении 2:5, при этом снизить подачу металлоключений в дробилку.
3. По результатам проведённых ОПИ:
 - снижение расхода кокса составило 7,5 кг/т железоблюса;
 - повышение содержания V_2O_5 в железоблюсе на 0,19 % абс.;
 - удельная производительность агломашин увеличилась на 6,3 %;
 - показатель прочности Б $+5 \text{ мм}$ - увеличение на 0,3 % абс.;
4. Технология привлечения шлака ВОС в состав шихты железоблюса рекомендована к реализации на постоянной основе.

Начальник технического управления -
заместитель главного инженера



Р. А. Гельбинг

Главный агломератчик



А. Л. Мамонов

Начальник ЦЛК



Д. Н. Волков

Начальник ЛАЦ



Ю. М. Шешуков

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

УТВЕРЖДАЮ
 Директор по производству
 С.Ю.Жбанов

Железофлис НТМК

Дата: 13.11.18 Время: 10:51:55

Период производства - Декабрь 2018 года

Наименование материалов	Коэф. в т.т.	Сухой Вес	Содержание компонентов в %											Расход					
			Fe	CaO	SiO2	Al2O3	V2O5	Mn	Zn	Фосф.	Железо-	в т.т.	на 1 т	компл. (сух.)					
Известняк сырой Гальковский	0,202	1,000	0,202	0,00	7,670	56,950	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,02	0,12	0,003			
Железофлис	2,950	0,985	2,906	0,00	54,000	0,900	41,71	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	1,69	0,00	1,57	0,03	0,047		
Материал железосодерж. дл- в агломерации	5,300	0,981	5,198	55,00	3,000	3,400	1,60	0,300	0,900	0,040	1,300	2,210	0,550	0,220	0,130	5,10	2,86	0,18	0,084
Металлопродукт ПМ СТ	4,000	0,941	3,762	60,00	16,920	10,850	4,57	0,190	0,960	0,060	8,950	0,800	1,790	0,090	3,58	2,26	0,64	0,41	0,061
Отсев железорудного аглом- в агломерации	33,590	0,998	33,523	54,30	10,630	4,970	0,93	0,040	2,160	0,040	2,400	0,390	0,180	0,010	33,20	18,20	3,56	1,67	0,541
Пыль колмовиковая	9,700	0,998	9,681	41,50	6,000	6,640	2,33	0,199	1,690	0,050	3,710	2,800	0,500	0,360	9,44	4,02	0,58	0,64	0,156
СЖ НТМК	1,000	0,947	0,947	28,20	28,200	7,400	3,73	0,058	0,730	0,000	15,800	2,350	3,130	1,920	0,010	0,91	0,27	0,07	0,015
Влак железосодержащий	10,500	0,949	9,968	64,00	4,922	1,270	3,46	0,100	0,190	0,040	1,770	0,730	0,340	0,430	9,61	6,38	0,49	0,13	0,161
Влак конвертерный ванадий-содержащий (ВКВ)	3,000	1,000	3,000	31,00	31,200	6,380	2,00	0,260	1,100	0,040	12,490	1,300	2,300	1,960	0,000	2,93	0,93	0,94	0,048
Итого	70,243		69,186													66,67	34,91	8,22	1,116
Выплавляние			4,843													4,67	2,44		
Железофлис			62,000																

Fe в железофлисе 52,3690 Выплавляние - 7,00
 Основность 2,4000 Коэфф. степени десульф. - 0,700

Содержание в железофлисе: (%)
 CaO 12,3230 SiO2 5,1346
 t1o2: 1,544 Cu: 0,042 MgO: 3,420 Al2O3: 2,244 V2O5: 0,556 Mn: 0,446 Zn: 0,072

Содержание в шихте: (%)
 Fe 50,46 CaO 11,8742 SiO2 4,9476
 t1o2: 1,488 Cu: 0,040 MgO: 3,296 Al2O3: 2,162 V2O5: 0,535 Mn: 0,430 Zn: 0,069

Серв в железофлисе 0,0786
 Общий расход кокса сух. вес 1,550
 Уд. расход кокса на 1 т Ж 0,0250

Расходный коэфф. железорудного сырья на 1т. железофлиса - 1,0658

Расходный коэфф. известняка на 1т. железофлиса - 0,0476

Начальник ПРО А.Я.Иванов
 Главный агломератчик А.Л.Мамонтов
 Начальник ЛАЦ Ю.М.Вешуков

СОГЛАСОВАНО:
 И.О.зам. начальника ПРУ ЕВРАЗ НТМК А.М.Пакетных
 Начальник ОСП ЕВРАЗ НТМК О.В.Баров
 Зам.начальника ТУ ЕВРАЗ НТМК А.А.Формаш

Приложение 2

Железофлюс НТМК декабрь +ВОС-(СДШ+ВШ) 5/2 осн 2.4
 Дата: 26.12.18 Время: 10:56:29

Период производства - Декабрь 2018 года

Наименование материалов	Сырье т.т.	Коэф.: в т.т.	Сухой Вес	Содержание компонентов в %											Содержание компонентов: в т.т.					
				Fe	CaO	SiO2	Al2O3	Сера	Ван	Mn	MgO	Al2O3	V2O5	Zn	Железо	Флюс	на 1 т	Расход		
Материал железосодерж.	0,189	1,000	0,189	0,00	7,670	56,950	0,00	0,000	0,000	0,000	3,100	0,000	0,000	0,000	0,19	0,00	0,01	0,11	0,003	
Материал железосодерж. дл-	5,300	0,981	5,198	55,00	3,000	3,400	1,60	0,300	0,900	0,040	1,300	2,210	0,550	0,220	5,10	2,86	0,16	0,18	0,072	
Материал железосодерж. дл-	4,000	0,941	3,762	60,00	16,920	10,850	4,57	0,190	0,960	0,040	8,950	3,500	0,800	1,790	3,58	2,26	0,64	0,41	0,052	
Материал железосодерж. дл-	33,383	0,998	33,316	54,30	10,630	4,970	0,93	0,040	2,160	0,040	2,400	2,500	0,190	0,010	32,99	18,09	3,54	1,66	0,463	
Материал железосодерж. дл-	9,700	0,998	9,681	41,50	6,000	6,640	2,33	0,199	1,690	0,050	3,710	2,800	0,500	0,360	9,44	4,02	0,58	0,64	0,134	
Материал железосодерж. дл-	9,500	0,947	8,998	28,20	28,200	7,400	3,73	0,058	0,730	0,000	15,800	2,350	3,130	1,920	8,66	2,54	2,54	0,67	0,125	
Материал железосодерж. дл-	10,500	0,949	9,968	64,00	4,922	1,270	3,46	0,100	0,190	0,040	1,770	0,730	0,340	0,430	9,61	6,38	0,49	0,13	0,138	
Материал железосодерж. дл-	3,000	1,000	3,000	31,00	31,200	6,380	2,00	0,260	1,100	0,040	12,490	1,300	2,300	1,960	2,93	0,93	0,94	0,19	0,042	
Материал железосодерж. дл-	5,000	1,000	5,000	15,00	45,300	13,400	1,80	0,260	0,280	0,000	6,800	15,000	0,040	0,800	4,90	0,75	2,27	0,67	0,069	
Итого	80,572		79,112											77,40	37,82	11,16	4,65	1,099		
Выплавление			5,538											5,42	2,65					

Железофлюс 71,981

Fe в железослюсе 49,8660 Выплавление - 7,00
 Основность 2,4000 Коэфф. степени десульф. - 0,700
 Содержание в железослюсе: (%)
 CaO 14,4168 SiO2 6,0014
 t102: 1,418 Cu: 0,036 MgO: 5,008 Al2O3: 3,139 V2O5: 0,806 Mn: 0,635 Zn: 0,064
 Содержание в шихте: (%)
 Fe 47,81 CaO 14,1047 SiO2 5,8715
 t102: 1,388 Cu: 0,035 MgO: 4,899 Al2O3: 3,071 V2O5: 0,788 Mn: 0,621 Zn: 0,062
 Сера в железослюсе 0,0626
 Общий расход кокса сух. вес 1,799
 Уд. расход кокса на 1 т ЖФ 0,0175
 Расходный коэфф. железорудного сырья на 1 т железослюса - 1,0964
 Расходный коэфф. известняка на 1 т железослюса - 0,0000

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Заключение (акт) по использованию в доменном цехе опытного железоблюса, произведенного с привлечением в аглошихту шлака ВОС



Техническое управление

УТВЕРЖДАЮ
Технический директор ЕВРАЗ НТМК
П.А. Зажигаев

« 01 » августа 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

по использованию в доменном цехе опытного железоблюса, произведенного с привлечением в аглошихту шлака ВОС

С целью уменьшения экологической нагрузки Компании, снижения использования сырого известняка и кокса в аглопроизводстве, была проведена работа по привлечению шлаков внепечной обработки стали (ВОС) в шихту железоблюса ОАО «ВГОК».

Основная технологическая привлекательность шлака ВОС заключается в содержании в нем 45 – 60% CaO, что позволяет заменить, по этому химическому соединению, в аглопроизводстве сырой известняк (содержит 54% CaO), с коэффициентом замены = 0,83±1,1. Шлак ВОС содержит подготовленный CaO в отличие от CaCO₃ в сыром известняке, поэтому не нужно использовать дополнительный кокс (тепло) на разложение CaCO₃. Кроме того, шлак ВОС содержит значительное количество фаз, обладающих вяжущими свойствами, что способствует повышению прочности железоблюса.

В связи с этим и в соответствии с решением протокола совещания, представляло интерес полностью заменить сырой известняк и привлечь максимальное количество шлака ВОС в аглошихту. Так как флюсующая способность шлака ВОС в аглошихте снижается наличием в нем SiO₂ = 10 – 15%, то для целей полного замещения известняка в аглошихте понадобилось привлечение какого-либо дополнительного материала АО «ЕВРАЗ НТМК».

Соответственно, для производства и оценки физико-химических характеристик железоблюса без использования в шихте сырого известняка и для решения задач Компании по снижению потерь и дополнительному привлечению ванадия в передель АО «ЕВРАЗ НТМК», было предложено использовать в аглошихте дополнительный, имеющийся в наличии и вывозимый в настоящее время на отвал, объем стального конвертерного шлака (СКШ).

Выполнение работы

Первоначально шлак ВОС подавался в шихту по цепочке подготовки известняка, дозировка в шихту - в чистом виде. Из 4-х поступивших думпкар, был привлечен в производство только один. Причина - наличие крупных металловключений (до 350 мм) в составе шлака, исключающее безаварийную работу молотковой дробилки.

С учётом вышеизложенного, опытный режим характеризовался частичной заменой известняка шлаком ВОС, и для формирования корректных выводов был необходим повтор промышленных испытаний с увеличением их продолжительности и полным выведением известняка из аглошихты. При повторных испытаниях требовалось исключить подачу металловключений в молотковую дробилку.

Для проведения повторных испытаний потребовалось организовать очистку шлака ВОС от крупных металловключений на шлакоразделке конвертерного цеха путем грузки его в ж/д вагоны через решетку 100x100мм.

В связи с неудовлетворительной очисткой шлака ВОС от металловключений, его использование в шихте железоблюса через закрытый тракт подачи известняка было недопустим. На основании этого, было решено подавать шлак ВОС в шихту железоблюса в

виде смеси со сталеплавильными шлаками дуплекс- и монопроцесса (стальной конвертерный шлак - СКШ, ванадийсодержащий конвертерный шлак - ВКШ), которые дробятся щековой дробилкой. Таким образом, шлак ВОС привлекался в шихту железоблюса 7 и 20 декабря 2018 года. Химический состав шлака приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав шлака ВОС, %

Дата	H ₂ O	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	ппп	FeO	S
06.12.2018	1,2	13,9	46,08	14,63	7,22	2,47	7,4	0,184
19.12.2018	0,7	13,8	45,10	13,50	н/а	н/а	н/а	0,30

Смесь формировалась путём совместного дробления данных компонентов в соотношении 5:1 (7 декабря) и 5:2 (20 декабря), с целью снижения нагрузки на дробильное оборудование и минимизации пылеобразования на участке. Смесь шлаков привлекалась в состав шихты с условием полного замещения известняка, без изменения основности железоблюса. Химический состав смеси шлаков приведен в таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав смеси ВКШ/СКШ+ВОС 5:1, 5:2, %

дата, соотнош. смеси	Fe	S	CaO	SiO ₂	MgO	П.п.п.	FeO
07.12.2018, 5:1	26,5	0,21	31,1	9,9	9,7	1,52	18,3
20.12.2018, 5:2	27,0	0,12	31,7	8,8	10,54	н/а	н/а

В таблице 3 приведены результаты испытаний. В качестве базовых показателей были выбраны усредненные данные работы аглоцеха при производстве партий железоблюса № 559 и № 587. Показатели производства партий железоблюса №№ 560, 561 и 588 с привлечением шлака ВОС усреднены в опыт. Всего в опытный период было произведено 3132,4 т. железоблюса.

Таблица 3

7, 20 декабря 2019	База ср. п. № 559, № 587	Опыт ср. п. №№ 560, 561, 588
1	2	3
	Без шлака ВОС	Со шлаком ВОС
Состав аглошихты, %		
Шлак ВОС	-	6,5
Известняк	2,7	-
Смесь отходов НТМК	68,4	56,1
ВКШ/СКШ	7,1	21,6
Шлам ЦУШ+ Металлопродукт ТМ	21,9	15,9
Кокс (сверх 100%)	1,0	0,7
Показатели процесса		
Высота слоя шихты, мм	300	300
Удельная произв-ть а/м, т/м ² ч	1,000	1,063
Скорость а/лент, м/мин.	1,23	1,29
Прочность агломерата, %		
Прочность, Б+5 мм	74,3	74,7
Истираемость, Б-0,5 мм	4,4	4,6
Содержание фракции -5 мм, %	6,9	7,0
Химсостав агломерата, %		
Fe	53,9	51,2
S	0,03	0,04
FeO	11,70	9,95

Продолжение табл. 3

1	2	3
CaO	12,20	14,81
SiO ₂	5,01	6,05
Осн.	2,44	2,45
MgO	3,45	5,05
TiO ₂	1,86	1,83
Mn	0,44	0,60
V ₂ O ₅	0,54	0,76
Al ₂ O ₃	2,58	2,61
Zn	0,086	0,076

По результатам работы, при использовании в составе аглошихты шлака ВОС в смеси с ВКШ/СКШ, были получены следующие выводы:

- из аглошихты полностью выведен сырой известняк;
- снижение расхода кокса составило 7,5 кг/т железоблюса;
- повышение содержания V₂O₅ в железоблюсе на 0,22 абс. %;
- удельная производительность агломашин увеличилась на 6,3 %;
- показатель прочности Б +5 мм - увеличение на 0,4 абс. %;
- показатели Б -0,5 мм и содержание фр. -5 мм остались на прежнем уровне;
- снижение в железоблюсе содержания железа на 2,7 абс. %.

При поступлении и разгрузке материала в доменном цехе, по визуальной оценке опытный железоблюс отличался от обычного равномерностью гранулометрического состава.

Расчеты показали, что дополнительное привлечение ванадия в доменную плавку при использовании железоблюса с ВОС + ВКШ/СКШ может составлять более 100 т. в месяц, что при переработке в конвертерном переделе ЕВРАЗ НТМК и получении товарного ванадия это будет приносить дополнительную прибыль компании.

В силу того, что одной из целей работы ставилось определение возможности производства железоблюса с привлечением в аглошихту шлака ВОС, периоды производства опытного железоблюса и, соответственно, его использования в шихте доменных печей были крайне непродолжительны.

Сравнительные данные технико-экономических показателей работы доменных печей в базовый и опытные периоды приведены в таблице 4.

Таблица 4

Показатели	ДП5			ДП7		
	01-09.12.2018	10-11.12.2018	24.12.2018	01-09.12.2018	10-11.12.2018	24.12.2018
	база	опыт	опыт	база	опыт	опыт
№ опытного паспорта ЖФ		560, 561	588		560	588
1	2	3	4	5	6	7
Произ-во факт, т	6405,1	6627,1	3745,5	7254,8	7226,4	7110,4
Кокс всего факт, кг/т	392	385,9	411,6	333,8	334	331,4
ПУТ факт, кг/т	0	0	0	68	66,6	68,6
ПГ факт, куб.м/т	121,4	122,3	122,3	104,5	104,8	106,3
Содержание Fe в шихте, %	57,7	57,5	58,0	57,6	57,5	58,0
Хим. состав чугуна: Mn, %	0,374	0,345	0,39	0,359	0,335	0,38
V, %	0,471	0,485	0,477	0,478	0,475	0,507
Si, %	0,083	0,077	0,102	0,079	0,082	0,09
S, %	0,024	0,025	0,023	0,025	0,024	0,025

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
Ti, %	0,155	0,146	0,198	0,15 0	0,160	0,178
Cr, %	0,106	0,101	0,116	0,103	0,096	0,121
P, %	0,046	0,050	0,048	0,044	0,046	0,049
Хим. состав шлака:						
SiO ₂	27,23	27,19	27,11	27,21	27,11	27,33
Al ₂ O ₃	14,89	14,96	15,48	14,86	14,90	15,53
CaO	33,27	33,11	32,98	33,57	33,56	33,00
TiO ₂	10,46	10,60	10,63	10,56	10,49	10,69
V ₂ O ₅	0,24	0,25	0,26	0,23	0,23	0,20
MnO	0,55	0,56	0,53	0,57	0,53	0,53
MgO	13,98	13,90	13,63	13,99	13,94	13,74
FeO	0,52	0,61	0,74	0,46	0,49	0,66
S	0,66	0,65	0,68	0,66	0,66	0,68
Осн.	1,22	1,22	1,22	1,23	1,24	1,21
Полная осн.	1,74	1,73	1,72	1,75	1,75	1,71
Давление гор. дутья, ати.	3,33	3,36	3,37	3,7	3,71	3,7
Расход дутья, куб.м/мин.	4135	4118	4023	4405	4393	4364
Темп. гор. дутья, °С	1229	1248	1180	1210	1208	1211
Давл. под колошн., ати.	1,89	1,89	2,03	2,19	2,19	2,19
Сод-е кислорода в дутье, %	27,5	28	27,1	30,5	30,5	30,3
агл. КГОК, %	39,6	38,9	38,7	40,7	40,5	39,7
ок. КГОК, %	51,1	49,9	50,0	50,5	49,6	50,3
Железофлюс ван. содерж., %	9,3	11,2	11,4	8,8	10	10

В шихте доменных печей опытный железоблюс использовался в течение коротких периодов (от 8 до 30 часов). Кроме опытных паспортов в доменной шихте в течение опытных периодов использовался базовый железоблюс.

Стабильных изменений химического состава чугуна и шлака, связанных с использованием опытного железоблюса, не выявлено.

Учитывая короткий срок опытных периодов и незначительную долю опытного железоблюса в шихте оценить влияние его использования на технико-экономические показатели работы доменных печей не представляется возможным.

Рекомендовано:

Повторить испытания с увеличением объема использования шлака ВОС + СКШ/ВКШ и производства железоблюса в промышленных объемах.

Начальник технического управления

М.В. Савельев

Начальник доменного цеха

К.В. Миронов

Зам. начальника ТУ

А.А. Форшев

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Расчет ожидаемого экономического эффекта от мероприятия

Использование шлака ВОС и СКШ в шихте железоблюса					
<i>Исходные данные для расчета</i>					
Показатель	Обозначение	Ед.имз.	Значение	Примечание	
Привлечение ВОС	ΔВОС	т	45 400	Данные ПРУ	
Привлечение СКШ	ΔСКШ	т	68 100	Данные ПРУ	
Доп. ванадий в скиповом сырье	ΔVa	mtV	454	Данные ТУ	
Снижение производительности печей	ΔПроизв	%	-0,39%	Данные ТУ	
Увеличение расхода кокса	ΔКокс	кг/т	1,20	Данные ТУ	
Увеличение потребления окатышей	ΔОкат	т	22 444,2	Данные ПРУ	
Увеличение услуг ВГОК	ΔВГОК	т	15 827	Данные ПРУ	
Снижение потребления ТМст	ΔТМ	т	-69 130	Данные ПРУ	
Высвобождение коксовой мелочи 0-10 (Увеличение реализации на КГОК)	ΔКмелочь	т	5 572	Данные ПРУ	
Снижение закупа известняка	ΔИзвестняк	т	42 732	Данные ПРУ	
Снижение потребления агломерата	ΔАгл	т	-131	Данные ПРУ	
Расход жидкого чугуна на чушковый	Рчушка	т/т	1,009	Б2019	
КИВ ДЦ	КИВ_ДЦ	%	88,88%	Б2019	
КИВ КЦ	КИВ_КЦ	%	89,25%	Б2019	
Доля дуплекс	ДоляДупл	%	85,22%	Б2019	
Производство чугуна	Чугун	т	4 885 150	Б2019	
Цена реализации ванадия (min)	ЦVa	руб/mtV	784 538	Расчёт для цепочки: КЦ (шлак 0-200)>>>ОмегаПро(помол)>>>TIAG (изготовление FeV)>>>продажа FeV	
МД чушкового чугуна (min)	МДчушка	руб/т	2 622	Б2019	
Переменная себестоимость кокса (СТ и МТ)	Скокс	руб/т	12 845	Б2019	
Цена альтернативной продажи окатышей КГОК'ом (min)	Цокат	руб/т	2 570	Б2019	
Стоимость услуг ВГОК	ЦВГОК	руб/т	1 354	Б2019	
Стоимость услуг ТМ по подъему ТМст	ЦТМ	руб/т	695	Б2019	
Цена реализации коксовой мелочи 0-10	Цкмелочь	руб/т	6 908	Б2019	
Цена известняка	Цизв	руб/т	465	Б2019	
Переменная себестоимость агломерата	Цагл	руб/т	1 405	Б2019	
Расчет экономического эффекта					
Показатель	Формула расчета	Ед.имз.	Кол-во, ед.имз.	Сумма, тыс.руб.	
Снижение производства чушкового чугуна	Э1 = (Чугун x ΔПроизв / Рчушка) x МДчушка	т	-18 829	-49 368	
Доп. реализация ванадия	Э2 = (ΔVa x КИВ_ДЦ x ДоляДупл x КИВ_КЦ) x ЦVa	mtv	307	240 730	
Увеличение расхода кокса	Э3 = - (ΔКокс x Чугун) x Скокс	т	5 862	-75 300	
Увеличение потребления окатышей	Э4 = - ΔОкат x Цокат	руб.		-57 682	
Увеличение услуг ВГОК	Э5 = - ΔВГОК x ЦВГОК	руб.		-21 422	
Снижение потребления ТМст	Э6 = - ΔТМ x ЦТМ	руб.		48 013	
Высвобождение коксовой мелочи 0-10 (Увеличение реализации на КГОК)	Э7 = ΔКмелочь x Цкмелочь	руб.		38 491	
Снижение закупа известняка	Э8 = ΔИзвестняк x Цизв	руб.		19 872	
Снижение потребления агломерата	Э9 = - ΔАгл x Цагл	руб.		185	
Итого результат ("+" - экономия, "-" - убыток) в год		Э = Э1 + Э2 + Э3 + Э4 + Э5 + Э6 + Э7 + Э8 + Э9		143 517	

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Патент РФ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2722946

Шихта для производства железорудного агломерата

Патентообладатели: *Акционерное общество «ЕВРАЗ НТМК Нижнетагильский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ НТМК») (RU), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». (ФГАОУ ВО УрФУ) (RU)*

Авторы: *с.м. на обороте*

Заявка № 2019127852

Приоритет изобретения 04 сентября 2019 г.

Дата государственной регистрации в

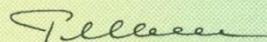
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 05 июня 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 04 сентября 2039 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Изrael



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**2 722 946** (13) **C1**(51) МПК
C22B 1/16 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК
C22B 1/16 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019127852, 04.09.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.09.2019Дата регистрации:
05.06.2020Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 04.09.2019

(45) Опубликовано: 05.06.2020 Бюл. № 16

Адрес для переписки:
622025, Свердловская обл., г. Нижний Тагил, ул.
Металлургов, 1, корпус 2, кабинет 401, Бальян
Владимир Жоржевич

(72) Автор(ы):

Темников Владислав Владимирович (RU),
Калимулина Елена Геннадьевна (RU),
Зажигаев Павел Анатольевич (RU),
Миронов Константин Владимирович (RU),
Шешуков Олег Юрьевич (RU),
Михеенков Михаил Аркадьевич (RU),
Метелкин Анатолий Алексеевич (RU),
Лобанов Даниил Андреевич (RU),
Баранов Евгений Станиславович (RU),
Мамонов Алексей Леонидович (RU),
Савельев Максим Владимирович (RU),
Форшев Андрей Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество «ЕВРАЗ НТМК
Нижнетагильский металлургический
комбинат» (АО «ЕВРАЗ НТМК») (RU),
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина». (ФГАОУ ВО УрФУ)
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 1529738 A1, 27.09.1995. RU
2281976 C2, 20.08.2006. RU 2009221 C1,
15.03.1994. FR 2625512 A1, 07.07.1989.

RU 2 722 946 C1

(54) Шихта для производства железорудного агломерата

(57) Формула изобретения

1. Шихта для производства железорудного агломерата, содержащая железосодержащие материалы, ванадийсодержащие материалы, флюс на основе известняка и твердое топливо, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит флюс на основе шлака внепечной обработки стали (ВОС) при следующем соотношении компонентов, мас. %:

флюс на основе известняка 0,5-8,0;
флюс на основе шлака ВОС 0,5-8,0;

твердое топливо 1,0-4,0;
ванадийсодержащие материалы 2,0-30,0;
железосодержащие материалы остальное.

2. Шихта по п. 1, отличающаяся тем, что в качестве железосодержащих материалов она содержит отсев агломерата, металлургические пыли и шламы и продукты переработки отвальных шлаков в виде металлопродуктов.

3. Шихта по п. 1, отличающаяся тем, что в качестве ванадийсодержащих материалов она содержит подготовленные конвертерные шлаки в виде шлака моно-процесса и/или ванадийсодержащего конвертерного шлака (ВКШ), и/или шлака дуплекс-процесса – стального конвертерного шлака (СКШ) и смеси на их основе.

4. Шихта по п. 1, отличающаяся тем, что в качестве твердого топлива она содержит кокс.

5. Шихта по п. 1, отличающаяся тем, что шлак внепечной обработки стали (ВОС) содержится в количестве от 10-120 кг/т агломерата.

6. Шихта по п. 1, отличающаяся тем, что шлак внепечной обработки стали (ВОС) имеет следующий состав, мас. %: Fe 5,0-10,0; CaO 45,0-60,0; SiO₂ 10,0-20,0; MgO 5,00-10,0; FeO 5,0-10,0; S 0,1-0,5.

RU 2722946 C1



№ п/п	Исполнитель	Содержание	Срок исполнения
	(по согласованию)	оборудования. Представить информацию по дополнительному оборудованию и ресурсам.	
5.	Начальник бюро по управлению интеллектуальной собственностью Бальян В.Ж.	После подготовки материалов по п. 3-4 инициировать проведение совещания Технического директора.	01.09.2020
6.		Рекомендовать вынесение работы: «Технология использования рафинировочных сталеплавильных шлаков в аглопроизводстве» для защиты на диссертационном совете.	Принятое решение

Председатель

Согласовано в СЭД

П.А. Зажигаев

Секретарь

Согласовано в СЭД

К.Н. Шведов



Приложение 1 к протоколу
Технического директора ЕВРАЗ НТМК
от 02.07.2020 № ПРЛРОНТ20/0287/1



Советник Управляющего директора ЕВРАЗ НТМК	Аршанский М.И.
Главный специалист (по техническому развитию аглококсодоменного производства)	Баранов Е.Н.
Начальник КХП	Беркутов Н.А.
Директор по развитию бизнес-системы Дивизиона Урал	Булгаков Д.А.
Начальник производственно-распорядительного управления	Грац А.А.
Начальник ЦЛК	Петренко Ю.В.
Технический директор ЕВРАЗ НТМК	Зажигаев П.А.
Главный энергетик	Корякин Д.А.
Заместитель начальника КХП -начальник службы технико-технологического развития	Кошкаров Д.А.
Директор по экономике и финансам Дивизиона Урал	Ларионов А.В.
Начальник управления экономики производства ЕВРАЗ НТМК	Мельникова И.В.
Начальник доменного цеха	Миронов К.В.
Начальник проектно-конструкторского института "Ником-проект"	Насонов М.В.
Начальник управления охраны природной среды	Неугодникова С.В.
И.о. начальника бюро по управлению интеллектуальной собственностью.	Серебренникова А.В.
Директор по инвестиционной деятельности Дивизиона Урал	Спицин А.Г.
Начальник бюро железорудных и сыпучих материалов	Темников В.В.
Заместитель начальника управления - начальник отдела	Форшев А.А.
Начальник технического управления	Шведов К.Н.
Менеджер проекта	Чикишев В.Ю.
Заместитель начальника цеха по технико-технологическому развитию	Чиглинцев А.В.
Директору Института новых материалов и технологий ФГАУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»	Шешуков О.Ю.
Директор Инновационно-внедренческого центра "Проектные решения" УрФУ	Матюхин О.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Методика исследования, оборудование и материалы

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика проведения исследований заключалась:

- в исследование металлургических свойств шлака ВОС;
- в лабораторных спеканиях агломерата (железофлюса) с использованием в аглошихте шлака ВОС;
- в определении показателей процесса спекания в лабораторных условиях при обеспечении технологических параметров (разрежение, температура шихты и т.д.), характеризующих работу агломашин;
- в исследовании холодной прочности агломерата по ГОСТ 15137 – 77;
- в анализе технологических показателей работы аглофабрики ОАО «ВГОК» и доменных печей АО «ЕВРАЗ НТМК»;
- в исследовании свойств шлаковых расплавов, а именно вязкости и фильтруемости их через коксовую насадку;
- в обработке статистических данных при опытно-промышленном производстве.

1. Агломерация материалов

Лабораторные спекания проводились в аглолаборатории ЦЛК ОАО ВГОК на оборудовании, указанном на рис. 1.

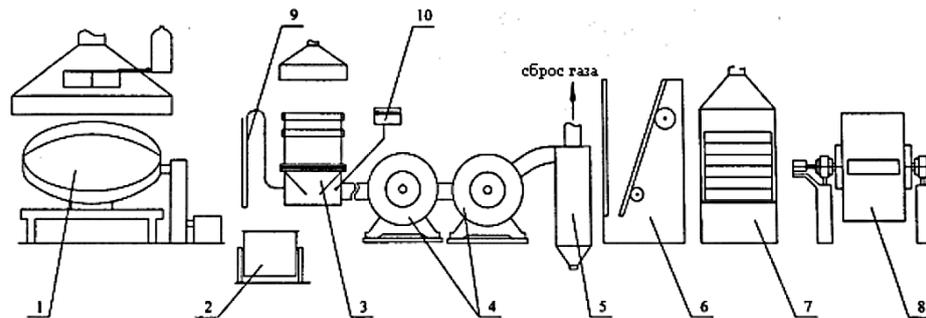


Рис. 1. Оборудование для проведения лабораторных спеканий
1 - тарельчатый гранулятор; 2 - нагреватель шихты; 3 - агломерационная чаша; 4 - эксгаустеры ВВД – 11; 5 - циклонные аппараты; 6 - шедовая дробилка; 7 - виброгрохот; 8 - барабан для определения прочности по ГОСТ 15137; 9 - манометр; 10 - потенциометр с термопарой.

Комплекс указанного оборудования позволяет имитировать процесс промышленного производства агломерата на аглофабрике ОАО «ВГОК». Поскольку в лабораторных исследованиях определялось влияние добавки шлака ВОС в аглошихту на показатели процесса спекания и качество агломерата, технология подготовки шихты, агломерации и обработки спеков оставалась неизменной для нейтрализации влияния независимых факторов. Методика проведения спеканий заключалась в следующем.

Шихта сначала смешивалась на тарельчатом грануляторе (рис. 2), диаметром 1000 мм, почти без добавок воды в течение 4 минут, а затем в течение 5 минут окомковывалась на том же грануляторе при подаче воды в количестве, обеспечивающем получение оптимальной (заданной) влажности. Скорость вращения тарели гранулятора была постоянной во всех опытах и составляла 40 об/мин.

После окомкования шихта нагревалась до 60 °С в специальном подогревателе, обеспечивающем равномерный прогрев всей массы шихты за счет пропускания через слой электрического тока.

Спекания выполнялись на аглоустановке с диаметром чаши 400 мм (рис. 3), оборудованной под колосниковой решеткой штуцерами для замера температуры отходящих газов и разрежения. Отсос отходящих газов осуществлялся двумя последовательно расположенными вентиляторами ВВД-11. Начальное разрежение составляло 8,5 кПа при высоте слоя шихты 250 мм. Данными параметрами характеризуется и работа аглолент ОАО «ВГОК».

Зажигание шихты осуществлялось коксовой мелочью, смоченной водой, в количестве 800 г, на разгорание которой давали такое же количество древесной стружки, пропитанной керосином. Продолжительность зажигания составляла 1 мин.

Во время спекания фиксировали изменение разрежения и температуры отходящих газов под колосниковой решеткой. Температура отходящих газов определялась хромель-алюмелевой термопарой, разрежение – U-образным водяным манометром. Окончание процесса спекания определяли по началу падения температуры после достижения максимального значения.

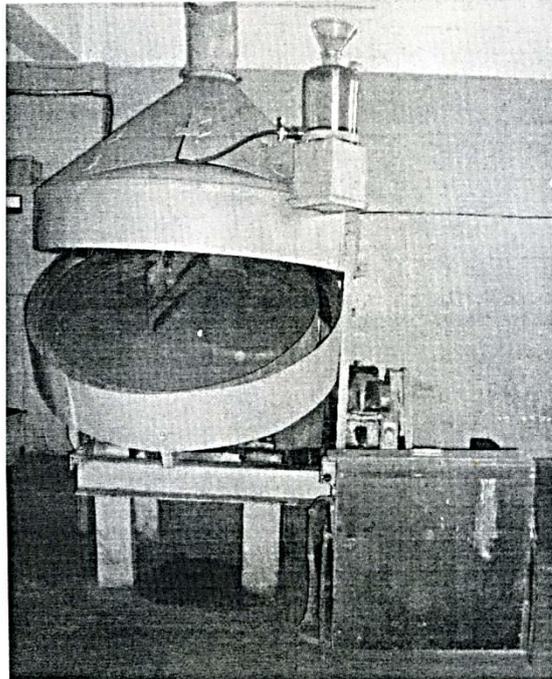


Рис. 2. Лабораторный гранулятор и нагреватель шихты

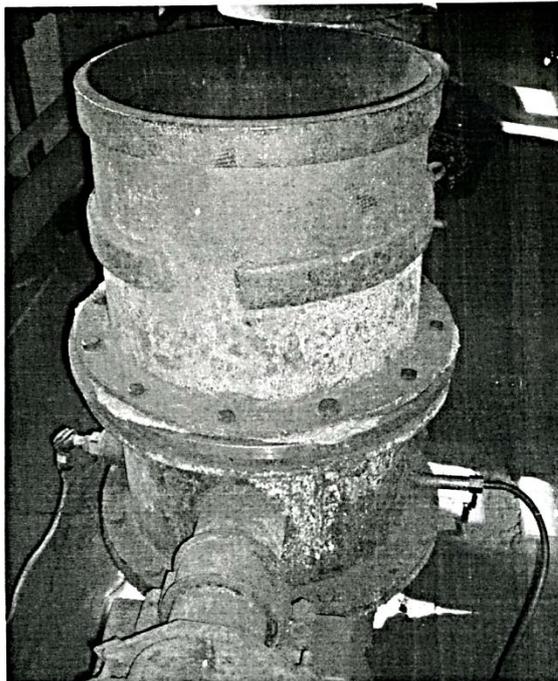


Рис. 3. Лабораторная аглочаша

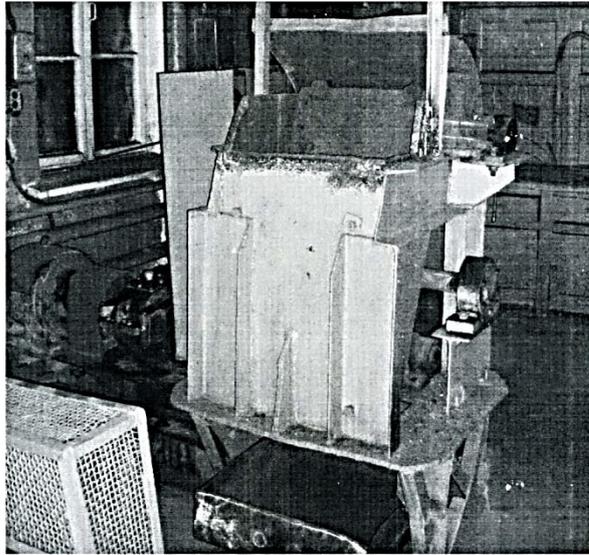


Рис. 4. Щековая дробилка



Рис. 5. Виброгрохот

После окончания спекания, пирог агломерата выгружали из чаши, дробили в щековой дробилке (рис. 4) с шириной разгрузочной щели 90 мм и, после остывания, агломерат разделяли по крупности на виброгрохоте (рис. 5) с площадью просеивающей поверхности 700×400 мм. При этом выделяли следующие классы: 0 – 5 мм, 5 – 10 мм, 10 – 15 мм, 15 – 25 мм, 25 –

40 мм и более 40 мм. Выход класса менее 5 мм отождествляли с количеством мелочи в агломерате, выход класса более 5 мм – с количеством годного агломерата. После определения гранулометрического состава агломерата, класс более 40 мм подвергали дополнительному дроблению и контрольному грохочению на ситах с размерами отверстий 5 и 40 мм.

По результатам каждого эксперимента определяли вертикальную скорость спекания и удельную производительность установки по следующим формулам.

$$v = \frac{H}{\tau}, \quad (1.1)$$

где v – вертикальная скорость спекания, мм/мин;
 H – высота слоя шихты, мм;
 τ – время спекания, мин.

$$P_{\text{спек}} = \frac{Q_{\text{пирог}}}{S \cdot \tau} \cdot 0,06 = \frac{Q_{\text{пирог}}}{\pi \cdot \tau} \cdot 1,5, \quad (1.2)$$

где $P_{\text{спек}}$ – удельная производительность по спеку, т/(м²·час);
 $Q_{\text{пирог}}$ – вес пирога агломерата, кг;
 S – площадь спекания, равная в нашем случае 0,04π, м².

$$P_{\text{годн}} = \frac{Q_{+5\text{мм}}}{\pi \cdot \tau} \cdot 1,5, \quad (1.3)$$

где $P_{\text{годн}}$ – удельная производительность по годному, т/(м²·час);
 $Q_{+5\text{мм}}$ – количество агломерата крупностью более 5 мм, кг.

Сырьем для проведения лабораторных исследований служили основные компоненты агломерационной шихты. В качестве флюса использовался известняк Гальяновского месторождения, крупностью 3 – 0 мм, и шлак ВОС, обеспечивающие получение заданной основности агломерата. Топливом для спекания служила коксовая мелочь, крупностью 3 – 0 мм, коксохимического производства АО «ЕВРАЗ НТМК». Поскольку производство агломерата на аглофабрике осуществляется без «постели», в проводимых лабораторных опытах «постель» также не выделялась.

Перед проведением лабораторных спеканий сырьевые материалы отбирались в количествах, достаточных для обеспечения всех планируемых опытов, высушивались, тщательно перемешивались и усреднялись методом «кольца и конуса». Все компоненты шихты, за исключением тонкоизмельченных, рассеивались и дозировались в аглошихту согласно выходу отдельных классов. Соотношение компонентов в аглошихте сохранялось таким же, как и при промышленном производстве агломерата. Проверочный расчет состава агломерата определялся по стандартной методике.

2. Исследование металлургических свойств агломерата (железофлюса)

Пробы отбирались по ГОСТ 26136.

Холодная прочность годного агломерата (+ 5 мм) определялась в соответствии с ГОСТ 15137 – 77 в стандартном барабане (рис. 6), при этом проба для испытаний набиралась пропорционально выходу отдельных классов по данным гранулометрического состава агломерата.

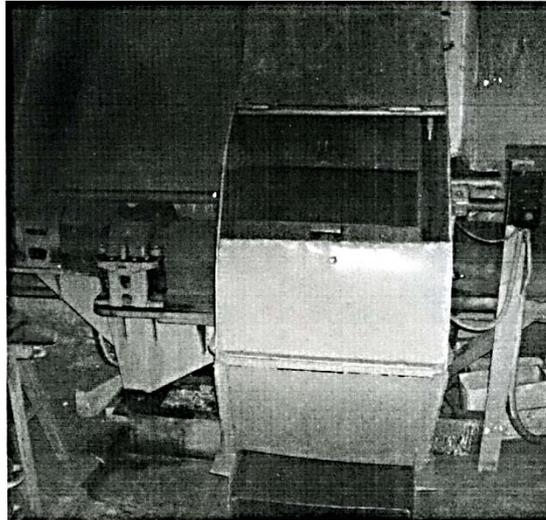


Рис. 6. Барабан для испытания агломерата на прочность

Метод испытания основан на механической обработке пробы агломерата во вращающемся стальном барабане с последующим определением ситовым анализом изменения гранулометрического состава пробы, характеризующего способность агломерата сопротивляться удару и истиранию.

Прочность агломерата характеризуется двумя показателями:

- сопротивлением удару – выходом фракции более 5 мм, выраженным в процентах;
- сопротивлением истираемости – выходом фракции менее 0,5 мм, выраженным в процентах.

Прочность агломерата на удар (X_1) в процентах вычисляют по формуле:

$$X_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m_3} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где m_1 – масса фракции свыше 5 мм после испытания в барабане, кг;

m_2 – масса фракции от 0,5 мм и до 5 мм после испытания в барабане, кг;

m_3 – масса фракции менее 0,5 мм после испытания в барабане, кг.

Сопротивление агломерата истиранию (X_2) в процентах вычисляют по формуле

$$X_2 = \frac{m_3}{m_1 + m_2 + m_3} \cdot 100 \quad (2.2)$$