

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ /Н. В. Белоусова /

подпись инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Производство брикетов из коксовой пыли и мелочи АО «РУСАЛ  
Саяногорск» для черной металлургии»

22.04.02 Металлургия

22.04.02.02 Металлургия цветных металлов

(корпоративная программа СФУ - РУСАЛ)

Руководитель \_\_\_\_\_ канд. техн. наук, доцент И. В. Усков  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Магистрант \_\_\_\_\_ Е.В. Киба  
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент \_\_\_\_\_ начальник ДТиТРАП ИТЦ А.В.Сивков  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Консультант  
экономического  
раздела \_\_\_\_\_ канд.эконом.наук, доцент Т.В.Твердохлебова  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2020 год

Продолжение титульного листа МД по теме  
«Производство брикетов из коксовой пыли и мелочи АО «РУСАЛ  
Саяногорск» для черной металлургии»

Консультанты по разделам:

Литературный обзор

наименование раздела

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И. В. Усков

инициалы, фамилия

Методическая часть

наименование раздела

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И. В. Усков

инициалы, фамилия

Экспериментальная часть

наименование раздела

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И. В. Усков

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И.В. Усков

инициалы, фамилия

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения  
Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ / Н. В. Белоусова /  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме магистерской диссертации

Студенту Киба Евгению Викторовичу  
Группа ЦМ 19-28М Направление (специальность) 22.04.02 Металлургия

Тема выпускной квалификационной работы «Производство брикетов из коксовой пыли и мелочи АО «РУСАЛ Саяногорск» для черной металлургии»

Утверждена приказом по университету № 19631/с от 28.12.2018 г.

Руководитель ВКР И.В. Усков, канд. техн. наук, доцент

Исходные данные для ВКР: учебная литература, периодические издания, Интернет-ресурсы, отчетная документация предприятия (с базы практики)

Перечень разделов ВКР: Литературный обзор, Методическая часть, Экспериментальная часть, Экономическая часть

Перечень графического материала: презентация по теме выпускной квалификационной работы

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ И.В. Усков

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ Е.В. Киба

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>АННОТАЦИЯ</b> .....	<b>3</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b> .....	<b>4</b>
1.1 Сущность и значение переработки отходов в металлургической промышленности .....	4
1.2 Технология брикетирования .....	8
1.3 Обзор существующих способов и технологий брикетирования коксовой пыли .....	20
<b>2 АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ УТИЛИЗАЦИИ АСПИРАЦИОННОЙ КОКСОВОЙ ПЫЛИ</b> .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
2.1 Исследование свойств аспирационной пыли <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
2.2 Варианты использования аспирационной коксовой пыли <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
2.3 Укрупнение аспирационной коксовой пыли <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
2.4 Технологические схемы процесса укрупнения аспирационной коксовой пыли .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>3 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПО ПРОИЗВОДСТВУ БРИКЕТОВ ИЗ КОКСОВОЙ ПЫЛИ И МЕЛОЧИ АО «РУСАЛ САЯНОГОРСК» ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ</b> .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
3.1 Анализ текущей ситуации .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Экологическая экспертиза проекта и выполнение требований в области промышленной безопасности .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Расчет затрат на реализацию инвестиционного проекта... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
3.4 Оценка экономической эффективности реализации инвестиционного проекта .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	<b>28</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....	<b>34</b>

## АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация на тему «Производство брикетов из коксовой пыли и мелочи АО «РУСАЛ Саяногорск» для черной металлургии» содержит 77 страниц машинописного текста, 14 таблицы, список использованных источников из 53 позиций.

Цель испытаний – подтверждение возможности сокращение отходов производства за счет переработке отходов в товарную продукцию посредством внедрения технологии брикетирования коксовой пыли для нужд черной металлургии.

Для достижения поставленной цели были сделаны следующие предположения:

Аспирационная пыль по химическому составу имеет достаточно высокое содержание углерода, позволяет рекомендовать пыль к использованию, как в качестве топлива, так и в качестве восстановителя в производстве стали.

Для укрупнения частиц коксовой пыли можно использовать в качестве связующего: отходы производства полимеров и пековые остатки термоцистерн используемые для перевозки пека. Выбор связующего зависит от места применения коксовой пыли у потребителя и определяться окончательно при разработках ТУ на опытную партию.

Реализация проекта «Производство брикетов из коксовой пыли и мелочи для черной металлургии АО «РУСАЛ Саяногорск» позволит предприятию: получить дополнительную прибыль от реализации продукции (гранулированный коксовый материал), исключить экологические платежи за размещение отходов (аспирационной коксовой пыли) на полигоне, а также снизить загрязнение окружающей среды.

[Изъято 2 страницы]

# **1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

## **1.1 Сущность и значение переработки отходов в металлургической промышленности**

В современных условиях развития рыночной экономики активно повышается энергопотребление, что неизбежно ведет к созданию эффективных энергосберегающих технологий, обеспечивающих комплексное использование сырья и материалов с максимальным снижением вредного воздействия на окружающую природную среду.

В промышленно развитых странах мира получают все большее развитие ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии, постоянно находятся в фокусе внимания проблемы переработки отходов, рационального использования запасов земных недр и уменьшения отрицательного воздействия промышленности на окружающую среду.

Указанные тенденции нашли свое отражение во многих сферах хозяйственной деятельности и получили особую актуальность в работе горно-металлургических комплексов зарубежных стран.

В то же время, говоря о реалиях нашей страны, приходится констатировать отсутствие существенных инновационных сдвигов, усугубление технической и технологической отсталости, высокий уровень ресурсо- и энергозатратности производств [8].

Десятилетия интенсивной работы заводов, горно-обогатительных и металлургических комбинатов привели к образованию значительного количества вторичных сырьевых материалов и мелкофракционных отходов производства, объемы накопления которых постоянно растут.

Вопрос своевременной переработки отходов приобрел особую остроту в промышленно развитых регионах, где крупные предприятия горно-металлургического комплекса являются градообразующими и, соседствуя с жилыми кварталами, оказывают негативное влияние на экологическую обстановку и

здоровье населения (содержание канцерогенных веществ в атмосфере таких регионов в 12 раз превышает аналогичные показатели сельской местности [26]).

Рециклинг промышленных отходов позволяет не только решить вышеупомянутые проблемы, но и повысить экономические показатели производства за счет использования собственных запасов вторичного сырья.

По содержанию ценных компонентов отходы успешно конкурируют с первичными материалами, что дает основание не просто считать их мощным источником сырья для черной металлургии, но даже выделить в отдельную сырьевую категорию под названием «техногенные месторождения» [39].

Показателен опыт ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», где перерабатываются отходы, накопившиеся в шламохранилище наливного типа с 1951 г. Запасы этого сырья составляют 11,46 млн т, а содержание железа в них превышает 25-30 % [39], что сопоставимо с богатством руд таких месторождений, как Кременчугское в Украине (магнетитовые кварциты, 30 %  $P_{вобщ}$ ), Костамукшское в России (магнетитовые кварциты, 32 %  $P_{вобщ}$ ) или Лотарингское во Франции (бурые железняки, 31-32 %  $P_{вобщ}$ ) [6].

В ряде случаев содержание железа достигает более высоких значений. Колошниковая пыль содержит 40-55 % Fe, металлургические шламы различных переделов - 35-55 % Fe, иногда и более 60 % Fe [24], а прокатная окалина - 69-72 % Fe [18].

Металлургическое производство, с присущим ему разнообразием технологических процессов, больше остальных отраслей промышленности предрасположено к использованию отходов.

При этом могут использоваться отходы как металлургических предприятий, так и предприятий других отраслей промышленности: горнорудной, угледобывающей, коксохимической, машиностроительной и пр.

Ценные для металлургических переделов компоненты содержатся в аглодоменных и сталеплавильных шламах, шлаках, прокатной окалине, колошниковой пыли, отсевах ферросплавов, угольных шламах и штыбах, чугуновой, стальной, алюминиевой стружке и ряде других отходов.



Решение задачи переработки промышленных отходов зависит от ряда факторов: вещественного состава, агрегатного состояния, особенностей дальнейшего передела и др.

Тот факт, что большинство промышленных отходов являются мелкофракционными материалами, затрудняет, а зачастую и вовсе делает невозможным их использование без предварительного окускования.

Существующие технологии вторичного использования углехимических и коксохимических отходов требуют постоянной доработки для решения непрерывно растущего числа задач, таких как экология, энергосбережение, повышение рентабельности предприятий. В этой области актуальным становится развитие компактных производств малой и средней мощности по переработке отходов в товарную продукцию.

Металлургические предприятия неразрывно связаны с производством кокса. Основным отходом технологического процесса получения кокса является коксовая пыль. Это ценное топливо с высоким содержанием углерода. При этом, по данным ученых, коксовой пыли на коксохимических предприятиях в среднем образуется более 18 тыс. т. в год, если учитывать, что в России насчитывается 12 коксохимических производств, то эти объемы весьма значительны. [12].

Данный вид отходов коксового производства образуется практически на всех стадиях, но большее количество пыли выделяется на УСТК при тушении и во время перегрузки на конвейерах. Коксовая пыль требует специальной подготовки для вторичного использования в металлургии.

Одним из методов подготовки выступает окускование. С его помощью пыль можно будет добавлять в шихту для коксования или использовать как материал для вспенивания сталеплавильного шлака. Известны три способа окускования пыли:

Агломерация - образование спеканием относительно крупных пористых кусков из мелкой руды или пылевидных материалов. При агломерации

легкоплавкая часть материала, затвердевая, скрепляет между собой твердые частицы [35]

Грануляция - это процесс переработки материала в куски геометрически правильной, единообразной формы и одинаковой массы, называемые гранулы.

Брикетирование - процесс получения кусков (брикетов) с добавкой и без добавки связующих веществ с последующим прессованием смеси в брикеты нужного размера и формы [15].

Традиционными методами получения окускованного сырья для металлургических переделов являются агломерация и производство окатышей.

Современные фабрики окускования используют отработанные технологии, оснащены надежным высокопроизводительным оборудованием и успешно выполняют задачу окускования железорудных материалов природного происхождения. Вместе с тем использование данных технологий при переработке промышленных отходов обнаруживает ряд особенностей, ограничивающих возможность их применения.

Агломерация мелкодисперсных отходов недостаточно эффективна, поскольку при увеличении доли тонких материалов в составе аглошихты снижается газопроницаемость слоя шихты на конвейерной машине, уменьшается ее производительность и сокращается выход годного агломерата. Поэтому большинство отходов (в первую очередь шламы) может быть использовано при агломерации только в качестве дополнительного компонента аглошихты, массовая доля которого, по данным работы [13], не должна превышать 9-13 % во избежание ухудшения режима спекания и качества агломерата.

Переработка отходов путем вовлечения их в процесс производства окатышей затрудняется необходимостью соблюдения жестких требований по влажности и гранулометрическому составу шихты. Вследствие высокой чувствительности процесса к начальному влагосодержанию незначительное превышение предела в 9,5-10 % влаги приводит к переувлажнению окатышей в зоне сушки, разупрочнению гранул и последующему их термическому

разрушению [25]. По данным работы [5], колебания влажности не должны превышать 0,2 %, а содержание в шихте класса -0,074 мм должно быть более 90 %, что обуславливает необходимость в дополнительных затратах на измельчение материалов, не укладываемых в заданный диапазон крупности.

Кроме того, для некоторых промышленных отходов (например, для прокатной окалины или тонкодисперсного отсева обожженного известняка) применение высокотемпературных режимов тепловой обработки попросту нецелесообразно ввиду необходимости сохранения комплекса исходных свойств материалов, обусловленного, прежде всего, их оригинальным минералогическим и химическим составами [24].

Отдельно стоит отметить непригодность процессов спекания и обжига для окускования отходов угледобывающей и коксохимической промышленности по причине выгорания основного ценного компонента этих материалов - углерода.

Наличие вышеперечисленных недостатков переработки отходов способами агломерации и производства окатышей обуславливает закономерный интерес к такому методу окускования, как брикетирование.

В области переработки промышленных отходов процесс брикетирования становится все более востребованным, число использующих его предприятий, номенклатура и объемы производства брикетов в последние годы неуклонно растут.

## **1.2 Технология брикетирования**

Принято различать два вида брикетирования: так называемое горячее (или термобрикетирование) и холодное, относящееся к безобжиговым способам окускования.

Суть способа горячего брикетирования заключается в следующем: в трубчатых, многоподовых печах или реакторах кипящего слоя осуществляют частичное восстановление железорудных материалов, в результате чего

нагретые до 500-1000 °С рудные зерна пластифицируются и при последующем прессовании сближаются, взаимно деформируются, а их оболочки, состоящие из вюститита и металлического железа, свариваются друг с другом.

Таким образом, реализуется механизм твердофазного спекания материалов под давлением, что обеспечивает получение брикетов с достаточно высокими металлургическими свойствами: прочностью в горячем и холодном состояниях, восстановимостью и влагостойкостью [23].

Данный способ брикетирования активно исследовался и развивался в 1960-1970-х годах как отечественными (ЦНИИЧМ, ИЧМ МЧМ СССР, ДонНИИчермет и др.), так и зарубежными научными и производственными организациями, прежде всего в США, ФРГ и Японии [16].

Однако, несмотря на вышеописанные преимущества, термобрикетирование не получило широкого применения в промышленности вследствие нерентабельности дополнительных расходов на предварительный нагрев материалов, а также неудовлетворительной работы прессового оборудования, обусловленной его низкой стойкостью при контакте с горячим материалом.

Способ холодного брикетирования заключается в прессовании материалов без связок либо же с применением связующих добавок органического или минерального происхождения. При этом структура брикета создается путем формирования непосредственных контактов между зернами шихты или через прослойки связующего агента за счет усилия прессования. Данный способ дает возможность прессования не только однородных, но и неоднородных по составу и структуре материалов в достаточно широком диапазоне крупности и влажности.

Процесс позволяет получать прочный кусковый продукт с заданными формой, размерами, плотностью и массой, а также обеспечивает одно из главных преимуществ безобжиговых способов окускования - сохранение неизменными состава и свойств исходного сырья.

Холодное брикетирование отличается простотой технических и технологических решений, небольшой энергоемкостью и экологической безопасностью, возможностью размещения малотоннажных производств в местах образования отходов.

Вместе с тем необходимо отметить, что по сравнению с агломератом и окатышами брикеты холодного прессования имеют более высокую истираемость и низкую термостойкость, поскольку при повышенных температурах большинство связующих веществ разлагается, что приводит к разрушению куска и ухудшению газодинамики при плавке с использованием таких брикетов. Тем не менее грамотный подбор состава брикетов и организация режима плавки позволяют увеличивать объемы переработки брикетов в низкошахтных печах, доменных печах, кислородных конвертерах и электродуговых печах [14].

В настоящее время одной из самых распространенных реализаций способа холодного брикетирования в металлургическом производстве является процесс брикетирования с использованием валковых прессов. Широкое применение данных агрегатов обусловлено наличием ряда преимуществ: непрерывностью процесса, низкими эксплуатационными расходами, небольшими габаритами, широким диапазоном достигаемой производительности.

Вместе с тем данные агрегаты имеют и существенный недостаток, заключающийся в том, что большинство формующих элементов бандажей валков являются формами закрытого типа. Вследствие чего при относительном смещении полуформ происходит образование асимметричных брикетов, при этом прочность связи материала по линии соединения таких брикетов составляет около 10-20 % прочности остальной массы, т. е. асимметричные брикеты характеризуются высокой склонностью к разрушению [15]. Указанный недостаток устраняется при брикетировании в формах открытого типа, что подразумевает использование зубчато- желобчатой конфигурации рабочих валков, выполненной в виде чередующихся кольцевых зубчатых выступов («гребешков») и желобов. Такая форма позволяет получить более высокий ко-

эффицент уплотнения материала, развивать повышенные давления и, следовательно, производить брикеты повышенной прочности [18].

Производством валковых брикетных прессов занимаются крупные зарубежные компании: Maschinenfabrik Koppert GmbH&Co.KG, Германия; K.R. Komarek Inc., США; Verex International LLC, США; Sahut-Conreur, Франция; Anyang GEMCO Energy Machinery Company Co., Ltd, Китай [17, 18]. Необходимо отметить, что приобретение оборудования указанных фирм не является лучшим решением для отечественных горнодобывающих и металлургических предприятий. Прессы производства европейских и американских фирм хотя и отличаются высоким качеством, но при этом требуют значительных затрат как при покупке, так и при дальнейшей эксплуатации и ремонте.

С другой стороны, прессы производства китайских компаний выделяются низкой закупочной стоимостью, однако и качество оборудования находится не на высоком уровне. Кроме того, как показывает опыт, параметры пресса, конфигурацию и размеры формующих элементов следует выбирать с учетом свойств каждого отдельного брикетируемого материала, что обуславливает необходимость индивидуальной работы и тесного сотрудничества между заказчиком и производителем пресса в процессе его изготовления, что практически невозможно при покупке готового оборудования у фирм дальнего зарубежья.

В странах СНГ, до самого недавнего времени, валковые прессы производили ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод», Украина; ОАО «Уралмаш», Россия; ЗАО «НПО Спайдермаш», Россия, и Экспериментально-производственное предприятие (ЭПП) Института черной металлургии (ИЧМ) им. З.И. Некрасова.

Однако в настоящее время официальные сайты первых двух компаний (<http://www.nkmz.com> и <https://www.uralmash.ru>) уже не предоставляют информации о производимых ими валковых брикетных прессах, что дает основание считать ЭПП ИЧМ имени З.И. Некрасова НАН Украины

(<http://epichm.all.biz>) и ЗАО "НПО Спайдермаш" единственными предприятиями, полноценно занимающимися разработкой и изготовлением прессов на территории стран постсоветского пространства.

Рассматривая сферы использования брикетов из промышленных отходов, следует отметить, что они нашли широкое применение в различных областях металлургии. Брикеты используют в качестве:

- железосодержащих компонентов, заменителей металлошихты и охладителей в доменном и сталеплавильном производствах (отсевы агломерата, шламы, колошниковая пыль, окалина, чугунная и стальная стружка);
- топливных и восстановительных добавок в доменном, сталеплавильном и ферросплавном производствах (угольная и коксовая мелочь, пыль, отсеvy, лигнин);
- добавок, регулирующих шлаковый режим сталеплавильных агрегатов (отсевы флюсов);
- легирующих и раскисляющих добавок в сталеплавильном производстве (отсевы силикомарганца, ферромарганца, ферросилиция, алюминиевая стружка);
- промывочных компонентов шихт для доменных печей (прокатная и кузнечная окалина);
- утепляющих составов для разливки стали (лузга подсолнуха, растительные отходы).

Современный опыт плавок брикетов в печах основных металлургических переделов располагает достаточным количеством положительных примеров, которые позволяют считать брикетирование надежным и высокоэффективным методом окускования металлургического сырья.

Использование брикетов из окалины, изготовленных ООО «ДиМет», в доменной печи № 1 МК «Азовсталь» привело к повышению производительности печи на 4,06 % и уменьшению расхода кокса на 0,2 % при расходе брикетов 35,2 кг/т чугуна [17]. На заводе корпорации The Steel Co. Wales Ltd., Великобритания, проводили плавки в доменной печи объемом 1980

м<sup>3</sup>, вводя в состав шихты 25 % брикетов размером 45x30x15 мм, мелочь менее 6,4 мм отсеивали. Показатели работы доменной печи не ухудшились [15]. Использование железо-углеродсодержащих брикетов при выплавке литейного чугуна в доменной печи № 2 ОАО «Тулачермет» (объем печи 1033 м<sup>3</sup>) дало положительный эффект. Количество брикетов составляло 1 т в подачу. В результате расход кокса снизился на 14,4 кг/т чугуна, приведенное производство увеличилось на 37 т/сут, вынос колошниковой пыли уменьшился с 31,9 до 27,7 кг/т чугуна. Регулярное применение промывочных брикетов из прокатной окалины на той же доменной печи позволило устранить прогары воздушных фурм, уменьшить колебания по нагреву и стабилизировать выход продуктов плавки. Опытные плавки с введением в шихту железо-коксовых брикетов провели на доменной печи № 1 ОАО «ЛМЗ "Свободный Сокол"» (объем печи 700 м<sup>3</sup>). Установлено, что использование брикетов в количестве 51,83 кг/т чугуна привело к повышению производительности печи на 91,71 т/сут и уменьшению расхода кокса на 6,1 кг/т. Применение железо- и железо-углерод-содержащих брикетов достаточной прочности в доменном производстве дает следующие возможности: частичная прямая замена углерода кокса углеродом брикетов, частичный вывод известняка из шихты за счет повышения основности брикетов, снижение затрат тепла на прямое восстановление железа в доменной печи благодаря введению его в металлическом виде в составе брикетов [19].

Опытные плавки в кислородных конвертерах на Днепропетровском металлургическом заводе им. Петровского и Енакиевском металлургическом заводе показали, что введение в шихту рудоизвестняковых брикетов размерами 55x110x250 мм дает возможность регулировать температуру металлической ванны, увеличивает жидкоподвижность, реакционную способность и степень дефосфорации шлака. Были достигнуты следующие результаты: снижение расхода бокситов на 55-60 %, увеличение выхода годного на 1-1,6 %, снижение расходного коэффициента жидкого чугуна и расхода кислорода. Брикеты из прокатной окалины и сталеплавильных пылей успешно используются в



кислородно-конвертерном производстве компаний "Инленд Стил" и "Нешнл", США [33].

Наконец получило широкое применение брикетирование шихт в ферросплавном производстве. На Никопольском заводе ферросплавов при выплавке среднеуглеродистого ферромарганца в рафинировочной печи СКБ-6063 использовали брикеты из отсевов силикомарганца MnC17 на органической связке. Сравнение результатов плавки на брикетах с результатами плавки, где в качестве восстановителя применялись мелкофракционные отсеvy силикомарганца, показало следующие преимущества: увеличился выход годного на 1,82 %, снизилось содержание марганца в отвальном шлаке на 2 %, возросла степень усвоения металлофазы шихты, более полное развитие получили восстановительные процессы [21]. Плавка углекварцевых брикетов в рудовосстановительной электропечи мощностью 1000 кВА (Зестафонский завод ферросплавов, Грузия) характеризовалась повышением извлечения марганца и кремния на 14,5 и 22,7 % соответственно по сравнению с плавками на шихте из марганцевого концентрата 1-го сорта без брикетов. Наблюдалось трехкратное снижение потерь марганца с отвальными шлаками [15]. Проведенные на Серовском заводе ферросплавов промышленные плавки ферросиликохрома показали, что применение хроморудных брикетов сопровождается снижением удельного расхода электроэнергии и повышением извлечения хрома на 5,68 % [15]. Полупромышленные плавки на печах мощностью 80 и 600 кВА Челябинского электрометаллургического комбината показали следующие результаты: при выплавке ферросилиция улучшился ход печи, снизился расход электроэнергии на 4,2 %, в предельном феррохроме возросло содержание кремния на 3-7 %, снизилось содержание окиси хрома в шлаке до 4,7 % [25].

Таким образом, в зависимости от области применения возможно получение брикетов, которые по совокупности свойств (состав, прочность, восстановимость и др.) отвечают потребностям каждого металлургического передела.

Вместе с тем комплексный подход к изучению и совершенствованию процесса брикетирования как полноценного способа окускования металлургического сырья зачастую отсутствует. Разрозненные авторские коллективы обособленно решают частные задачи, что не способствует формированию целостного видения комплекса проблем и перспектив развития метода брикетирования. Как результат, на сегодняшний день имеется ряд «белых пятен» в понимании теории и развитии технологии брикетирования. В частности, одним из нерешенных вопросов является отсутствие четко сформулированных требований к брикетам, что серьезно тормозит развитие рециклинга промышленных отходов и препятствует их использованию в металлургическом производстве.

Значительным шагом в данном направлении является создание классификации брикетов в соответствии с их назначением, предложенной И.Ф. Куруновым, под руководством которого коллективами исследователей МИСиС и ООО "ЭкоМашГео" (г. Тула, Россия) разработаны и опробованы составы железо-углеродсодержащих брикетов для различных металлургических процессов [21]. Авторы условно разделяют брикеты на три класса. К первому классу относят самовосстанавливающиеся брикеты, содержащие окислы железа и углерод. В зависимости от соотношения окислительных и восстановительных компонентов эти брикеты могут использоваться в сталеплавильном (заменитель чугуна и стального лома, карбютизатор) или доменном (металлосодержащий компонент шихты, частичный заменитель кокса) производствах. Ко второму классу относят брикеты без углеродсодержащих добавок, состоящие из окислов железа, восстановленного железа, флюсующих компонентов. Брикеты данного типа используются для повышения содержания железа в шихте, уменьшения расхода сырья, улучшения газодинамики процесса. К третьему классу относят брикеты специального назначения, выполняющие специфические функции в металлургических агрегатах, например: промывочные брикеты, брикеты для наращивания гарнисажа или легирующие брикеты, обеспечивающие получение чугуна и стали заданных составов.

ИЧМ НАН Украины на протяжении почти 50 лет занимается разработками, направленными на совершенствование процесса брикетирования мелкофракционных материалов и получение окускованного сырья, удовлетворяющего нуждам основных металлургических переделов. При создании технологий производства брикетов вопрос соответствия их свойств условиям последующей переработки является определяющим.

Обобщение собственного опыта ИЧМ, анализ технологических инструкций основных переделов, технических условий на производство металлургических брикетов и сведений, опубликованных по этой тематике И.Ф. Куруновым, Б.М. Равичем, В.В. Ожогиным и другими авторами [20], позволили в первом приближении сформулировать требования к брикетам для доменного, сталеплавильного и ферросплавного производств.

Перспективными направлениями дальнейших исследований в данной области являются: конкретизация требований в зависимости от области использования и функционального назначения брикетов, разработка и опробование эффективных методик определения качества брикетов, исследование влияния совокупности свойств брикетов на показатели плавки и качество продукции последующих металлургических переделов.

На основе выполненных в ИЧМ теоретических исследований процесса брикетирования, опыта разработки технологий и оборудования для получения брикетов из различных материалов сформирован комплексный методологический подход, позволяющий, начиная с изучения свойств брикетируемых материалов, осуществлять научно обоснованный выбор технологических и энергосиловых режимов производства брикетов, отвечающих требованиям металлургических переделов, определять технические и конструктивные параметры прессового оборудования, которые используются для создания технической документации на его изготовление в условиях ЭПП ИЧМ. На основе выбранных технологических режимов и технических условий предприятия-потребителя разрабатываются тех-

нологические регламенты на производство брикетной продукции, согласно которым проектируются технологические линии.

Такой методологический подход использован, в частности, при создании успешно работающих с 2003 г. промышленных участков брикетирования на Никопольском заводе ферросплавов, в ПАО "АрселорМиттал Кривой Рог" (брикетирование отсевов ферросплавов), на заводе по производству металлургических брикетов ООО "Конкрет" (широкий круг металлургических брикетов). Линии брикетирования различных материалов, использующие разработанные в ИЧМ технологии и прессовое оборудование, введены в эксплуатацию на ряде предприятий малого и среднего бизнеса.

Разработки и исследования последних лет, выполненные сотрудниками ИЧМ в ходе проведения фундаментальных, поисковых и хозяйственных работ, можно условно свести к следующим направлениям: развитие теоретических основ процесса, разработка технологических режимов брикетирования, совершенствование конструкции и технических характеристик прессового оборудования.

По первому направлению достигнуты следующие результаты:

- установлены закономерности уплотнения мелкофракционных шихтовых материалов при многостадийной схеме прессования [26];
- разработан аналитический метод прогнозирования и оценки сопротивления шихт сжатию с учетом их свойств [27];
- изучены взаимосвязи прочностных характеристик брикетов с параметрами нагружения при брикетировании мелкофракционных шихтовых материалов с различными свойствами [28].

В настоящее время продолжают исследования по изучению влияния различных факторов (структура, свойства частиц, физико-механические свойства материала, параметры уплотнения, межчастичное взаимодействие) на формирование прочностных связей, возникающих в процессе прессования мелкофракционных материалов. Целью исследований является разработка

новых аналитических методов прогнозирования и оценки прочности брикетов из различных материалов на разных стадиях уплотнения.

Результаты проведенных теоретических исследований были использованы в конкретных технологических разработках. Специалистами института по заявкам предприятий разработаны технологические регламенты на производство брикетов металлургического назначения из прокатной окалины и шламов завода им. Петровского, пыли электрофильтров Побужского ферроникелевого комбината, магнезиальных флюсов Пантелеймоновского огнеупорного завода, флюоритового концентрата, карбида кремния.

Выполнен ряд разработок, направленных на совершенствование конструкции и улучшение эксплуатационных характеристик брикетного валкового пресса конструкции ИЧМ [29, 30], изготавливаемого ЭПП института. Данный пресс, бесстанинного типа с зубчато-желобчатой конфигурацией формующих элементов валков, является основой модельного ряда прессовых агрегатов, выпускаемых ЭПП ИЧМ. Производительность прессов составляет до 40 т/ч в зависимости от брикетируемого материала, максимальное усилие прессования до 200 МПа, диаметр валков 500-647 мм, ширина валков 202-360 мм, масса прессов от 4,0 до 12,5 т.

В результате проведенных сотрудниками института исследований были:

- предложены новые методы исследования износа и влияния степени износа бандажей валковых прессов на параметры брикетирования [31, 32];

- создан действующий прототип экспертной системы, позволяющий в оперативном режиме в процессе эксплуатации прессов осуществлять оценку возможности эксплуатации изношенных бандажей, корректировать режим работы прессов и технологические характеристики шихты с целью увеличения рабочего ресурса бандажей [33];

- создана конструкция нового усовершенствованного валкового брикетного пресса с усилием прессования 200 т, которая успешно опробована и работает в промышленных условиях в составе линии брикетирования флюсов Пантелеймоновского огнеупорного завода.

В данное время проводятся исследования по изучению путей повышения качества брикетов за счет снижения негативного влияния упругого последствия. Целью является создание нового расчетно-аналитического метода изучения и оценки влияния конфигурации формующих элементов на упругое последствие в брикетах с учетом физико-механических свойств шихты. Выполнение поставленной задачи даст возможность сформулировать рекомендации по выбору оптимальных параметров формующих элементов и шихтового состава брикетов, позволяющих предельно минимизировать отрицательное влияние упругого последствия.

Для дальнейшего совершенствования брикетирования и более широкого внедрения его в практику металлургического производства усилия исследователей и практиков следует сконцентрировать на решении следующих задач:

а) Конкретизация требований к брикетам в зависимости от области их последующего использования и функционального назначения; систематизация этих требований и, в перспективе, создание обобщенных стандартов на данный вид металлургической продукции; исследование влияния совокупности свойств брикетов на показатели плавки и качество продукции металлургических переделов.

б) Совершенствование технологии производства брикетов путем повышения эффективности и оптимизации технологических операций процесса их производства, а также разработки новых видов связующих добавок, применимых для максимально широкого круга брикетируемых материалов, позволяющих оптимизировать качественные характеристики брикетов (пластичность, прочность, влагостойкость, термостойкость и т. д.), обладающих технологичностью и рентабельностью.

в) Создание аналитических методов, позволяющих научно обоснованно прогнозировать качество готовой продукции на начальных стадиях разработки технологических режимов и управлять процессом производства брикетов с заданными характеристиками.

г) Разработка системного подхода, который объединит в единую структуру методы расчета энергосиловых и технологических параметров процесса брикетирования с методиками проектирования конструктивных элементов прессового оборудования и позволит синтезировать рациональные компоновочные решения валковых прессов с учетом физико-механических свойств брикетируемых материалов.

д) Совершенствование конструкции прессов, повышение их надежности и удобства в эксплуатации.

### **1.3 Обзор существующих способов и технологий брикетирования коксовой пыли**

Обзор существующих способов и технологий брикетирования показывает, что на раннем этапе развития его использовали для окускования углей, затем для окускования первичного металлургического сырья - рудной мелочи, грубых концентратов.

В середине XX века брикетирование использовали в основном для окускования измельчённых и пылевидных отходов, что связано с трудностью их окускования другими методами.

В последнее время брикетированию стали подвергать и концентраты для внедоменного получения железа.

Новый, современный этап повышения интереса к брикетированию связан с обострением экологических проблем, пришедшихся на последнюю треть XX века, а также ростом цен на энергоресурсы.

В качестве эффективного метода окускования активнее стали привлекать брикетирование. При этом при разработке комплексных систем утилизации железосодержащих отходов на металлургических предприятиях брикетирование всё шире используют в качестве ведущего метода окускования.

Одним из первых способов брикетирования руд является «метод Грёндаля» (Швеция), с применением которого в 20-30 годах прошлого века

работало большое количество брикетных предприятий Швеции, Норвегии и Германии.

Этот способ заключается в прессовании руд крупностью 0-5 мм и увлажнённых тонкоизмельчённых магнетитовых концентратов на столовых прессах типа Сутклиффа под давлением 30-50 МПа. Брикеты прямоугольной формы размером 150\*150\*75 мм обжигали в трёхкамерной туннельной печи длиной 45-70 м, отапливаемой генераторным газом или пылевидным топливом.

По способу Ильседер-Хютте (Германия) колошниковую пыль в смеси с прокатной окалиной и глинистым шламом промывки бурого железняка нагревают и прессуют при давлении 30 МПа. Упрочнение брикетов осуществляют в закрытом помещении до прочности 10 МПа [11].

Способ Гизенке позволяет брикетировать без связующих материалов глинистые мелкие руды, колошниковую пыль и огарки. Пластичность, необходимую для брикетирования, обеспечивали увлажнением и помолом компонентов шихты. Прессование производили в штемпельных мундштучных прессах (сечение штемпеля 60\*90 мм), а обжигали в шахтной печи изменённой конструкции производительностью до 40 т/сут. Высокий расход топлива (14 %) и низкая производительность привели к свёртыванию производства [23].

Для сохранения положительных особенностей брикетирования без связующих материалов в начале 60-х годов прошлого века стали использовать «горячее» брикетирование, заключающееся в прессовании нагретой до температуры размягчения, а иногда и частично восстановленной шихты. Так, по способу Дж. Мора и Д. Мерлина (США) брикетированию на вальцовом прессе подвергали частично восстановленную пылеватую железную руду.

Германия занимает лидирующие позиции в сфере брикетирования. Так, брикетирование бурых углей было впервые освоено в Германии в конце XIX века. Поэтому вполне естественно, что и брикетирование железосодержащих материалов там же получило широкое распространение.

Одно из первых предприятий по утилизации металлургических отходов было пущено в начале 60-х годов XX века. Его производительность - 200 т



брикетов в сутки. Брикетты из колошниковой пыли и других железосодержащих отходов формовали на вальцовых прессах.

В Германии во второй половине XX века работало несколько опытных и промышленных установок брикетирования рудно-топливных шихт по методу Вебера. Рудная мелочь в смеси с углеродистым восстановителем и связующим (концентрат сульфитно-спиртовой барды - 5 %, гидрированная каменноугольная смола или ацетиленовый ил - более 20 %) смешивают в шнековом (для барды) или барабанном (для карбидного ила) смесителе и брикетируют в вальцовом прессе под давлением 20-70 МПа. При использовании барды готовые брикетты упрочняют подсушкой при 250 °С, а затем подвергают полукоксованию в ретортах фирмы «Гумбольдт», где в качестве теплоносителя используют песок с температурой 700-800 °С. Длительность полукоксования 1 ч. Брикетты с карбидным илом подвергают упрочнению карбонизацией. Весьма эффективна обработка брикеттов в дымовых каналах. Брикетты использовали для выплавки чугуна в низкошахтных печах [27].

Фирмами «Кёпперн» и «Макс Хютте» предложен способ изготовления брикеттов из отходов металлургического производства, включающий брикетирование окалины прокатных цехов и установок непрерывного литья заготовок, пыли и шламов доменных и сталеплавильных цехов вместе с нефтяным коксом, колошниковой пылью, коксовой мелочью, полученной при коксовании каменных и бурых углей.

Количество углеродсодержащих добавок соответствует полному восстановлению железа в брикеттах при загрузке их в сталеплавильные печи и вагранки. В качестве пластификаторов при брикетировании в шихту добавляют 1-4 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 2-7 % мелассы и 1-4 % сульфитного щёлока [25].

В Германии также работает ряд установок «горячего» брикетирования железосодержащих отходов и несколько установок по утилизации мелкой (менее 8 мм) извести. Известковые брикетты используют в качестве флюса в металлургии и при производстве стекла. В состав установок «горячего»

брикетирования входят вальцовые прессы закрытого типа с предварительной подпрессовкой шихты.

По одному из разработанных способов «горячему» брикетированию подвергали руды и концентраты различного химического состава с содержанием, %: 34,2-61,5 Fe<sub>общ</sub>; 5,7-21,3 SiO<sub>2</sub>; 0,2-3,3 CaO; 0,01-0,43 S. Давление прессования изменяли от 25 до 100 МПа и температуре от 800 °С до 1000 °С. Удовлетворительные результаты были получены только при давлениях прессования 75-100 МПа и температурах 800-1000 °С. Сопротивление брикетов сжатию составляло 2,3-6,5 МПа.

Недостаточная прочность брикетов объясняется большим количеством тугоплавких окислов и отсутствием восстановителя, способствующего образованию жидкоподвижных вюститных фаз.

Способ фирм «Тиссен - Лурги» позволяет использовать брикетированную пыль в конвертерном процессе. Крупная пыль содержит 72 % металлического железа и 85 % железа общего; тонкая пыль - 20 % металлического железа и 70 % железа общего. Брикетты получают способом «горячего» брикетирования, при котором высокая степень металлизации сохраняется. Брикетты являются вполне пригодными заменителями руды и скрапа.

Новая технология ОКСИКАП, разработанная фирмами «Тиссен КрупшШталь», «Маннес-манн», «Кютнер», «Б.У.С.» и «МессерГрисхайм», предусматривает получение брикеттов путём вибропрессования и использования их в доменной печи после выдержки в течение 5 сут. Брикетты содержат шлам доменной печи, вторичную окалину и коксовую пыль. В качестве связующего использован цемент. Плавку брикеттов осуществляли в вагранке и реконструированной доменной печи № 3 в Хамборне. В обоих случаях был получен положительный результат [34].

В Англии также нередко используют брикетирование в качестве метода окускования отходов. В частности, предложен процесс EnvIRONment, заключающийся в переработке металлургических и органических отходов методом пирометаллургии.

Брикеты из сталеплавильных пылей и целлюлозы переплавляют в дуговых печах постоянного тока с глубокой шлаковой ванной с получением железного расплава, без вредного шлака и обогащенной цинком пыли.

Восстановление и плавление брикетов определяется химическими и термическими параметрами. Расплавление брикетов в шлаке протекает через растворение FeO и металлического железа на границе раздела «шлак - брикет».

Фирмы «Мидрекс» и «KobeSteelLtd» разработали Fastmelt - процесс восстановления железосодержащих отходов (пыли и шламов) в печи с вращающимся подом, используя уголь и коксик в качестве восстановителя. Полученный продукт со степенью металлизации 85-92 % и содержанием 2-4% углерода в виде брикетов или окатышей используют в шихте конвертеров, доменных и дуговых печей.

На заводе «Фор-сюр-Мэр» (Франция) свежую замавленную окалину (40 тыс. т в год) брикетируют в смеси с известью и добавляют 1 % брикетов размером >5 мм в конвертер. Также в виде брикетов переплавляют в дуговых сталеплавильных печах 160 тыс. т в год пыли, опилок, прокатной окалины, нержавеющей стали на заводе Южин Савой, периодически получая богатую цинком пыль которую передают на заводы цветной металлургии [33].

Широкое распространение в Европе и Америке получило «горячее» брикетирование скрапа, чугуновой и стальной стружки, губчатого железа и др. В частности, на заводах фирмы «Фиат» (Италия) проводили опыты по получению брикетов из губчатого железа с целью замены ими скрапа в шихте мартеновских и электропечей. Брикеты из губчатого железа имели цилиндрическую форму высотой 60-80 мм диаметром до 100 мм, массой 2,5-3,0 кг и плотностью 6000-6300 кг/м<sup>3</sup>. Степень восстановления 88,6 %. На этих брикетах было проведено 45 мартеновских и 32 электросталеплавильных плавки.

Процесс «Ферро-карб», разработанный в США, может обеспечить утилизацию всей железо- и углеродсодержащей пыли с низким содержанием цинка путём изготовления брикетов для доменного производства. Пыль, шлам

и другие отходы не должны иметь крупность частиц +4,76 мм и содержание влаги выше 8 %; допустимое содержание масел в прокатной окалине, шламе - не выше 6 %. Если в шихте на контрольном грохоте появляются более крупные материалы, их доизмельчают, а более влажные - подсушивают.

Процесс состоит из четырёх основных стадий: сухое смешивание пылей практически в любом соотношении, нагрев шихты с введением расплавленного или нагретого углеводородного связующего и перемешивание, брикетирование и нагрев брикетов в окислительной среде. Брикетирование осуществляют на вальцовых прессах под давлением от 30-40 до 80-90 МПа, требующем меньшего расхода связующего. Сырые брикеты имеют механическую прочность 0,35-0,50 кН/брикет и подвергаются термообработке в окислительной среде для дегидратации и полимеризации связующего.

Прочность термообработанных брикетов составляет 0,9-5,0 кН/брикет и зависит от состава шихты (крупность исходной шихты - 3,36 мм), расхода связующего и продолжительности термообработки. Брикеты устойчивы при хранении на открытом воздухе, обладают необходимой водо- и термостойкостью при тепловом ударе (погружение в расплавленный чугун с температурой выше 1500 °С), хорошей восстановимостью (94,7-99 % по сравнению с 42-66,4 % для обожженных окатышей), определяемой по способу Линдера. Способ связан со значительно меньшими капитальными и текущими затратами по сравнению с другими способами окускования [22].

Особенностью развития брикетных технологий в США является распространение способов «горячего» брикетирования с использованием брикетов в доменном и сталеплавильном производствах.

Первые опытно-промышленные установки брикетирования железосодержащих отходов появились в США в конце 50-х годов прошлого века. Производительность таких установок обычно не превышала 40-45 тыс. т в год. Однако уже в 1966 г. на двух заводах фирм «Грей айронфаундри» и «Доминион фаундри энд стил» были пущены установки «горячего» брикетирования отходов производительностью 250 тыс. т в год каждая.

На установке фирмы «Грей айронфаундри» нагрев материала осуществляли в многоподовой печи с последующим брикетированием на вальцовом прессе с предварительной подпрессовкой материала.

На установке другой фирмы нагрев шихты, состоящей из доменной пыли, прокатной окалины и тонкоизмельчённого металлического лома, осуществляли в печах кипящего слоя до 800-1000 °С.

Образующуюся массу в горячем состоянии брикетировали на вальцовых прессах. Размеры брикетов от 25x38x18 мм до 37x118x43 мм.

Фирма «Рекласос» (США) разработала процесс совместной подготовки железосодержащих пылей, шламов, коксовой мелочи и замасленной окалины путем их брикетирования с добавлением каменноугольного пека. Брикет используют в доменной шихте в количестве до 105 кг/т шихты.

Промышленную установку по брикетированию железосодержащих отходов эксплуатируют и на заводе «Люкенестил» в Котсвилле. Производительность установки - 65 тыс. т брикетов в год. Брикет используют в дуговых электропечах.

В Японии в связи с жёсткими экологическими требованиями брикетирование также получило широкое распространение. В частности, на заводе фирмы «Ниссенсэйко» из высушенного кека, сухой пыли и окалины с добавкой связующих на вальцовых прессах изготавливают брикеты, которые подсушивают до влажности 2 % и упрочняют в конвейерной сушилке при температуре 250 °С. Брикет подают в электропечь с флюсом и коксом [15].

В Японии также разработана технология брикетирования отходов коррозионной стали (окалина, шламы), по которой кек после фильтр-прессов смешивают с окалиной и пылью из систем газоочистки и брикетируют со связующим на вальцовых прессах. Для повышения прочности в шихту вводят до 30 % крупной окалины. Сырые брикеты подсушивают до влажности 2 % в конвейерных сушилках. Прочность брикетов на сжатие - до 1 кН/брикет. Готовые брикеты используют в шихте электропечей.

На заводе фирмы «Фудзисэйтэцу» (Япония) конвертерную пыль увлажняют и направляют в прессы низкого давления. Брикетты обжигают в шахтной печи при 1300 °С и используют в сталеплавильном производстве. Содержание железа в брикетах - 62-63 %.

Оригинальный способ обработки доменной пыли предложен фирмой «Син-Ниппон сэйтэцу» (Япония). Пыль смешивают с агентом, облегчающим брикетирование; готовые брикетты загружают на дно ковша и заливают жидким шлаком. При заливке цинк возгоняется, окислы железа восстанавливаются.

По способу обработки пыли и шлама электросталеплавильного производства, предложенному фирмой «Ниппон дзирекусэнко» (Япония), пыль и шлак формуют в брикетты с восстановителем, загружают в реакционную печь в смеси с жидким шлаком, нагретым до высокой температуры. Вредные металлы улетучиваются, ценные - металлизуются.

В России и других странах СНГ в последнее время резко возрос интерес к брикетированию как экологически чистому и экономически выгодному методу окускования металлургических отходов [16]. В частности, Ульяновским политехническим институтом предложен способ переработки металлосодержащих шламов, включающий магнитную сепарацию шламов, их сушку в прямоточной печи с вращающимся барабаном, последующим брикетированием и переплавом.

В 1997 г. С.М. Абрамовичем, К. А. Черепановым и З.А. Масловской предложен способ окускования брикетированием дисперсных отходов высококремнистого ферросилиция. В качестве связующего использована кремнезёмистая керамическая суспензия, при взаимодействии которой с прессуемым материалом наблюдается выделение значительного количества тепла экзотермической реакции, протекающей с выделением водорода.

[Изъято 48 страниц]

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барлаков С.А. Инвестиционный менеджмент [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Барлаков С.А., Свиридова Т.А.— Электрон. текстовые данные.— Санкт-Петербург: Интермедия, 2017.— 239 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68588.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Баюл, К. В. Разработка экспертной системы принятия оптимальных решений, обеспечивающих увеличение ресурса эксплуатации бандажей валковых прессов. Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Днепрпетровск: НметАУ. 2013. Вып. 2 (85). - С. 3–11.
3. Большаков, В. И. Анализ современных машин для брикетирования мелкофракционных сырьевых материалов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 4. - С. 92–96.
4. Влияние показателей качества угольных блоков на анодное перенапряжение при электролизе криолитоглиноземных расплавов / А. С. Ясинский, [и др] / Сборник докладов 10 Международного конгресса "Цветные металлы и минералы – 2018", Красноярск, 2018. – С. 407-416.
5. Галевский, Г.В., Экология и утилизация отходов в производстве алюминия / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. – Новосибирск: Наука, 1997. – 158 с.
6. Гоник, И.Л. Особенности применения брикетируемых железосодержащих отходов // *Металлург*, 2011 – № 5 – С. 25–27.
7. Дрожилов Л. А. Современная технология производства железорудных окатышей // *Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”*. 1973. № 2. - С. 3–17.
8. Ефименко, Г. Г. Металлургия чугуна. - Киев: Вища школа. 1988. - 351 с.
9. Железо-флюсо-углеродсодержащие брикеты I новая композиционная шихта для металлургических переделов / И. Ф. Курунов, В. И. Котенев, Е. Ю.

Барсукова и др. // Материалы конф. “Металл Форум–2003”. Ї Киев, Украина. 2003.

10. Журавлева Е. Н., Коррозия железосодержащих анодов при электролизе алюминия / Е.Н. Журавлева, [и. др] // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2012. №7. – С.717-721

11. История брикетирования и предлагаемый способ. Режим доступа: [http://briket.ru/briket\\_his.shtml](http://briket.ru/briket_his.shtml) (дата обращения: 25.06.2020)

12. Кожевников, И.Ю. Окускование и основы металлургии. – М.: Металлургия, 1991 – 296 с.

13. Коротич В. И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. Ї М.: Металлургия. 1978. Ї 208 с.

14. Крикунов Д.И. Оценка влияния степени уплотнения на теплофизические свойства мелкодисперсных углеродных материалов // Молодежь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э.Циолковского. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2012.

15. Куликов, Б.П. Переработка фторсодержащих отходов и промпродуктов алюминиевого производства в цементной промышленности // Цветные металлы – 2010: сборник докладов второго международного конгресса. - Красноярск: ООО «Версо», 2010 - 850 с.

16. Левин, Д. Статистика для менеджеров с использованием Microsoft Excel/ Левин, Д. Стефан, Д. Кребиль, Т.; ред. Д.А. Ключина - 4-е изд. - М.: «Вильямс», 2004. – 1312 с.

17. Легкие металлы. Качество анодов и производительность печи обжига. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lmltd.ru/r-d/articles/91-anode-quality.html>

18. Малахатка, Ю. Н. Сорбент на основе аспирационной пыли / Ю. Н. Малахатка, Г. И. Тарасова // Сорбционные и хроматографические процессы, 2013. т.Т. 13, N вып. 4.- С.476-481.



19. Масса анодная углеродная. Технические условия ТУ 1711-113-05785276-2016 редакция 1

20. Metallurgical plant named after Petrovskiy. TSP. Technology of production of pig iron TI D-4-81 / Ministry of Black Metallurgy USSR. I Dnepropetrovsk, 1982.- С. 248.

21. New technology of obtaining complex metallurgical raw material from iron- and carbon-containing waste / I. F. Kurunov, V. I. Kotenev, E. Yu. Barsukova and др. // 11-th Internat. congress of blast furnace makers. I Ostrava, Czechia. 2004.

22. Noskov, V. A. Valkovy press for briquetting of fine-fraction waste of production and raw material // Metallurgical and Mining Industry. 1999. № 5. - С. 100–102.

23. Noskov, V. A. On the use of the principle of multi-stage compaction during briquetting of fine-fraction sinter / Fundamental and applied problems of black metallurgy: Sb. научн. трудов ИЧМ НАН Украины. 2006. Вып. 10. - С. 281–285.

24. Noskov, V. A. Preparation and reprocessing of iron-containing waste in metallurgical production of Ukraine // Metallurgical and Mining Industry. - 2000. - № 2. - С. 109-113.

25. On the mechanism of formation and strength of interparticle contacts during hot pressing of iron ore powders / Z. I. Nekrasov, E. V. Prihodko, B. N. Maimur, V. V. Merkulov: Sb. "Intensification of processes of blast furnace melting and commissioning of large volume furnaces". - M.: Metallurgy. 1977. Вып. 3. - С. 122–126.

26. Ozhogin, V. V. Fundamentals of theory and technology of briquetting of finely divided metallurgical raw material. - Mariupol. 2010. - 442 с.

27. Experimental-industrial testing of briquettes from silicomanganese at the casting of medium-carbon ferromanganese / V. A. Noskov, B. N. Maimur, V. I. Petrenko and др. // Metallurgical and Mining Industry. 2003. № 1. - С. 144–146.

28. Папин, А.В. Получение топливных брикетов из тонкодисперсных отходов угледобычи и углепереработки / А.В. Папин, А.Ю. Игнатова, А.В. Неведров, Т.Г. Черкасова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015 – № 5 – С. 43-49.

29. Пат. 2405866 Россия, МПК С 25 С 3/12, С 25 С 3/16. Анодное устройство алюминиевого электролизера с обожженными анодами / В.В. Леонов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования СФУ. – № 2009125887/02; заявл. 06.07.2009; опубл. 10.12.2010.

30. Патент РФ, С 04 В 7/42. 10.03.2010 / Куликов Б.П., Николаев М.Д., Кузнецов А.А., Пигарев М.Н. Способ получения портландцемента // Патент России 2383506.2008. Бюл. №7.

31. Производство и применение в доменной печи брикетов нового поколения / Й. К. Далмиа, И. Ф. Курунов, Р. Б. Стил, А. М. Бажанов // Metallurg. 2012. № 3. -С. 39–41.

32. Промышленный рециклинг техногенных отходов / В. Н. Кокорин, А. А. Григорьев, М. В. Кокорин, О. В. Чемаева. - Ульяновск: УлГТУ. 2005. - 42 с.

33. Прошкин, А.А. Исследование свойств аспирационной пыли //Материалы конференции «Успехи современного естествознания. – Красноярск, 2011, №5. – С.102-103.

34. Прошкин, А.В. К вопросу о погрешностях определения коэффициентов теплопроводности вермикулитовых изделий методом лазерной вспышки // Второй международный конгресс «Цветные металлы Сибири». – Красноярск, 2010.

35. Пути интенсификации процесса сушки окатышей на конвейерных машинах / Е. В. Некрасова, А. П. Буткарев, Г. М. Майзель, С. А. Мариев: В кн.: Интенсификация процессов окускования железорудного сырья. Ъ Свердловск: Уралмеханообр. 1985. - С. 58–63.

36. Равич, Б. М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. - М.: Металлургия. 1975. - 356 с.

37. Равич, Б. М. Брикетирование руд. - М.: Недра. 1982. - 183 с.
38. Разработка аналитического метода прогнозирования и оценки сопротивления шихт сжатию с учетом их свойств / С. В. Ващенко, Б. Н. Маймур, В. И. Петренко, И. Г. Муравьева; Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. I Днепропетровск: НметАУ. 2012. Вып. 4 (81). - С. 3–10.
39. Разработка методического подхода к определению уплотняемости прессуемых шихт с учетом их свойств / С. В. Ващенко, Б. Н. Маймур, В. И. Петренко, И. Г. Муравьева / Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. трудов ИЧМ НАН Украины. 2012. Вып. 26. - С. 270–281.
40. Сизяков В.М. Технологические и методологические основы получения алюминия на мощных алюминиевых электролизерах / В.М. Сизяков, В.Ю. Бажин – СПб: СПГГИ (ТУ), 2011. – 131 с.
41. Солодов, В.С. Разработка технологии утилизации кокосовой пыли коксохимических производств в виде брикетов повышенной прочности /В.С. Солодов, А.В. Папин А.В., А.Ю. Игнатова, Т. Г. Черкасова, В.И. Косинцев, А.И. Сечин, Е.А. Макаревич, А.В. Неведров // Ползуновский вестник. – № 4- 2 – 2011 – С. 159-164.
42. Техническое управление. ИЧМ. Типовая технологическая инструкция по выплавке стали в конвертерах ТТИ-1.3-15- 22–86 / Минчермет СССР. I Днепропетровск, 1986. С. 60.
43. ТИ 501.03.01-2017 редакция 1 Производство «зеленых» анодов. – Введ. 09.11.2017. – Саяногорск: АО «РУСАЛ Саяногорск», 2017. –26с.
44. ТИ 501.03.02-2016 редакция 1 Производство обожженных анодов – Введ. 29.11.2016. – Саяногорск: АО «РУСАЛ Саяногорск», 2016. –48с.
45. ТР 501.03.01.02-2017 редакция 9 Технологический режим производства «зеленых» анодов. – Введ. 03.02.2017. – Саяногорск: АО «РУСАЛ Саяногорск», 2017. –9с.

46. ТР 501.03.02.02-2017 редакция 1 Технологический режим и схема контроля процесса производства обожжённых анодов на печах обжига 1, 2, 3. – Введ. 01.06.2017. – Саяногорск: АО «РУСАЛ Саяногорск», 2017. –5с.

47. ТРП 501.03.02.02 редакция 2 Обжиг «зеленых» анодов. – Введ. 27.05.2015. – Саяногорск: АО «РУСАЛ Саяногорск», 2015. –21.

48. Федосеев, С.Н. Переработка железосодержащих отходов методом брикетирования // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов международной научно-практической конференции, Юрга, 11–12 Декабря 2014 – Томск: ТПУ, 2014 – С. 458–460.

49. Федосеев, С.Н. Технология ОХУ Сур для экологически чистого производства черных металлов //Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 Ноября 2014 – Томск: ТПУ, 2014 – С. 162–167.

50. Черноусов, П. И. Рециклинг. Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов черной металлургии. - М.: МИСиС. 2011. - 428 с.

51. Шатоха, В. И., Пинчук С. И. Вторичные ресурсы металлургии. Ї Днепропетровск: РИА “Днепр–VAL”. 2009. - 338 с.

52. Янко, Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров / Э.А.Янко // ИД "Руда и Металлы", 2001. – 672с.

53. Янко, Э.А. Производство анодной массы/ Янко Э.А., Воробьев Д.Н. - М.: «Металлургия», 1975 - 128 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Основные требования в области охраны окружающей среды, обязательные для выполнения при реализации инвестиционного проекта: «Организация участка по получению коксового материала из коксовой пыли АО «РУСАЛ Саяногорск»

Экологические требования	Форма обеспечения требований
<p>Обязательной экологической экспертизе подлежат проекты строительства, реконструкции, расширения, технического перевооружения, консервации и ликвидации организаций и иных объектов хозяйственной деятельности независимо от их сметной стоимости, ведомственной принадлежности и форм собственности (Федеральный закон «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 г. № 174-ФЗ)</p>	<p>Направление на государственную экологическую экспертизу проекта: «Организация участка по получению коксового материала из коксовой пыли АО «РУСАЛ Саяногорск»</p>
<p>При проектировании, размещении, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов хозяйственной и иной деятельности должно обеспечиваться не превышение нормативов качества атмосферного воздуха в соответствии с экологическими, санитарно - гигиеническими нормами. (Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ).</p>	<p>Включение требования в техническое задание на разработку проекта и для проведения расчета рассеивания загрязняющих веществ в разделе «Охрана окружающей среды» указанного проекта. Обеспечение такими проектными решениями, которые по возможности, исключают создание новых источников выделений и выбросов загрязняющих веществ.</p>
<p>Ввод в эксплуатацию зданий, строений, сооружений и иных объектов осуществляется при условии выполнения в полном объеме требований в области охраны окружающей среды, предусмотренных проектами, и в соответствии с актами комиссий по приемке в эксплуатацию зданий, строений, сооружений и иных объектов, в состав которых включаются представители федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственное управление в области охраны окружающей среды. (Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»).</p>	<p>Выполнения данного требования осуществляется заказчиком строительно-монтажных работ по организации участка по получению коксового материала из коксовой пыли, с участием соответствующих органов государственной власти.</p>

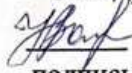
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой

 Н. В. Белоусова /  
подпись инициалы, фамилия

« 10 » 07 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Производство брикетов из коксовой пыли и мелочи АО «РУСАЛ  
Саяногорск» для черной металлургии»

22.04.02 Металлургия

22.04.02.02 Металлургия цветных металлов

(корпоративная программа СФУ - РУСАЛ)

Руководитель	 подпись, дата	<u>канд. техн. наук, доцент</u> должность, ученая степень	<u>И. В. Усков</u> инициалы, фамилия
Магистрант	 подпись, дата		<u>Е.В. Киба</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	<u>начальник ДТиТРАП ИТЦ</u> должность, ученая степень	<u>А.В.Сивков</u> инициалы, фамилия
Консультант экономического раздела	 подпись, дата	<u>канд.эконом.наук, доцент</u> должность, ученая степень	<u>Т.В.Твердохлебова</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2020 год