

УДК 621

**ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕЛ-
КОЙ ФРАКЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ**Б.Е. Морозов¹, аспирант гр. ХНа-251, I курсНаучный руководитель: Черкасова Т.Г.¹, д.х.н, профессор, научный ру-
ководитель института химических и нефтегазовых технологий,
Солодов В.С.², к.т.н., начальник ЦЗЛ-Руководитель по науке и иннова-
ционным технологиям ПАО «Кокс»¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.
Горбачёва, г. Кемерово²Публичное Акционерное Общество «Кокс», г. Кемерово

В интересах нынешнего и будущих поколений актуальным вызовом для устойчивого развития остаются выбросы парниковых газов, качество атмосферного воздуха и распределение отходов [1]. Экологическая обстановка многих регионов мира требует усиления природоохранных мер, в которых важно принимать во внимание экономические факторы [2].

Согласно официальным данным, крупнейшую долю отходов в мире составляет сектор добычи полезных ископаемых. С 2016 по 2024 год доля отходов этого вида экономической деятельности в суммарной массе образованных отходов России составляла 80-90%. Из них большая часть приходится на отрасли по добыче и переработке угля [3]. В тот же период масса утилизации отходов вышеупомянутого сектора не превышает 50%. Кроме того, статистика показывает снижение доли утилизации за счет роста образования отходов, что приводит к развитию комплекса экологических проблем [4]

Отдельного внимания заслуживают отходы пылеобразной фракции менее 6 мм (штыб, коксовая пыль и т.п.), которые образуются на разных стадиях производства. Физико-химические характеристики (тонкодисперсность, зольность и т.п.) ограничивают возможность прямого использования в доменном и энергетических производствах [5] Как следствие, значительная часть этих отходов либо направляется на полигоны, что приводит к загрязнению окружающей среды и потере ценных ресурсов, либо утилизируется неэффективными способами. При этом, некоторые виды отходов добычи и переработки угля зачастую богаты содержанием углерода и ценных примесей, которые потенциально могут быть использованы в качестве сырья для получения востребованных в промышленности материалов.

Нередко предприятия внедряют технологии замкнутого цикла по отношению к определенным процессам, где возвращение отработанных компонентов в технологическую цепочку после соответствующей подготовки – это неотъемлемый процесс производства. Таким образом достигается минимиза-

ция образования отходов, которые нет необходимости утилизировать. Наилучшим достижением таких процессов является баланс между экологической и экономической эффективностью.

По оценкам, массовые потоки коксовой пыли на крупном коксохимическом предприятии достигают порядка 18-20 тыс. тонн в год. Типовой практикой для коксохимической отрасли является возврат части пыли в шихту коксования (приблизительно 1 % от массы шихты), что уменьшает полезный объём загрузки коксовой печи [6]. При таких объёмах проблема обращения с этой пылевой фракцией выходит за рамки локальных технологических затруднений и приобретает системный характер. Здесь требуются решения, учитывающие логистику, санитарно-гигиенические нормы и экономическую целесообразность. Согласно ГОСТ 12.1.007 углеродная пыль относится к веществам IV класса опасности по степени воздействия на человеческий организм. Следовательно, поиски путей утилизации коксовой пыли представляют собой актуальное направление для отрасли.

В том числе актуальность проблемы подтверждается активностью исследовательских работ по внедрению технологий использования углеродосодержащих отходов переработки и добычи угля. Известен способ переработки отходов на основе коксовой пыли в топливные брикеты для энергетической отрасли, которые могут использоваться, как более чистый продукт сгорания по отношению к низкосортным видам топлива [7]

Вместе с тем, отходы мелкой фракции могут рассматриваться как потенциальный ресурс для металлургии, поскольку они представляют собой концентрат углеродистого материала с минеральной составляющей. Особенно остро ощущается постоянная потребность металлургов в качественных легирующих компонентах для выплавки чугуна. Эти компоненты критически важны для придания чугуна и последующим сталям необходимых свойств: прочности, износостойкости, коррозионной стойкости и др. Для решения проблемы утилизации предлагается использование коксовой пыли, штыба и пр. в качестве основных компонентов для изготовления науглероживающих добавок, применяемых в процессе выплавки чугуна из металлического лома.

Коксовая пыль образуется в результате процесса производства кокса на разных стадиях, преимущественно из верхней части коксового пирога. Выход основной массы пыли возникает на установках сухого тушения, сортировке, перегрузках и др. Для проведения исследования приведены усреднённые пробы образцов коксовой пыли предприятия ПАО «Кокс» г. Кемерово, соответствующие нормам для показателей зольности $A^d \leq 17 \%$ по ГОСТ 11022-95 и массовой доли влаги аналитической $W_t^r = 1 - 10 \%$ масс по ГОСТ 27588. Данные проб приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализа проб коксовой пыли

Образец	Влага аналитическая W_a , % мас.	Зольность, A^d , % мас.	Выход летучих веществ, V^{daf} , % мас.	Содержание общей серы, S_t^d , % мас.	Теплота сгорания, Q_v , ккал/кг
Коксовая пыль	4,8	11,6	0,3	0,79	7000

Влага аналитическая определена по ГОСТ 11014-1981, зольность – по ГОСТ Р 55661, выход летучих веществ в пересчёте на сухое беззольное состояние топлива – по ГОСТ Р 55660; массовая доля общей серы в пересчёте на сухое беззольное состояние топлива – по ГОСТ 2059. Из результатов видно, что показатели проб коксовой пыли соответствуют действующим стандартам.

Следующим этапом на базе литейного участка специализированного цеха по ремонту коксохимического оборудования №2 ПАО «Кокс» проведены опытные испытания по отливке чугуна с использованием составленного углеродного восстановителя на основе проанализированных образцов коксовой пыли и углеграфитового материала, результаты испытания которых представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технические показатели опытных образцов углеродного восстановителя для легирования чугуна

Наименование пробы	Наименование показателей	Результат испытания, %	Нормативный документ на метод испытания
НГР (Углеграфитовый мат-л гранулированный)	Зольность аналитической пробы, A^d	0,3	ГОСТ Р 55661
	Выход летучих веществ, $V^{d/daf}$	3,4	ГОСТ Р 55660
	Массовая доля общей серы, S^d	0,7	ГОСТ 2059
	Массовая доля фосфора, P^d	0,02	ГОСТ 1932
НКГ-1 (Коксовая пыль / Углеграфитовый материал)	Зольность аналитической пробы, A^d	9,7	ГОСТ 55661
	Выход летучих веществ, $V^{d/daf}$	2,4-2,6	ГОСТ Р 55660
	Массовая доля общей серы, S^d	0,34	ГОСТ 2059
	Массовая доля фосфора, P^d	0,04	ГОСТ 1932
НКГ-1 (Коксовая пыль / Углеграфитовый материал)	Зольность аналитической пробы, A^d	8,1	ГОСТ 55661
	Выход летучих веществ, $V^{d/daf}$	0,3/0,4	ГОСТ Р 55660
	Массовая доля общей серы, S^d	0,54	ГОСТ 2059
	Массовая доля фосфора, P^d	0,049	ГОСТ 1932

Выплавки производились в индукционной тигельной печи ИЧТ-0,5 (500 кг) методом горячей загрузки в полурасплав. Началом процесса является плавление первой партии лома при температуре 1350-1400 °С. Следом равномерно добавляются опытные образцы науглероживателей по поверхности жидкого металла и плавающими кусками лома. В то же время загружается следующая порция холодного лома для притапливания россыпи восстановителя, уменьшая вероятность всплытия основной части. При этом просадка температуры от холодной шихты не является проблемой, а идет на пользу, позволяя восстановителю прогреться без пережога. После расплавления всей шихты температура доводится до 1460-1480 °С и проводится отбор проб для осуществления спектрального анализа выплавленного чугуна. Стоит отметить, что технология выплавки чугуна в литейном отделении ПАО «Кокс» предусматривает достижение целевых показателей по содержанию компонентов в результате отбора проб во время процесса плавки. Таким образом, при достижении необходимых показателей происходит «разливка» чугуна в специально подготовленные формы.

Для опытных выплавки чугуна была составлена шихта в виде лома стального (рельсовый лом Р65) – 200 кг, лома чугуна 300 кг, FeSi – 10 кг и испытуемого материала – 10 кг. Для получения чугуна марки СЧ20 показатели химического состава должны соответствовать ГОСТ 1412-85, где доля содержания углерода (С) – 3,3-3,5%; кремния (Si) – 1,4-2,4%; фосфора (Р) – ≤0,2%; серы (S) – ≤0,15%. Анализ химического состава, полученного с помощью атомно-эмиссионного спектрометра, показал, что все представленные шихты находятся в целевых диапазонах по содержанию углерода и кремния с некоторыми погрешностями. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Химический состав полученного чугуна

Наименование пробы	Химический состав чугуна, %			
	С	Р	S	Si
НГР	3,27	0,09	-	1,86
НАГ	3,19	0,08	0,09	2,12
НКГ-1	3,21	0,08	>0,09	1,91

В ходе проведения исследований экспериментально установлено, что для обеспечения стабильного результата науглероживания критически важным параметром является зольность конечного продукта, максимальное значение которого должно быть не более 11-12%.

Ранее были проведены опыты по выплавкам чугуна из брикетов (подушечки 10-20 мм) на основе коксовой пыли с добавлением связующего, которые

показали невысокие результаты по параметрам усвоения и смачиваемости легирующих добавок. Оптимальная форма для применения – пылевидная (россыпь фракции 0-6 мм) или гранулы диаметром 2-3 мм, что обеспечивает максимальную площадь контакта с расплавом и высокий коэффициент усвоения углерода.

Проведённые испытания показывают принципиальную возможность использования специально подготовленных материалов на основе коксовой пыли в качестве науглероживателя.

Список литературы:

1. Рамочная конвенция ООН об изменении климата (Рио-де-Жанейро, 4 июня 1992 г.; вступила в силу 21 марта 1994 г.) // Международные соглашения по проблемам климата / отв. ред. А. А. Иванов. – М.: Наука, 1995. – С. 12-20.
2. Декларация конференции ООН по проблемам окружающей среды человека (Стокгольм, 5-16 июня 1972 г.) // Международные документы по охране окружающей среды / отв. ред. И. И. Иванов. – М.: Наука, 1974. – С. 23-27.
3. Статистика образования отходов производств и потребления в Российской Федерации. [Электронный ресурс] – М.: Федеральная служба государственной статистики, б.г. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru>. – Дата обращения: 25.03.2026.
4. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). Утилизация и обезвреживание отходов производства и потребления в Российской Федерации: статистич. бюл. / Росприроднадзор. – М.: Росприроднадзор, 2025. – С. 64.
5. Анализ возможности применения брикетов из коксовой мелочи в ваграночном производстве ПАО «Кокс» / В.С. Солодов, Т.Г. Черкасова, С.П. Субботин, Е.В. Васильева, С.Э. Вагнер, А.В. Неведров, А.В. Папин // Кокс и химия – 2019. – №10. – С. 18-20.
6. Технологические аспекты использования коксовой пыли УСТК в шихте для трамбования при производстве доменного кокса / В.М. Кузниченко, А.В. Сытник, С.С. Курбак // Углеким. журн. – 2015. – №3. – С. 32-36.
7. Пат. РФ № 2468071 Способ брикетирования коксовой пыли / А.В. Папин, В.С. Солодов, А.Ю. Игнатова // КузГТУ. Заявл. 26.10.2011, опубл. 27.11.2012.
8. Разработка технологии утилизации коксовой пыли коксохимических производств в виде брикетов повышенной прочности/ В.С. Солодов, А.В. Папин, Т.Г. Черкасова, В.И. Косинцев, А.И. Сечин, Е.А. Макаревич, А.В. Неведров, А.Ю. Игнатова // Ползуновский вестник – 2011. – №4-2. – С. 159-164.