

# Экологические и технологические аспекты утилизации коксовой пыли в виде топливных брикетов

**А. В. Папин**, доцент, канд. техн. наук<sup>1</sup>

**А. Ю. Игнатова**, доцент, канд. биол. наук<sup>1</sup>

**В. С. Солодов**, аспирант<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (КузГТУ), г. Кемерово

<sup>2</sup>Национальный Томский политехнический университета (ТПУ), г. Томск

e-mail: papinandrey@rambler.ru, allaignatova@rambler.ru

## Ключевые слова:

коксовая пыль, брикетирование, связующие, фусы коксования, пресс-форма, топливный брикет.

*Рассматриваются технологические схемы производства топливных брикетов на основе отходов коксохимических производств — коксовой пыли и фусов коксования. Приводятся результаты оценки качества полученных топливных брикетов.*

## 1. Введение.

На коксохимических предприятиях накапливается большое количество тонкодисперсных отходов, таких как коксовая мелочь, коксовая пыль, на брикетных фабриках — угольная пыль и брикетная крошка (отходы брикетного производства), которые не находят рационального применения и требуют дополнительных затрат на их утилизацию.

Но такие отходы, например, коксовая пыль — это ценное топливо с высоким содержанием углерода. При этом, по данным ученых, коксовой пыли на коксохимическом предприятии в среднем образуется более 18 тыс. т в год, и если учитывать, что в России насчитывается 12 коксохимических производств, то эти объемы весьма значительны [1].

Применения коксовая пыль практически не находит из-за тонкодисперсного состояния и высокой зольности, сложности с разгрузкой и транспортировкой. С другой стороны, запасы традиционных энергоносителей неуклонно сокращаются, что делает важным развитие производств по переработке отходов, в том числе коксовой пыли, в товарную продукцию. Проблема утилизации коксовой пыли очень актуальна в наши дни и требует разработки новых технологий.

Данный вид отходов коксового производства образуется практически на всех стадиях, но наибольшее количество пыли выделяется при тушении и во время перегрузки на конвейере. Коксовая пыль требует специальной подготовки для вторичного использования. 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, грануляция, брикетирование* [2].

Согласно литературным данным [3, 4], оптимальной для утилизации коксовой пыли является технология брикетирования.

Основные аспекты окускования коксовой пыли нужно рассматривать со следующих точек зрения:

- а) экологическая оценка сырья и его влияние на выбросы вредных веществ при сжигании;
- б) оценка экологичности, в частности, степени канцерогенности связующих материалов и влияния состава угольных брикетов на выбросы вредных веществ при сжигании;
- в) экологическая оценка технологии производства окускованного топлива.

Топливные брикеты являются экономичным, калорийным, транспортабельным и удобным в быту твердым топливом. Брикетированное топливо имеет ряд преимуществ перед другими видами топлива:

- 1) брикеты имеют одинаковую правильную форму и вес, они обладают более высокой прочностью и лучшей транспортабельностью;
- 2) безотходность;
- 3) отсутствие высоких температур при изготовлении;
- 4) постоянство химического состава для каждого вида брикета;
- 5) возможность ввода любых добавок (например, ускоряющих или замедляющих горение, уменьшающих выбросы окислов азота);

- б) возможность использования всех видов тонкодисперсных отходов.

Перспективность сырья для производства полноценного бытового топлива методом брикетирования оценивается, прежде всего, по показателям качества (теплота сгорания, зольность, гранулометрический состав и др.) и минеральному составу. Не менее важной является экологическая оценка качества сырья и продуктов его сжигания. Только всестороннее качественное изучение составляющих брикета (шихты, связующего) позволит выявить эффективность их переработки в том или ином направлении [5].

В данной работе окускование пыли реализовано по технологии брикетирования и термобрикетирования. В качестве связующего компонента использован ещё один отход коксохимических производств — фусы коксования.

Проведена оценка качества полученных топливных брикетов.

*Цель данной работы* – разработка оптимальной технологической схемы утилизации коксовой пыли в виде брикетов и гранул повышенной прочности.

*Задачи:*

1. Получение из коксовой пыли брикетов и гранул с высокими показателями прочности и технологических свойств, приемлемых для коксования или использования в качестве топлива для сжигания в бытовых и промышленных топках.
2. Изготовление брикетов из коксовой пыли с применением в качестве связующего компонента ещё одного отхода коксохимических производств – фусов коксования.
3. Подбор оптимальной технологической схемы получения топливных брикетов.

## 2. Анализ способов брикетирования

Способы брикетирования делятся на две группы. В одну можно отнести способы получения брикетов без связующего вещества, а в другую — способы брикетирования, где в качестве связующих применяются различные, как органические, так и неорганические, вещества [6].

В настоящее время разработаны различные способы брикетирования каменных углей и антрацитов, коксовой мелочи. Основные недостатки этих способов — высокое давление прессования, что энергетически невыгодно, использование дорогостоящих связующих компонентов.

А.Т. Елишевич описывает способы брикетирования каменных углей и антрацитов, включающие обезвоживание и сушку исходного угля до влажности 2–3%, смешивание его с жидкими или твердыми связующими (нефтебитумы, каменноугольный пек, сульфат-спиртовая барда, твердые глины, цемент), прес-

сование смеси давлением 20–50 МПа, и последующее охлаждение [7].

Использование предлагаемых связующих значительно усложняет и удорожает процесс брикетирования каменных углей, так как предусматривает операции по глубокому обезвоживанию и термической сушке исходного угля до минимальных значений по влажности, т.е. до 2–3%.

О.С. Данилов и В.А. Михеев предложили способ получения топливных брикетов из бурого угля, который заключается в смешивании бурого угля крупностью менее 6,0 мм с предварительно измельченным до частиц размером менее 2 мм полиэтиленом (бытовыми отходами) в количестве 4,4÷5,0% (на сухую массу угля), нагреве смеси до температуры 120÷140°C с изотермической выдержкой в течение 30 мин, получении брикетов при давлении брикетирования 78 МПа. Механическая прочность на сжатие получаемых брикетов составляет не менее 7,8 МПа [8].

Недостатки этого способа следующие: используется бурый уголь, имеющий склонность к окислению и самовозгоранию, что затрудняет транспортировку брикетов на дальние расстояния и хранение на срок более 3 недель. Ещё одним недостатком является высокое давление прессования 78 МПа.

Способ получения топливных брикетов, разработанный А.И. Головичевым и М.С. Никишаниным, включает смешивание измельченного твердого топлива на основе коксовой мелочи с размерами частиц 0,05–16,0 мм в количестве 50–80 % мас. со связующим на основе модифицированного лигносульфоната в количестве 8–9 % от массы измельченного твердого топлива, брикетирование смеси под давлением 25 МПа и последующую термообработку брикетов [9].

Следует отметить, что высокое давление прессования (25 МПа) экономически и энергетически невыгодно и технически труднодостижимо.

Существующие технологии брикетирования каменных углей и антрацитов не предназначены для использования в качестве исходного сырья коксовой пыли (класс крупности 0–1,0 мм) и тонкодисперсных угольных шламов (класс крупности 0–1,0 мм), образующихся при добыче и переработке каменных углей. Угольные шламы и коксовую пыль сбрасывают в отстойники и отвалы углеперерабатывающих предприятий, что ухудшает экологическое состояние окружающей среды в угледобывающих регионах.

## 3. Объекты и методы исследований.

В качестве объекта исследования использовались коксовая пыль и фусы, полученные на коксохимических предприятиях Кузбасса и Алтая. В зависимости от зольности коксовая пыль разделяется на марки ПК-1, ПК-2 и ПК-3 (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика марок коксовой пыли				
Наименование показателей	Нормы для марок			Методы испытаний
	ПК-1	ПК-2	ПК-3	
Зольность ( $A^d$ , % мас., не более)	13	17	23	ГОСТ 11022
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива ( $W_p$ , % мас.)	1–10	1–10	1–10	ГОСТ 27588

Таблица 2

Характеристика исходной коксовой пыли				
Влажность, $W_p$ , % мас.	Зольность, $A^d$ , % мас.	Выход летучих веществ, $V^{лет}$ , % мас.	Сернистость, $S^d$ , % мас.	Теплота сгорания, $Q_{сг}$ , ккал/кг
4,8	10–16,8	3,29	0,4–0,5	9000

Марка ПК-1 встречается довольно редко, в основном на предприятиях коксовая пыль соответствует маркам ПК-2, а еще чаще ПК-3.

Исследования проводились с коксовой пылью, имеющей следующие характеристики (табл. 2). Как видно из данных, исследуемая коксовая пыль соответствует марке ПК-2.

Для разработанных брикетных составов были определены следующие основные характеристики: прочность при сжатии, зольность, выход летучих веществ, общее содержание серы, общее содержание водорода, водопоглощение, массовая доля влаги, высшая и низшая теплоты сгорания, прочность брикетов и др.

Качество изготавливаемых брикетов оценивали по стандартным методикам: оценка механической прочности на истираемость в малом барабане по ГОСТ 9521-74 со скоростью вращения 50 об./мин в течение 120 с (содержание кусков >25 мм должно быть более 80 % масс.) [10]; прочность на сбрасывание по методу ВУХИН — два раза сбрасывается с высоты 1,8 м на металлическую плиту (содержание кусков >25 мм должно быть более 80 % масс.); испытание на точечное сжатие (кгс/брикет) под нагрузкой, при которой наступает разрушение структуры изготовленного брикета.

Термическая прочность определялась в электропечи при непрерывном изотермическом нагреве в течение 3–5 мин. Суть метода испытания термической прочности состоит в определении изменения величины сопротивления брикетов раздавливающей нагрузке во время горения в электропечи в атмосфере воздуха при температуре 900 °С. Это испытание характеризует поведение брикета в нижнем слое в доменной печи. Это одна из важнейших характеристик, которой должен отвечать брикет, в противном случае его теплотворная способность значительно ухудшится.

Термическая стойкость определялась в муфельной печи при температуре 900 °С по ГОСТ 7714-75 [11] и по методу Института обогащения твердого топлива.

Водостойкость брикетов определяли по ГОСТ 8858-76 [12]. Испытания проводились через 2 ч и 24 ч.

Теплотворную способность коксовых брикетов определяли по ГОСТ 147-95 [13], определение серы в брикетах и брикетной шихте проводили по ГОСТ 2059-95 [14], отбор проб для исследований проводили по ГОСТ 10742-71 [15], определение массовой доли влаги в брикетах — по ГОСТ 11014-10981 [16]. Выход летучих веществ определяли по ГОСТ 6382-2001 [17], зольность — по ГОСТ 11022-95 [18].

Бездымность топливных брикетов определяли по двум критериям, принятым в исследовательской практике Института горючих ископаемых: 1) по выходу летучих веществ (менее 20 %); 2) по отсутствию коптящего пламени в течение > 90 с при сжигании в печи при температуре 850 °С.

#### 4. Результаты и их обсуждение.

В нашей работе экспериментально было опробовано два способа получения брикетов из коксовой пыли. Использовались две установки. Первая установка состояла из пресс-формы, куда загружалась брикетируемая смесь, а также нагревательного элемента и термометра, отражающего температуру пресс-формы. Все эти элементы были обволачены термокожухом для получения точных данных о температуре и для равномерного распределения тепловой энергии по поверхности матрицы, а, следовательно, шихты. Для изготовления брикета использовали пресс (рис. 1).

Пресс-форму предварительно нагревали до температуры 40–50 °С, брикетирование смеси под давлением производили ступенчато, для чего сначала устанавливали нагрузку 5–6 атм., с выдержкой 3–5 мин. и далее до 15 атм. с выдержкой при максимальной нагрузке 3–5 мин.

Принципиальное отличие второй установки в том, что пресс-форма не была оснащена нагревательным элементом. В данной технологии применялась термopодготовка брикетируемой шихты (рис. 2).

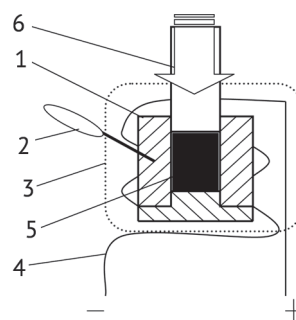


Рис. 1. Схема опытной установки с нагревательным элементом для получения брикетов из коксовой шихты: 1 – пресс-форма (матрица), 2 – термометр, 3 – термокожух, 4 – нагревательный элемент, 5 – брикет; 6 – штемпель

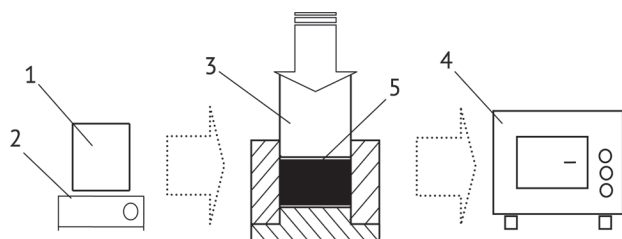


Рис. 2. Схема опытной установки с применением термоподготовки для получения бездымных брикетов из коксовой шихты: 1 – шихта для брикетирования, 2 – электрическая плитка, 3 – пресс-форма, 4 – муфельная печь, 5 – брикет

Смесь коксовой пыли и связующего компонента подвергали термической обработке, нагревая её до температуры 100 °С. Затем смесь вводили в пресс-форму, прессовали ступенчато, как и в первом случае. Когда брикет был изготовлен, его помещали в муфельную печь и прокаливали при температуре 250–300 °С без доступа воздуха в течение 10–12 мин., что обеспечивало выход летучих веществ связующего компонента. Такая методика брикетирования необходима для изготовления бездымных коксовых брикетов.

Выбрано оптимальное соотношение массы коксовой пыли и связующего компонента, оно равно 92:8%. Это подтверждает зависимость профессора А.Т. Елишевича, согласно которой добавление связующего более 10% от массы исследуемого вещества экономически и технологически нерентабельно [2].

Было установлено, что при недостатке связующего брикет утрачивает форму при извлечении из формы для прессования, а при избыточном его количестве

брикет может сгореть на стадии его термообработки или термобрикетировании при прокаливании. Был осуществлен подбор оптимального давления прессования, которое составило 15 атм. При этом давлении брикет не терял свою форму при извлечении из формы для прессования (не разрушался).

Подобран температурный режим прокаливания брикета. Это тот режим, при котором обеспечивается выход летучих веществ связующего компонента, но не происходит озоление брикета, он равен 250–300 °С, при скорости нагрева 25 °С в мин.

Выбор вида связующего компонента для брикетирования определяется его доступностью, экономической целесообразностью, отсутствием возможного отрицательного влияния на технологический процесс и наличием вредных примесей, способностью ухудшить качество конечного продукта. Далеко не все виды связующих пригодны для этого.

В качестве связующего компонента использовали еще один отход коксохимического производства — фусы коксования.

Фусы коксования — это отходы углехимического производства при коксовании. Они представлены на 50% смолами тяжелых фракций и твердых углеродистых включений. Фусы относятся к категории отходов продуктов, выход которых составляет около 1% массы перерабатываемого угля. По внешнему виду фусы — это густая вязкая смола темно-коричневого цвета. Их химический состав определяется смесью смол и углеродистых продуктов.

Основные характеристики брикетов, полученных по разным схемам, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Основные характеристики брикетов, полученных по разным технологическим схемам

Способ получения топливных брикетов	Физические испытания			Топливные характеристики		
	сжатие, кг/см <sup>2</sup>	истирание, % содержание кусков размером >25 мм	сбрасывание, % содержание кусков размером >25 мм	зольность, A <sup>d</sup> , % мас.	теплота сгорания, Q <sub>с</sub> , ккал/кг	сернистость, S <sub>t</sub> <sup>d</sup> , % мас.
Схема 1	50–60	94	92	6,4	9500	0,45
Схема 2	60–90	99	99	6,5	9500	0,48

Таблица 4

Преимущества разработанных топливных брикетов перед аналогами

Технико-экономические показатели	Наименование аналога	Наименование разработанной продукции	Новые качества предлагаемого продукта по сравнению с аналогами.
	Прессованная шихта без связующего	Топливный брикет из коксовой пыли	
Сжатие, кг/см <sup>2</sup>	10–14	60–90	Более высокая прочность при сжатии (нагрузки на брикет)
Истирание, % содержание кусков размером >25 мм	54	99	Более высокие показатели испытаний на истирание
Сбрасывание, % содержание кусков размером >25 мм	64	99	Более высокое процентное содержание кусков >25 мм
Теплота сгорания Q <sub>с</sub> , ккал/кг	9250	9500	Теплота сгорания сопоставима с теплотой сгорания шихты

Топливные брикеты, полученные при термобрикетировании, обладали лучшими прочностными характеристиками, чем брикеты, полученные при помощи термообработки. Однако процесс термобрикетиования более энергозатратный, чем термообработка, это связано с прогревом пресс-формы и потерями тепла.

Преимущества полученных брикетов перед аналогом, в качестве которого выбрана прессованная шихта без связующего, представлены в табл. 4.

## 5. Заключение

Отличием предлагаемой технологии является использование оптимального режима брикетирования,

новой технологической схемы, увеличивающей выход продукта, дешевых и эффективных связующих компонентов, что обеспечивает получение качественного товарного продукта.

Предложенный способ получения топливных брикетов позволяет повысить их прочность и снизить себестоимость. В предложенном способе для получения топливных брикетов используются коксовая пыль и фусы коксования, являющиеся отходами коксохимических предприятий, утилизация этих отходов которой позволит улучшить экологическую обстановку в угольном регионе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая технология горючих ископаемых / Под ред. Макарова Г.Н. и Харламповича Г.Д. // М.: Химия, 1986. — 496 с.
2. Брикетирование угля со связующим / Елишевич А.Т.//М.: Недра, 1972. — 216 с.
3. Шувалов, Ю.В. Брикетирование нетрадиционных видов топлива / Ю. В. Шувалов, Ю.А. Нифонтов, А.Н. Никулин //Горный информационно-аналитический бюллетень, 2005. — № 9. — С. 161–166.
4. Расширение сырьевой базы коксования // Technocral, 1981, V. 14 №8. — P. 61., Cluckauf, 1981, Bd 117. — № 18. — S. 1260.
5. Брикетирование углей / Пахалок И.Ф., Болдырев В.А.// М.: Углетехиздат, 1957.
6. Гаврилов, Ю.В. Переработка твердых природных энергоносителей / Ю.В. Гаврилов, С.А. Синицын, Н.В. Королева. Учеб. пособие. М.: РХТУ, 2001. — 345 с.
7. Елишевич А.Т. Технология брикетирования полезных ископаемых. — М.: «Недра», 1989. — С. 86, 92, 98, 101, 106.
8. Заявка № 2008109775/04 Россия МКИ С 10 L 5/14 Способ получения брикетов из бурого угля / Данилов О.С., Михеев В.А. Институт горного дела Севера. Заяв. 13.03.2008, опубл. 20.11.2009.
9. Пат. № 2298028 Россия МКИ С 10 L 5/28 Способ получения топливных брикетов / Головичев А.И., Никишанин М.С. // АлтГТУ. Заяв. 16.01.2006, опубл. 27.04.2007.
10. ГОСТ 9521-74 Угли каменные. Метод определения коксумости. — М.: Изд-во стандартов, 1974.
11. ГОСТ 7714-75 Угли каменные и антрацит. Метод определения термической стойкости. М.: Изд-во стандартов, 1975.
12. ГОСТ 8858-76 Угли бурые, каменные и антрацит. Методы определения максимальной влагоемкости. — М.: Изд-во стандартов, 1976.
13. ГОСТ 147-95 Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. — М.: Изд-во стандартов, 1995.
14. ГОСТ 2059-95 Топливо твердое минеральное. Метод определения общей серы сжиганием при высокой температуре. — М.: Изд-во стандартов, 1995.
15. ГОСТ 10742-71 Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний. — М.: Изд-во стандартов, 1972.
16. ГОСТ 11014-1981 Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренный метод определения влаги. — М.: Изд-во стандартов, 1981.
17. ГОСТ 6382-2001 Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. — М.: Изд-во стандартов, 2001.
18. ГОСТ 11022-95 Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. — М.: Изд-во стандартов, 1995.

## Environmental and Technological Aspects of Coke Dust Recycling as Fuel Briquettes

**A.V. Papin**, Associate Professor, Ph.D. of Engineering, Kuzbass State Technical University (KuzSTU) named after T.F. Gorbachev, Kemerovo

**A.Yu. Ignatova**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, Kuzbass State Technical University (KuzSTU) named after T.F. Gorbachev, Kemerovo

**V.S. Solodov**, Postgraduate Student, National Tomsk Polytechnic University (TPU), Tomsk

*Technological schemes related to production of fuel briquettes on the basis of such waste of coke and chemical industries as coke dust and coke sludge are considered. The quality assessment results of produced fuel briquettes are presented.*

**Keywords:** coke dust, briquetting, adhesive, coke sludge, mold, fuel briquette.