

# Исследование свойств хвостов углеобогащения как вторичного сырья для получения окускованного топлива\*

## Studying the properties of coal washing tailings as a secondary raw material for production of pelletized fuel

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-5-49-55>

В статье приведены результаты исследования сырьевых материалов в виде хвостов углеобогащения (кек) Тугнуйской ОФ и отходов целлюлозно-картонного производства Селенгинского ЦКК (лигнин) в качестве связующей добавки с разработкой способа получения окускованного топлива. Методами физико-химических анализов изучены основные свойства сырья, а также представлены результаты лабораторно-промышленных испытаний топливных материалов (брикеты). Отсутствие необходимости в предварительной глубокой сушке сырья позволило выполнить работы по приготовлению шихты, ее брикетированию на валковом прессе и сушке готовой продукции с минимальным набором операций. Полученные образцы имели высокую механическую прочность, достаточную водостойкость, а при горении сохраняли форму, что предотвращало их просыпание под колосниковую решетку и тем самым обеспечивало более полное сгорание. Представленные брикеты можно использовать как окускованное топливо в угольной и энергетической отраслях, а также в коммунально-бытовой сфере для отопления объектов ЖКХ и иной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** хвосты углеобогащения (кек), отходы целлюлозно-картонного производства (лигнин), гранулометрия, плотность, удельная поверхность, химический электронно-микроскопический и минералогический анализы, валковый пресс, физико-механические свойства, топливные брикеты.

**Для цитирования:** Кондратенко А.С. Исследование свойств хвостов углеобогащения как вторичного сырья для получения окускованного топлива // Уголь. 2025;(5):49-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-5-49-55.

### Abstract

The article presents the results of a study of raw materials in the form of tailings of the coal enrichment (keck) of the Tugnui concentrator and waste from the pulp and cardboard production of the Selenginsky Central Processing Plant (lignin) as a binding additive with the development of a method for producing dipped fuel. The basic properties of raw materials have been studied by methods of physico-chemical analyses, and the results of laboratory and industrial tests of fuel materials (briquettes) are presented. The absence of the need for preliminary deep drying made it possible to perform work on the preparation of the charge, its briquetting on a roller press and

### КОНДРАТЕНКО А.С.

Канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ФГБОУ ВО «Бурятский  
государственный университет  
им. Доржи Банзарова»,  
670000, г. Улан-Удэ, Россия,  
e-mail: cubanit@yandex.ru

\* Работа выполнена в рамках государственной субсидии правительства Республики Бурятия в ФГБОУ ВО Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, научный проект №696 22.11.2024.

drying of finished products with a minimum set of operations. The obtained samples had high mechanical strength, sufficient water resistance, and retained their shape during combustion, which prevented them from spilling under the grate and, thereby, ensured more complete combustion. The presented briquettes can be used as spent fuel in the coal and energy industries, as well as in the public utilities sector for heating housing and communal services and other infrastructure.

**Keywords**

Carbon enrichment tailings (keck), pulp and cardboard production waste (lignin), granulometry, density, specific surface area, chemical, electron microscopic and mineralogical analyses, roller press, physics-mechanical properties, fuel briquettes.

**Acknowledgements**

The work was carried out within the framework of a state subsidy from the government of the Republic of Buryatia to the Buryat State University named after Dorji Banzarov, project No. 696 11.22.2024.

**For citation**

Kondratenko A.S. Studying the properties of coal washing tailings as a secondary raw material for production of pelletized fuel. *Ugol'*. 2025;(5):49-55. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-5-49-55.

**ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день угледобывающая промышленность является одним из самых значимых источников накопления отходов загрязняющих не только земную поверхность, но и водную и воздушную среды. При очистке от вскрышных пород и обогащении угля в процессе мокрой флотации часть его неизбежно уходит в отход в виде хвостов углеобогащения (кек) [1]. Сам кек не является товарным продуктом, который можно как продать, так и экономически рентабельно транспортировать заказчику. Поэтому проблема переработки хвостов (кека), связанная с переполнением хвостохранилищ, со временем становится для ЦОФ все более актуальной [2, 3].



Кроме того, увеличение содержания тонких классов в добываемых углях лишь добавляет остроту проблеме, вызывая их избыточный переход и концентрацию в хвостах [4]. Но большинство накопленных хвостов при продуманной и рациональной переработке могут являться вторичной сырьевой базой при производстве углеродсодержащих материалов для нужд теплоэнергетики [5, 6].

В связи со сказанным, проведенные в статье исследования были направлены на поиск принципиальной возможности переработки хвостов углеобогащения в окучкованное твердое топливо. Целью исследований являлось определение состава и структуры сырьевых материалов, представленных хвостами углеобогащения (кек) и отходами целлюлозно-картонного производства (лигнин) с разработкой (на основе изучения их свойств) способа получения окучкованного твердого топлива в виде брикетов для их использования в угольной и энергетической отраслях, а также в качестве коммунально-бытового топлива для отопления объектов ЖКХ и иной инфраструктуры. Преимуществами данного способа являлись отсутствие необходимости в предварительной глубокой сушке как хвостов углеобогащения (кека), так и гидролизного лигнина, быстрое высушивание брикетов с набором прочности, а также их достаточная водостойкость. Брикеты при горении сохраняли свою форму, что предотвращало их просыпание под колосниковую решетку и тем самым обеспечивало более полное сгорание.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объектами исследований служили хвосты углеобогащения (кек) обогатительной фабрики АО «Разрез Тугнуйский» ПАО СУЭК Олонь-Шибирского угольного бассейна, а также отходы целлюлозно-картонного производства – гидролизный лигнин Селенгинского ЦКК (рис. 1), использовавшийся в качестве связующей добавки.

Для проведения гранулометрических, химических, петролого-микроскопических и рентгенофазовых исследований проводился отбор образцов хвостов углеобогащения по ГОСТ 10742-71 для получения усредненной пробы



Рис. 1. Внешний вид хвостов углеобогащения (кек) Тугнуйской ОФ и шламовых карт с отходами Селенгинского ЦКК (лигнин)  
 Fig 1. Visual appearance of the coal washing tailings (cakes) from Tugnuyskaya Processing Plant and sludge maps with the waste from the Selenginsky Pulp and Paper Mill (lignine)

(суммирование, усреднение и квартование). Так как хвосты углеобогащения в высушенном состоянии представляют собой высокодисперсное пылеватое вещество, то первоначально были исследованы его фракционный состав, плотность и удельная поверхность [7]. Фракционный состав определялся на приборе механического рассеивания (анализатор ситовой) А-20 со стандартным набором сит. Плотность (ГОСТ 2160-2015) вычислялась объемно-весовым способом с помощью колбы Ле-Шателье сначала в воде и затем контрольно в керосине (формула 1):

$$\rho = m / v \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

где  $m$  – масса сырья, израсходованная в эксперименте;  $v$  – объем жидкости после всыпания сырья. Числовые данные определения действительной плотности для воды и керосина оказались сопоставимыми. Это обстоятельство указывает на то, что фракции кека имеют одинаково высокую смачиваемость как в полярных, так и неполярных растворителях [8, 9].

Удельная поверхность порошкообразного вещества определялась на приборе ПСХ-2:

$$S_{\text{уд}} = \frac{KM\sqrt{\tau}}{m}, \text{ см}^2/\text{г}, \quad (2)$$

где  $K$  – постоянная прибора для пары рисков, между которыми наблюдалось падение столба жидкости за время  $\tau$ , с;  $M$  – величина, определяемая по измеренным значениям высоты слоя  $H$  и температуре воздуха (значения  $K$  и  $M$  содержатся в паспорте прибора);  $m$  – масса навески, г.

Данные по исследованию хвостов углеобогащения представлены в табл. 1.

Вычисленная действительная плотность хвостов углеобогащения составила  $\rho_d = 1550 \text{ кг/м}^3$ , а фракционный состав указывал на доминирующие фракции 0,2; 0,1; 0,05 и менее 0,05 мм, их доля суммарно составила  $\approx 95\%$ , доля же фракций более 0,3 составляет меньше 5%. Из данных гранулометрического состава можно сделать вывод о том, что основная масса вещества хвостов сложена пылеватыми частицами, представляющими собой сланцеватую породу [10].

Для установления морфологических характеристик вещества, размерности его частиц, определяющей структуру и дисперсность материала, применялась электронная микроскопия. Электронно-микроскопические исследова-

ния образцов (рис. 2) проводились по ГОСТ Р ИСО 22309-2015 с использованием растрового сканирующего электронного микроскопа JSM-6510 LV JEOL (Япония) с рентгеноспектральной приставкой Inca X-Act Precision (Oxford Instruments).

Исследование микроструктуры вещества показывает, что хвосты углеобогащения почти целиком сложены из чешуйчатого матрикса, образованного из углисто-минеральных агрегатов с развитым контактом взаимопримыкающих фаз [11].

Возможности переработки любых материалов напрямую зависят от знания их химического состава, предопределяющего методы воздействия на них. Поэтому дальнейшие исследования, проводимые методами физико-химического анализа, были направлены на установление химического состава и определение основных компонентов хвостов углеобогащения (кек) [12].

Химический анализ аналитической пробы кека проводился по ГОСТ ИСО 5725-6-2003 и выполнялся с помощью титриметрического, гравиметрического и фотометрического методов, а также на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar M6 Thermo Electron. Химический состав образцов кека представлен в табл. 2.

Химический состав изучаемого сырья показал, что хвосты углеобогащения на 50% состоят из углеродной составляющей – «органической массы», а остальные 50% представлены оксидами кремния и алюминия, щелочных, щелочноземельных и переходных металлов, формирующих силикатный, алюмосиликатный, карбонатный и т.д. комплекс кристаллических фаз, образующих т.н. «минеральную массу».

Для выявления кристаллографических фаз, входящих в состав «минеральной массы» был проведен рентгенофазовый анализ (РФА) хвостов углеобогащения [13, 14]. РФА проводился на рентгеновском дифрактометре D8 Advance фирмы BRUKER AXS в  $\text{Cu K}\alpha$  излучении. Снятие рентгенограмм производилось в диапазоне углов  $2\theta$  от  $10^\circ$  до  $70^\circ$  с шагом  $0,03^\circ$ , со скоростью сканирования  $2,0$  градус/мин. Для анализа использовался банк данных порошковых рентгенограмм PDF-2 органических, неорганических, минеральных и синтетических соединений. Количественное соотношение фаз определялось в программе TOPAS 4.2 в результате уточнения методом Ритвельда по методу «корундовых чисел».

Таблица 1

### Гранулометрический состав и удельная поверхность хвостов углеобогащения

Particle size distribution and specific surface area of coal washing tailings

| Фракция, мм                                  | 0,7  | 0,5  | 0,3  | 0,2   | 0,1   | 0,05  | < 0,05 |
|--|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| Содержание, %                                | 1,43 | 2,67 | 8,50 | 11,50 | 15,40 | 39,70 | 20,80  |
| Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$ | 698  | 1057 | 1786 | 2385  | 3768  | 5624  | 6426   |

Таблица 2

### Химический состав (масс. %) углисто-минеральной части кека Тугнуйской ЦОФ

Chemical composition (wt. %) of the coal-mineral part of cakes from the Tugnuyskaya Central Processing Plant

| C     | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ | MnO  | CaO  | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{TiO}_2$ | CuO  | ZnO  | $\text{SO}_3$ | Итого  |
|-------|----------------|-------------------------|--------------------------------------|------|------|----------------------|----------------|------|------|---------------|--------|
| 50,67 | 20,92          | 12,89                   | 2,81                                 | 0,12 | 6,71 | 0,40                 | 0,76           | 2,11 | 1,53 | 1,08          | 100,00 |

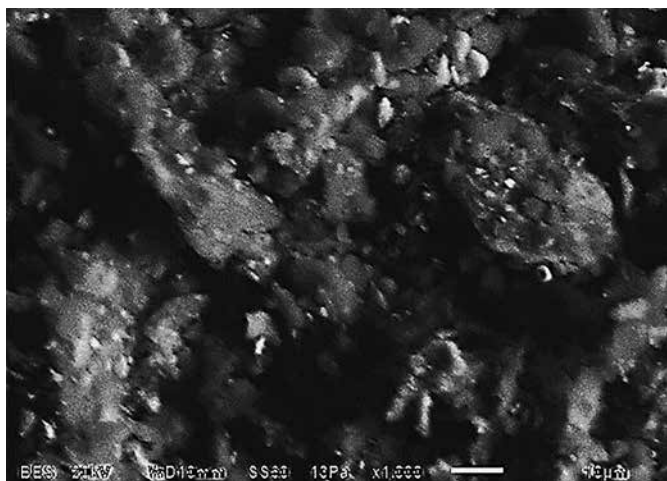


Рис. 2. Микрофотография частиц кека, полученная методом сканирующей электронной микроскопии (BES-изображение чешуйчатого матрикса, состоящего из углесто-минеральных агрегатов)

Fig. 2. A scanning electron microscopy image of the cake particles (BES image of the flake matrix consisting of coal-mineral aggregates)

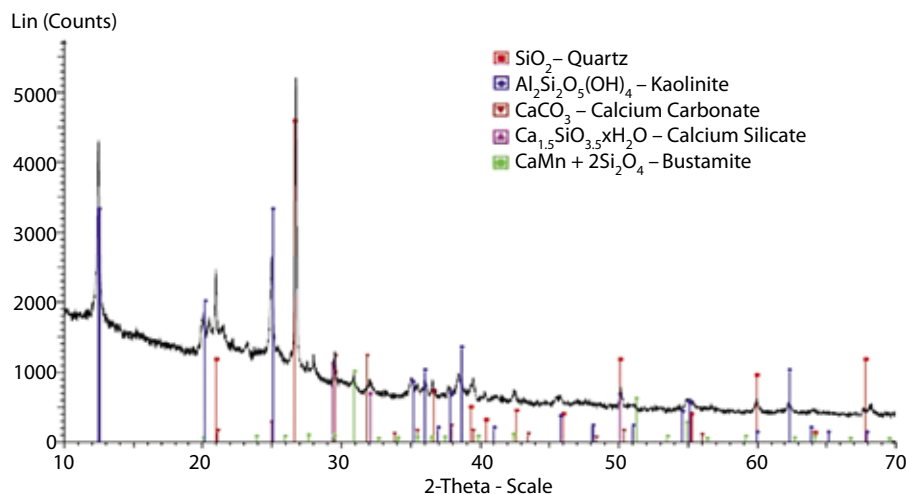


Рис. 3. РФА-диаграмма хвостов углеобогащения (представлены фазы кварца, кальцита, каолинита, а также гидросиликаты)

Fig. 3. An XRF diagram of coal washing tailings (quartz, calcite, kaolinite, and hydrous silicate phases are represented)

Согласно рентгенофазовому анализу минералогического состава (рис. 3), хвосты сложены кристаллографическими фазами силикатов (кварц), карбонатов (кальцит), алюмосиликатов (каолинит) и гидросиликатов (кальция, марганца), а также сплошным гало аморфного углерода. Данные по минералогическому составу кристаллографических фаз представлены в табл. 3.

В качестве связующего вещества для получения окучкованного брикетного топлива также использовалась водная суспензия гидролизного лигнина, представляющего собой отходы Селенгинского целлюлозно-картонного комбината АО СЦКК. Данные химического состава аналитической пробы, полученные на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar M6 Thermo Electron, представлены в табл. 4.

Химический состав исследуемого вещества показал, что лигнин состоит из окисленной углеродной составляющей, а также из оксидов натрия и алюминия. Сера входит как в состав органической, так и минеральной частей лигнина [15].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При использовании гидролизного лигнина, примененного в процессе брикетирования в роли пластификатора и связующего вещества и, кроме того, являющегося забалансным отходом целлюлозно-картонного производства, а потому стоящего особняком в ряду связующих, удалось получить высокопластичную сырьевую смесь (шихту), не требующую использования воды для затворения. То есть вся влага, присутствующая в шихте, расходовалась на ее смачивание и растирание при формовании. Сам же лигнин при этом не вступал в химические реакции фазообразования, зато, обладая высокой пластичностью, способствовал (при высушении брикета) взаимодействию сил поверхностного натяжения, вызывая стягивание зерен дисперсного материала между собой, тем самым образуя прочные межчастичные связи [16, 17]. Шихту для брикетирования готовили в пропорции 50:1, т.е. 50 кг кека с естественной влажностью до 35% затворяли 1 кг гидролизного лигнина с влажностью до 85%.

На основании полученных данных о составе и структуре сырьевых материалов для производства брикетов был применен валковый пресс [18, 19], в бункер которого производилась подача шихты, формуемой в брикеты за счет давления развиваемого валками

#### Минералогический состав кека Тугнуйской ЦОФ

Mineral composition of cakes from the Tugnuyskaya Central Processing Plant

| Формула  | Название минерала        | Содержание минерала, % (масс.) |
|--|--------------------------|--------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>   | Quartz                   | 34,92                          |
| Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> | Kaolinite                | 32,74                          |
| CaCO <sub>3</sub>  | Calcium Carbonate        | 11,85                          |
| Ca <sub>1.5</sub> SiO <sub>3.5</sub> ·xH <sub>2</sub> O          | Calcium Silicate Hydrate | 10,87                          |
| CaMn + 2Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>                           | Bustamite                | 9,62                           |

Таблица 3

#### Химический состав (масс. %) гидролизного лигнина

Chemical composition (wt. %) of hydrolyzed lignine

| C     | O     | Na   | Al   | S    | Итого  |
|-------|-------|------|------|------|--------|
| 50,93 | 40,26 | 1,24 | 5,72 | 1,85 | 100,00 |

Таблица 4



Рис. 4. Производство топливных брикетов, состоящих из хвостов углеобогащения (кек) и гидролизованного лигнина (связующее) с помощью валкового пресса  
 Fig. 4. Production of fuel pellets consisting of the coal washing tailings (cake) and hydrolyzed lignin (binder) using a roller press

(стальными барабанами, имеющими вогнутые профили на внешней поверхности), движущимися навстречу друг другу (рис. 4).

Основными характеристиками процесса брикетирования являлись удельное давление прессования, количество брикетов, полученное за единицу времени, а также их линейные размеры [20, 21]. В целом же производительность лимитировалась лишь плотностью брикетной массы, в среднем составившей 1,60 г/см<sup>3</sup> (табл. 5).

Практика показала, что, использование пылеватых фракций, слагающих кек, способствует более плотной упаковке брикета благодаря увеличению их суммарной поверхности. Кроме того, отсутствие крупных частиц также положительно влияет на процесс прессования в связи с нерасходом энергии на их раздавливание и износ деталей пресса [22, 23].

Принципиальная схема осуществления способа брикетирования представлена на рис. 5. Схема последовательно содержит: смеситель-рыхлитель I для перемешивания и приготовления шихты, состоящей из угольного шлама и связующего (гидролизный лигнин); прессовое оборудование II для формирования брикетов; сушильное устройство III для удаления балластной влаги и набора прочности при ускоренной сушке брикетов.

Определение прочностных характеристик полученных брикетов проводилось согласно стандартной методике по ГОСТ 21289-2018. Сначала брикеты помещались между вставками пресса (пуансонами) с дальнейшим их разрушением под нагрузкой. Затем проводились динамические испытания брикетов по числу их сбрасываний на металлическую плиту и по степени истирания в стальном барабане [24]. Было установлено, что избыточная минерализация и высокая дисперсность кека способствуют увеличению прочности брикетов (выдерживают четыре и более паде-

Таблица 5

**Технические характеристики процесса брикетирования**

Technical characteristics of the pelletizing process

| Показатели процесса брикетирования                     | Основные значения |
|--|-------------------|
| Среднее давление прессования, МПа                      | 100               |
| Средние размеры брикетов (длина × ширина × высота), мм | 55×40×25          |
| Производительность расчетная, кг/ч, не более           | 700               |
| Мощность привода, кВт                                  | 4,0               |

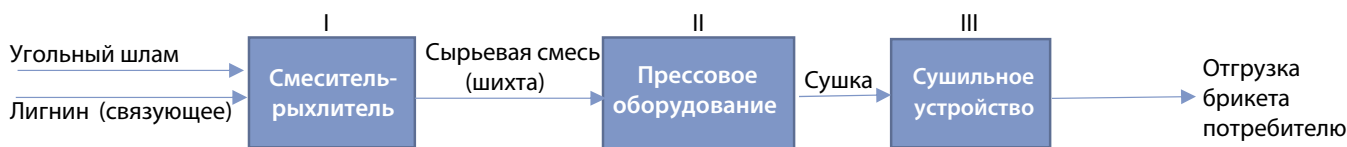


Рис. 5. Принципиальная схема осуществления способа брикетирования  
 Fig. 5. A schematic diagram of implementing the pelletizing method

Таблица 6

**Влияние состава и давления брикетирования на прочностные характеристики брикетов**  
 Influence of the composition and pelletizing pressure on the strength characteristics of the pellets

| Состав брикета | Расход связующего, % | Влажность брикета W, % | Зольность A <sup>d</sup> , % | Теплота сгорания брикетов (рабочего топлива), Q <sub>r</sub> , Ккал/кг | Давление прессования (среднее), МПа | Сопротивление удару R <sub>сбр.</sub> (кол-во падений, средн.), % | Сопротивление истиранию R <sub>ист.</sub> , % | Влаго насыщение, % | Прочность на сжатие δ <sub>сж.</sub> , МПа (кг/см <sup>2</sup> ) | Устойчи вость при сжигании, мин | Термоустойчивость (при 600-1100 °C) |
|----------------|----------------------|------------------------|------------------------------|--|-------------------------------------|---|---|--------------------|--|---------------------------------|-------------------------------------|
| Кек + лигнин   | до 5,0               | 5,0                    | 35                           | 4416   | 100                                 | 76,3 (4)  | 72,0  | 11-13              | 3,5 (35)   | 25                              | Не разрушались                      |



Рис. 6. Сохранение формы сжигаемых брикетов при температуре 1000°C в течение 20-25 мин

Fig. 6. Preserving the shape of the burnt pellets at the temperature of 1000°C for 20-25 min

ний). Термоустойчивость брикетов (разрушение образцов при термическом воздействии) изучалась в температурном диапазоне 600-1100°C лабораторными испытаниями (в муфельной печи), а затем в промышленных условиях при сжигании в котле (рис. 6) [25, 26, 27].

В табл. 6 приведены результаты экспериментов по влиянию состава и давления брикетирования на прочностные характеристики брикетов.

Анализ данных табл. 6 подтверждает, что для получения окускованных топливных материалов с высокими характеристиками (теплотворной способностью и механической прочностью), а также хорошей водостойкостью процесс брикетирования достаточно проводить при естественной влажности сырьевых материалов, состоящих из хвостов углеобогащения (кека) широких фракций 0-0,7 мм и связующего в виде водной суспензии гидролизного лигнина [28, 29]. Сушка брикетов на начальной стадии производства осуществлялась непосредственно в процессе их изготовления за счет удаления излишков влаги при прессовании. Затем набор прочности происходил в течение первых 3-5 сут. при комнатной температуре (20-24°C), либо при ускоренной термообработке в температурном интервале 80-110°C в течение 2-3 ч.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании представленного способа брикетирования были получены прочные и плотные топливные брикеты, пригодные для длительного хранения и транспортировки. Их механическая прочность по ГОСТ 21289-2018 составила: на истирание – 72 масс. %, сбрасывание – 76,3 масс. % (в виде надрешетных остатков на ситах с размером ячеек 25 мм); на раздавливание – 3,5 Мпа (35 кгс/см<sup>2</sup>). Кроме того, получаемые брикеты сохраняли свою форму при сжигании в температурном интервале 600-1100°C в течение 20-25 мин, что предотвращало их просыпание под колосниковую решетку и тем самым обеспечивало более полное сгорание.

Предложенный способ получения топливных брикетов позволил выполнить работы по приготовлению шихты, ее брикетированию и сушке готовой продукции с мини-

мальным набором операций, что значительно упростило процесс переработки хвостов углеобогащения (кек), позволяя получать топливные брикеты за счет рационального использования как отходов флотации угля, так и отходов целлюлозно-картонного производства. Полученные топливные брикеты, обладающие высокой механической прочностью и достаточной водостойкостью можно использовать как искусственное окускованное топливо в угольной и энергетической отраслях, а также в качестве коммунально-бытового топлива для отопления объектов ЖКХ и иной инфраструктуры.

### Список литературы • References

1. Якунин В.П., Агроскин А.А. Использование отходов обогащения углей. М.: Недра, 1978. 168 с.
2. Климов С.Л., Закиров Д.Г. Энергосбережение и проблемы экологической безопасности в угольной промышленности России. М.: Изд-во АГН, 2001. 270 с.
3. Исследование свойств горелой породы шахтных отвалов угольных месторождений для оценки возможности ее использования в качестве активной минеральной добавки при получении цемента / Б.П. Куликов, Е.В. Мануйлов, Л.М. Ларионов и др. // Уголь. 2024;(10):17-23. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-10-17-23. Kulikov B.P., Manujlov E.V., Larionov I.M., Konstantinov I.L., Voroshilov D.S. Research into properties of burnt rock from coal mine dumps to assess the possibility of its use as an active mineral additive in cement production. *Ugol*. 2024;(10):17-23. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-10-17-23.
4. Фоменко Т.Г., Кондратенко А.Ф. Отходы флотации и их свойства. М.: Недра, 1977. 125 с.
5. Кусков В.Б., Калашникова В.Ю., Скрипченко Е.В. Разработка технологии получения топливных брикетов из маловостребованного углеродсодержащего сырья // Записки горного института. 2012. Т. 196. С. 147-149. Kuskov V.B., Kalashnikova V.Yu., Skripchenko E.V. Development of technology for producing fuel briquettes from low-demand carbon-containing raw materials. *Zapiski gornogo instituta*. 2012;(196):147-149. (In Russ.).
6. Brigida V.S., Golik V.I., Klyuev R.V., Sabirova I.B., Mambetalieva A.R., Karlina Yu.I. Efficiency gains when using activated mill tailings in underground mining. *Metallurgist*. 2023;(67):398-408. DOI: 10.1007/s11015-023-01526-z.
7. Агроскин А.А. Химия и технология угля. М.: ГНТИ по Горному делу, 1961. 296 с.
8. Тайц Е.М., Андреева И.А. Методы анализа и испытания углей. М.: Недра, 1983. 301 с.
9. Оренбах М.С. Реакционная поверхность при гетерогенном горении. Новосибирск: Наука, 1973. 200 с.
10. Изучение физико-химических свойств горючих сланцев / М.Ю. Назаренко, В.Ю. Бажин, С.Н. Салтыкова и др. // Кокс и химия. 2014. № 3. С. 44-49. Nazarenko M.Yu., Bazhin V.Yu., Saltykova S.N., Kononov G.V. The study of physico-chemical properties of oil shales. *Koks i khimiya*. 2014;(3):44-49. (In Russ.).
11. Кондратенко А.С., Буянтуев С.Л. К вопросу изучения некоторых характеристик углешламов Тугнуйской ЦОФ // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 11(125). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31>.

- Kondratenko A.S., Buyantuev S.L. On the issue of studying of some characteristics of coal sludge from the Tugnuysk concentrating mill. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2022;11(125). (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31>.
12. Касаточкин В.И., Ларина Н.К. Строение и свойства природных углей. М.: Недра, 1975. 159 с.
  13. Тарковская И.А. Окисленный уголь. Киев: Наукова думка, 1981. 200 с.
  14. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей / И.В. Аргушевич, Т.М. Броновец, Г.С. Головин и др. М.: Трек, 2008. 368 с.
  15. Шевченко Т.В., Файрушин Ш.А., Ульрих Е.В. Нетрадиционный связующий материал для угольных брикетов // Экология и промышленность России. 2013. С. 32–33. Shevchenko T.V., Fayrushin Sh.A., Ulrich E.V. Unconventional binding material for coal briquettes. *Ekologiya i Promyshlennost' Rossii*. 2013;32-33. (In Russ.).
  16. Тайц Е.М., Андреева И.А., Антонова Л.И. Брикетирование углей Б2. Окискованное топливо и адсорбенты на основе бурых углей. М.: Недра, 1985. С. 72-80.
  17. Кривовяз И.М. Процессы образования прочных углеродистых материалов. Ташкент: ФАН, УзССР, 1970. С. 35-51.
  18. Елишевич А.Т. Брикетирование полезных ископаемых: учебник для вузов. М.: Недра, 1989. 300 с.
  19. Лурий В.Г., Михеев О.В., Никишичев Б.Г. Новый способ окискования шламов и мелких классов каменных углей. М.: Информ.-аналит. центр горн. наук, 1993. 23 с.
  20. Mi J., Li X.J. Design and simulation analysis of industrial coal briquetting machine. *Journal of Central South University (Science Technology)*. 2006;37(5):986-990.
  21. Raju C.A.I., Nunela M., Prabhakar D. et al. Studies on development of fuel briquettes for household and industrial purpose. *International Journal of research in Engineering and Technology*. 2014;3(2):54-63.
  22. Иванов И.П., Судакова И.Г. Брикетированные и бездымные топлива, получаемые из бурого угля с использованием биосвязующих // Наука – производству. 2003. №1. С. 28-29. Ivanov I.P., Sudakova I.G. Briquetted and smokeless fuels obtained from brown coal using bio-binders. *Nauka – proizvodstvu*. 2003;(1):28-29. (In Russ.).
  23. Переработка угольных шламов обогатительных фабрик с получением брикетного и бездымного топлива / А.П. Стахеев, Я.В. Куколев, В.А. Блинов и др. // Уголь. 2006. № 10. С. 48-49. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102006pdf> (дата обращения: 15.04.2025). Staheev A.P., Kukolev Ya.V., Blinov V.A., Antipinko A.L. Processing coal of waste factories with reception of briquette and without smoke fuels. *Ugol'*. 2006;(10):48-49. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102006pdf> (accessed 15.04.2025). (In Russ.).
  24. Кусков В.Б., Ленева Л.А. Влияние технологии изготовления угольных брикетов на их свойства // Записки Горного института. 2006. Т. 169. С.147-149. Kuskov V.B., Leneva L.A. The influence of coal briquette manufacturing technology on their properties. *Zapiski Gornogo instituta*. 2006;(169):147-149. (In Russ.).
  25. Агроскин А.А., Глейбман В.Б. Теплофизика твердого топлива. М.: Недра, 1980. 256 с.
  26. Emre Altun N., Cahit Hicyilmaz, Suat Bagci A. Influence of coal briquette size on the combustion kinetics. *Fuel Processing Technology*. 2004;85(11):1345-1357.
  27. Топливные брикеты с низкой температурой воспламенения / В.Б. Кусков, Я.В. Ускова, Н.В. Николаева и др. / Материалы Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург, 2010. С. 321-324.
  28. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Производство топливных брикетов из антрацитовой мелочи // Химия твердого топлива. 2014. Т. 48. №. 4. С. 260-264. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. Production of fuel briquettes from anthracite fines. *Khimiya tverdogo tela*. 2014;48(4):260-264. (In Russ.).
  29. Yuryevich B.V., Borisovich K.V. Production of fuel briquettes from carbon containing materials. XVIII International Coal Preparation Congress. Saint-Petersburg, 2016, pp. 701705. DOI: 10.1007/978-3-319-40943-6\_109.

**15 лет**

РЕКЛАМА

**НПП ЗАВОД МДУ**

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
**«ЗАВОД МОДУЛЬНЫХ  
 ДЕГАЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК»**

**ОБОРУДОВАНИЕ  
 ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ  
 МЕТАНА**

**МЕТАН ПОД КОНТРОЛЕМ!**

РОССИЯ  
 Г. НОВОКУЗНЕЦК  
 ШОССЕ СЕВЕРНОЕ, 8

WWW.ZAVODMDU.RU  
 INFO@ZAVODMDU.RU  
 ТЕЛ.: +7 (3843) 991-991

**Authors Information**

**Kondratenko A.S.** – PhD (Engineering), Senior Researcher, Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude, 670000, Russian Federation, e-mail: cubanit@yandex.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 24.12.2024

Поступила после рецензирования: 16.04.2025

Принята к публикации: 26.04.2025

**Paper info**

Received December 24, 2024

Reviewed April 16, 2025

Accepted April 26, 2025