

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОКСОВОЙ ПЫЛИ В ТЕХНОЛОГИИ КОКСОВАНИЯ

**В.С. Солодов, А.В. Папин, А.В. Неведров, Т.Г. Черкасова**

Вячеслав Сергеевич Солодов (ORCID 0000-0001-6011-0779), Андрей Владимирович Папин (ORCID 0000-0002-1652-3872)\*, Александр Викторович Неведров (ORCID 0000-0002-4605-312X), Татьяна Григорьевна Черкасова (ORCID 0000-0002-5337-1337)

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, ул. Весенняя, 17, Кемерово, Российская Федерация, 650000

E-mail: pav.httt@kuzstu.ru\*

*В данной работе обсуждается возможность применения коксовой пыли коксохимических производств в составе угольной шихты для процессов высокотемпературного коксования. Представлены результаты научных исследований коксовой пыли коксохимических производств. Был проведен анализ гранулометрического состава коксовой пыли, содержания минеральных компонентов в частицах коксовой пыли разной крупности. Анализ качества коксовой пыли показал, что данный материал имеет повышенное значение зольности, поэтому не может применяться в качестве сырья для технологии коксования без предварительной обработки, направленной на снижение зольности. С целью снижения зольности исходная коксовая пыль подвергалась обогащению методом масляной агломерации. В качестве флотационного реагента в исследованиях использовалось отработанное масло газодувных машин коксохимических производств. Масло добавлялось в количестве 10% мас. к массе навески исходной коксовой пыли. Полученный коксо-масляный концентрат по показателю зольности соответствовал требованиям, предъявляемым к сырью для коксования. В дальнейшем проводились исследования по коксованию экспериментальных угольных шихт с добавлением различного количества коксо-масляного концентрата, определялись качественные характеристики полученного кокса. В качестве сырьевой базы для составления угольных шихт использовались следующие марки Кузнецких углей: уголь марки Ж ш. «Карагайлинская», уголь марки К ш. «Участок Коксовый», уголь марки КО + КС ЦОФ «Березовская», уголь марки ГЖ ОФ «Абашевская», уголь марки К ш. «Прокопьевская». Коксование угольных шихт осуществлялось в лабораторной печи Николаева. На основе полученных результатов была дана оценка возможности применения коксовой пыли в технологии коксования.*

**Ключевые слова:** каменноугольный кокс, коксовая пыль, обогащение, масляная агломерация, концентрат

## EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING COKE DUST IN COKING TECHNOLOGY

**V.S. Solodov, A.V. Papin, A.V. Nevedrov, T.G. Cherkasova**

Vyacheslav S. Solodov (ORCID 0000-0001-6011-0779), Andrey V. Papin (ORCID 0000-0002-1652-3872)\*, Alexander V. Nevedrov (ORCID 0000-0002-4605-312X), Tatiana G. Cherkasova (ORCID 0000-0002-5337-1337)

Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Vesennaya st., 17, Kemerovo, 650000, Russia  
E-mail: pav.httt@kuzstu.ru\*

*In this paper, the possibility of using coke dust from coke chemical industries as part of coal charge for high-temperature coking processes is discussed. The results of scientific research*

*of coke dust of coke chemical industries are presented. The analysis of the granulometric composition of coke dust, the content of mineral components in coke dust particles of different sizes was carried out. Analysis of the quality of coke dust showed that this material has an increased ash content. Therefore it cannot be used as a raw material for coking technology without pretreatment aimed at reducing ash content. In order to reduce ash content, the initial coke dust was enriched by oil agglomeration. As a flotation reagent, waste oil of gas-blowing machines of coke-chemical industries was used in the research. Oil was added in an amount of 10% by weight to the weight of the initial coke dust suspension. The resulting coke-oil concentrate in terms of ash content met the requirements for raw materials for coking. Further, studies were carried out on coking experimental coal charges with the addition of various amounts of coke oil concentrate, the qualitative characteristics of the resulting coke were determined. As a raw material base, the following brands of Kuznetsk coals were used to compile coal charges: coal of the W W brand. "Karagailinskaya, coal of the brand K sh. "Coke plot", coal of the brand KO + CS COF "Berezovskaya", coal of the brand GZH OF "Abashevskaya", coal of the brand K sh. "Prokopevskaya". Coking of coal charges was carried out in the laboratory furnace of Nikolaev. Based on the results obtained, an assessment was made about the possibility of using coke dust in coking technology.*

**Key words:** coal coke, coke dust, enrichment, oil agglomeration, concentrate

**Для цитирования:**

Солодов В.С., Папин А.В., Неведров А.В., Черкасова Т.Г. Оценка возможности применения коксовой пыли в технологии коксования. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 113–119

**For citation:**

Solodov V.S., Papin A.V., Nevedrov A.V., Cherkasova T.G. Evaluation of the possibility of using coke dust in coking technology. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 113–119

## ВВЕДЕНИЕ

На коксохимических производствах в процессе выполнения технологических операций, связанных с получением кокса (сортировки валового кокса, сухого тушения кокса, перегрузках кокса и т. д.), образуется коксовая пыль. Объемы образующейся коксовой пыли достаточно велики. В среднем на одном коксохимическом предприятии в год может образовываться 18000-20000 т.

Тонкодисперсное состояние и высокая зольность коксовой пыли делают ее непригодной к прямому использованию в доменном производстве [1]. Коксовая пыль практически не находит применения из-за сложности с ее погрузкой и транспортировкой.

Проблема утилизации коксовой пыли для коксохимических производств является весьма актуальной. Основным методом ее переработки на коксохимических производствах является добавление в угольную шихту коксования [2] в количестве 1% к массе шихты в качестве отощающего компонента.

Для расширения области применения и повышения эффективности использования коксовой пыли [3-8] необходимо снизить ее зольность и повысить крупность частиц.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились согласно ГОСТ Р 53357-2013 «Топливо твердое минеральное. Технический анализ» и ГОСТ 2093-82 «Топливо твердое. Ситовой метод определения гранулометрического состава».

В зависимости от зольности ( $A^d$ ) коксовая пыль разделяется на следующие марки:

- ПК-1 – зольность не более 13% мас.;
- ПК-2 – зольность не более 17% мас.;
- ПК-3 – зольность не более 23% мас.

Марка ПК-1 на коксохимических производствах встречается довольно редко, в основном образуется коксовая пыль, соответствующая маркам ПК-2 и ПК-3.

Для исследования процесса утилизации и переработки коксовой пыли были взяты усредненные пробы образцов с ПАО «Кокс» г. Кемерово, соответствующие марке ПК-2. В результате проведения технического анализа данных образцов были определены следующие их характеристики:

- влага аналитическая  $W^a$  – 4,8% мас.;
- зольность  $A^d$  – 16,62% мас.;
- выход летучих веществ  $V^{daf}$  – 1,20% мас.;
- содержание общей серы  $S_t^d$  – 0,4% мас.;
- теплота сгорания  $Q_b$  – 7000 ккал/кг.

Исходная коксовая пыль имеет высокую зольность и для прямого использования в энергетике и на коксохимических производствах не пригодна. В связи с этим необходимо было определить гранулометрический состав исходной коксовой пыли с выявлением закономерности распределения зольности по классам.

В результате проведенного ситового анализа были определены гранулометрический состав и распределение зольности по классам [9-11] исходной коксовой пыли, которые представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Гранулометрический состав исходной коксовой пыли**

**Table 1. Granulometric composition of the initial coke dust**

Класс крупности, мм	Масса, г	% мас.
>1,00	0,2553	0,25
0,80-1,00	0,2257	0,22
0,31-0,80	10,2391	9,94
0,19-0,80	48,2220	46,82
0,09-0,19	9,4955	9,22
≤0,09	34,5625	33,56
Итого / Total	103,000	100,00

Основными классами крупности частиц коксовой пыли являются 0,19-0,80 мм и класс менее 0,09 мм. Эти данные показывают, что коксовая пыль является тонкодисперсным материалом.

Таблица 2

**Зольность разных классов крупности коксовой пыли**

**Table 2. Ash content of different classes of coke dust size**

Класс крупности, мм	W <sup>a</sup> , % мас.	A <sup>d</sup> , % мас.
> 1,00	4,6	16,00
0,80 – 1,00	6,2	16,10
0,31 – 0,80	6,8	16,60
0,19 – 0,31	7,8	16,70
0,09 – 0,19	4,5	16,75
<0,09	4,8	17,00

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что с уменьшением размера частиц коксовой пыли увеличивается их зольность. Данная закономерность согласуется с результатами других исследователей [12, 13].

Коксовая пыль относится к средnezольным углеродным отходам коксохимических производств, поэтому для дальнейшего ее применения

необходимо осуществлять предварительное обогащение [14-16].

Были проведены исследования по обогащению коксовой пыли методом масляной агломерации [17-20]. Принципиальная схема установки обогащения коксовой пыли методом масляной агломерации представлена на рисунке.

Обогащение коксовой пыли осуществлялось по следующей методике. В емкость квадратного сечения 2 наливалось 850 мл воды и загружалось 200 г коксовой пыли. Затем в течение 2 мин происходило интенсивное смешивание коксовой пыли и воды при помощи стандартной мешалки турбинного типа 3, соединенной с двигателем 5. Во избежание образования «воронки», снижающей интенсивность перемешивания, в емкости были установлены специальные преградители 4. После этого в смесь воды и коксовой пыли добавлялось отработанное машинное масло (с эксгаустеров машинного зала коксохимического производства) в количестве 30 мл, и перемешивание смеси продолжалось еще в течение 5-8 мин. Регулирование интенсивности перемешивания смеси осуществлялось при помощи блока управления 1.

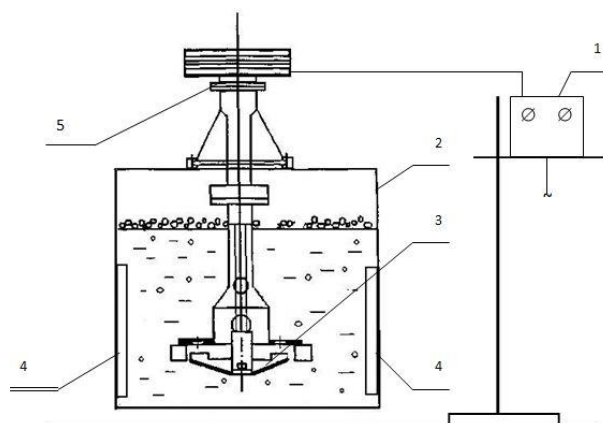


Рис. Принципиальная схема установки обогащения коксовой пыли методом масляной агломерации: 1 – блок управления; 2 – емкость; 3 – мешалка; 4 – преградители для разрушения воронки; 5 – двигатель

Fig. Schematic diagram of the coke dust enrichment plant by the oil agglomeration method: 1 – control unit; 2 – container; 3 – mixer; 4 – barriers for destroying the funnel; 5 – engine

Отработанное машинное масло имело следующие характеристики: кинематическая вязкость при 50 °С – 20-35 мм<sup>2</sup>/с; массовая доля механических примесей – 0,008%; плотность при 20 °С – 889-895 кг/м<sup>3</sup>.

Образующиеся в процессе обогащения коксомасляные агрегаты, имеющие значительно больший размер частиц по сравнению с размером ча-

стиц исходной коксовой пыли, всплывали на поверхность воды с образованием слоя коксомолярного концентрата, а минеральные компоненты коксовой пыли осаждались на дно емкости. Всплывший на поверхности воды слой коксомолярного концентрата снимали черпаком и далее помещали на вибросита для удаления избыточной воды и масла.

Выход концентрата, рассчитанный от массы коксовой пыли, составил 82-84%.

Полученный коксомолярный концентрат, содержащий 2-3% отработанного машинного масла, имел следующие значения качественных характеристик:

- зольность,  $A^d$  – 5,5-6,0 % мас.;
- массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива,  $W^r$  – 8,5-10,5% мас.;
- выход летучих веществ на сухую беззольную массу,  $V^{daf}$  – 3,15-3,20% мас.;
- теплота сгорания,  $Q_s^r$  – 7250-7300 ккал/кг.

Для производства каменноугольного кокса, согласно требованиям технологического регламента, зольность исходной угольной шихты не должна превышать 10% мас. Увеличение зольности приводит к получению кокса низкого качества. Зольность полученного коксомолярного концентрата не превышает 10 мас. %, что говорит о возможности его применения для технологии коксования.

Далее полученный коксомолярный концентрат был исследован на возможность его применения для получения качественного каменноугольного кокса. Для этого в лабораторных условиях проводилось коксование угольных шихт [21], в состав которых добавлялся коксомолярный концентрат.

Для оценки качества полученного кокса с участием коксомолярного концентрата в шихте коксования было составлено несколько вариантов шихт и проведено их лабораторное коксование. Исследуемые варианты шихт имели следующий состав:

- промышленная шихта – 15% мас. угля марки Ж ш. «Карагайлинская» + 5% мас. угля марки К ш. «Участок Коксовый» + 25% мас. угля марки КО+КС ЦОФ «Березовская» + 21% мас. угля марки ГЖ ОФ «Абашевская» + 34% мас. угля марки К ш. «Прокопьевская»;
- 1 вариант шихты (базовый) – 15% мас. угля марки Ж ш. «Карагайлинская» + 5% мас. угля марки К ш. «Участок Коксовый» + 25% мас. угля марки КО+КС ЦОФ «Березовская» + 21% мас. угля марки ГЖ ОФ «Абашевская» + 34% мас. угля марки К ш. «Прокопьевская»;

- 2 вариант – 14% мас. угля марки Ж ш. «Карагайлинская» + 5% мас. угля марки К ш. «Участок Коксовый» + 24% мас. угля марки КО+КС ЦОФ «Березовская» + 20% мас. угля марки ГЖ ОФ «Абашевская» + 32% мас. угля марки К ш. «Прокопьевская» + 5% мас. коксомолярного концентрата;

- 3 вариант – 13% мас. угля марки Ж ш. «Карагайлинская» + 4% мас. угля марки К ш. «Участок Коксовый» + 21% мас. угля марки КО+КС ЦОФ «Березовская» + 31% мас. угля марки ГЖ ОФ «Абашевская» + 28% мас. угля марки К ш. «Прокопьевская» + 3% мас. коксомолярного концентрата.

Предварительно были определены качественные характеристики составленных шихт по показателям: общая влага,  $W^r$ ; зольность на сухое состояние,  $A^d$ ; выход летучих веществ,  $V^{daf}$ ; индекс вспучивания,  $I_b$ ; толщина пластического слоя,  $U$ . Качественные характеристики шихт для коксования показаны в табл. 3.

Таблица 3

Качественные характеристики шихт для коксования  
Table 3. Qualitative characteristics of the charge for coking

Качество шихты	Вариант шихты			
	Промышленная шихта	1 вариант (базовый)	2 вариант	3 вариант
$W^r$ , % мас.	9,2	9,2	9,2	9,3
$A^d$ , % мас.	9,0	9,0	9,2	9,1
$V^{daf}$ , % мас.	28,0	28,6	28,3	29,8
$I_b/U$ , мм	68/15	65/15	47/15	64/15
Помол, % мас.	77,0	77,0	82,0	80,0
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,84	0,65	0,60	0,61

Коксование составленных угольных шихт проводилось в лабораторной печи Николаева. В отличие от методики ГОСТ 9521-74, предусматривающей коксование воздушно-сухой загрузки, в исследованиях коксовали влажную шихту. В этом случае масса загрузки шихты влажностью 9,2% составляла 1,65±0,05 кг.

Анализ качества полученного кокса проводился по следующим показателям: зольность на сухое состояние,  $A^d$ ; выход летучих веществ на сухое беззольное состояние,  $V^{daf}$ ; реакционная способность кокса, CRI и прочность кокса после реакции, CSR. Качественные характеристики полученного кокса представлены в табл. 4.

Из результатов исследований, представленных в табл. 4, видно, что кокс, полученный из промышленной шихты в печи Николаева, по сравнению с коксом, полученным в производственных

условиях, характеризуется худшим качеством (по показателям CRI на 1,4%; по CSR на 3,1%) и меньшим выходом кокса (на 2%). Это объясняется меньшей насыпной плотностью угольной шихты в лабораторной печи Николаева [22].

Таблица 4

Качественные характеристики полученного кокса  
Table 4. Qualitative characteristics of the resulting coke

Качество кокса	Вариант шихты			
	Промышленная шихта	1 вариант (базовый)	2 вариант	3 вариант
Выход кокса, % мас.	77,0	75,0	77,7	76,6
A <sup>d</sup> , % мас.	11,8	11,8	12,2	12,0
V <sup>daf</sup> , % мас.	0,45	0,52	0,51	0,33
CRI, %	37,4	38,8	45,1	42,5
CSR, %	53,3	50,2	38,7	42,3

Добавление к базовой шихте 5% мас. коксомасляного концентрата привело к отощению шихты. Это видно по данным табл. 3: понижению спекаемости (по У с 15 мм до 14 мм, по И<sub>в</sub> с 65 до 47 мм), влаги (с 9,2% мас. до 9,4% мас.) и помола (с 77 до 82%). В совокупности это привело к уменьшению насыпной плотности (с 0,65 г/см<sup>3</sup> до 0,60 г/см<sup>3</sup>) и ухудшению качества кокса (по CRI на 6,3%; по CSR на 11,5%).

Увеличение в шихте с коксомасляным концентратом спекающего компонента (концентрата ОФ «Абашевская» марки ГЖ) для приведения спекаемости к уровню базовой шихты не восстановило качество кокса до базового уровня по причине меньшей насыпной плотности по сравнению с базовым вариантом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Солодов В.С., Черкасова Т.Г., Субботин С.П., Васильева Е.В., Вагнер С.Э., Неведров А.В., Папин А.В. Анализ возможности применения брикетов из коксовой мелочи в ваграночном производстве ПАО «Кокс». *Кокс и химия*. 2019. № 10. С. 18-20. DOI: 10.3103/S1068364X19100120.
2. Кузниченко В.М., Сытник А.В., Курбак С.С. Технологические аспекты использования коксовой пыли УСТК в шихте для трамбования при производстве доменного кокса. *Углехим. журн.* 2015. № 3. С. 32-36.
3. Корнеев А.Д., Гончарова М.А., Андриянцева С.А., Комаричев А.В. Оптимизация строительно-технических свойств асфальтобетонов с применением отходов металлургического производства. *Фунд. иссл.* 2015. № 2-8. С. 1620-1625.
4. Григорьев В.С., Мазалов Д.Ю., Свитцов А.А., Соловьев С.А., Федотов А.В. Адсорбционно-окислительная технология очистки сточных вод, содержащих органические загрязнители. *Совр. наукоем. технол.* 2016. № 9-2. С. 204-208.

Таким образом, добавление к шихте 5% мас. коксомасляного концентрата приводит к ухудшению качества кокса по причине отощения шихты. Для восстановления качества необходимо введение в шихту угля с более высокой спекаемостью (марки Ж).

## ВЫВОДЫ

По результатам проведенных научных исследований можно сделать следующие выводы:

- Коксовая пыль марки ПК-2 является среднезольным отходом коксохимического производства. С уменьшением класса крупности частиц коксовой пыли возрастает их зольность.

- Обогащение коксовой пыли методом масляной агломерации позволяет получать коксомасляной концентрат, который по показателям зольности соответствует требованиям, предъявляемым к сырью для коксохимического производства и объектам энергетики.

- Добавление к угольной шихте коксохимического производства коксомасляного концентрата приводит к ухудшению качества кокса по причине отощения шихты. Поэтому, при использовании коксомасляного концентрата в технологии коксования необходимо введение в состав угольной шихты большего количества углей с высокой спекающей способностью.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

## REFERENCES

1. Solodov V. S., Cherkasova T. G., Subbotin S. P., Vasilyeva E. V., Wagner S. E., Nevedrov A. V., Papin A. V. Analysis of the possibility of using briquettes from coke fines in the wagon production of PJSC "Koks". *Koks Khim.* 2019. N 10. P. 18-20 (in Russian). DOI: 10.3103/S1068364X19100120.
2. Kuznichenko V.M., Sytnik A.V., Kurbak S.S. Technological aspects of the use of USTK coke dust in the charge for ramming in the production of blast furnace coke. *Uglekhim. Zhurn.* 2015. N 3. P. 32-36 (in Russian).
3. Korneev A.D., Goncharova M.A., Andriantseva S.A., Komarichev A.V. Optimization of construction and technical properties of asphalt concrete with the use of waste from metallurgical production. *Fund. Issl.* 2015. N 2-8. P. 1620-1625 (in Russian).
4. Grigoriev V.S., Mazalov D.Yu., Svitsov A.A., Solovyov S.A., Fedotov A.V. Adsorption-oxidative technology of wastewater treatment containing organic pollutants. *Sovr. Naukoem. Tekhnol.* 2016. N 9-2. P. 204-208 (in Russian).

5. **Кузниченко В.М., Кубрак С.С.** Твердость кокса: выбор метода определения. *Углехим. журн.* 2016. № 1. С. 3-6.
6. **Glushkov D.O., Shabardin D.P., Strizhak P.A., Ver-shinina K.Yu.** Influence of organic coal-water fuel composition on the characteristics of sustainable droplet ignition. *Fuel Proc. Technol.* 2016. V. 143. P. 60-68. DOI: 10.1016/j.fuproc.2015.11.014.
7. **Rabinovich O.S., Malinouski A.I., Kislov V.M., Salgansky E.A.** Effect of thermo-hydrodynamic instability on structure and characteristics of filtration combustion wave of solid fuel. *Combust. Theory Model.* 2016. V. 20. N 5. P. 877-893. DOI: 10.1080/13647830.2016.1190034.
8. **Фарберова Е.А., Максимов А.С., Ширкунов А.С., Рябов В.Г., Тиньгаева Е.А., Стрелков В.А.** Исследование возможности переработки нефтяного кокса с повышенным содержанием летучих веществ в углеродные сорбенты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 4. С. 92-99. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6331.
9. **Балдаева Т.М.** Эффективность предварительного отсева мелких классов при вибрационной классификации. *Обогащ. руд.* 2017. № 5. С. 3-6. DOI: 10.17580/or.2017.05.01.
10. **Блехман И.И., Блехман Л.И., Вайсберг Л.А., Васильков В.Б.** Градиентная вибрационная сегрегация в процессах разделения сыпучих материалов по крупности. *Обогащ. руд.* 2015. № 5. С. 20-24. DOI: 10.17580/or.2015.05.04.
11. **Мурзинов В.Л., Махонин В.Я., Головина Е.И.** Модель гранулометрического состава пыли от дробеструйных установок литейного производства. *Безопасн. жизнедеят.* 2018. № 2. С. 11-16.
12. **Головина Е.И., Иванова И.А., Махонин В.Я.** Анализ дисперсного и элементного состава пыли от дробеструйных установок литейного производства. *Комплексная безопасн.* 2017. Вып. 1 (1). С. 52-57.
13. **Чучалина А.Д., Фарберова Е.А., Тиньгаева Е.А., Кобелева А.Р.** Влияние гранулометрического состава каменноугольной пыли на качество получаемого гранулированного активного угля. *Науч.-техн. вестн. Поволжья.* 2015. № 5. С. 91-95.
14. **Александрова Т.Н., Рассказова А.В.** Исследование зависимости качества угольных топливных брикетов от технологических параметров их производства. *Записки горного ин-та.* 2016. Т. 220. С. 573-577. DOI: 10.18454/PMI.2016.4.573.
15. **Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Устинов И.Д.** Направления создания маловодных технологий и аппаратов для обогащения тонкоизмельчённого минерального сырья. *Обогащ. руд.* 2014. № 5. С. 2-9.
16. **Лавриненко А.А., Гольберг Г.Ю., Палкин А.Б., Раджабов М.М.** Моделирование процесса флокуляции тонкодисперсных отходов флотации углей в замкнутом водооборотном цикле. *Вода: химия и экология.* 2016. № 12. С. 22-28.
17. **Патраков Ю.Ф., Семенова С.А.** Интенсификация флотационного обогащения угля микропузырьковыми газовыми средами. *Кокс и химия.* 2021. № 2. С. 24-28. DOI: 10.3103/S1068364X21020046.
5. **Kuznichenko V.M., Kubrak S.S.** The hardness of coke: the choice of the method of determination. *Uglekhim. Zhurn.* 2016. N 1. P. 3-6 (in Russian).
6. **Glushkov D.O., Shabardin D.P., Strizhak P.A., Ver-shinina K.Yu.** Influence of organic coal-water fuel composition on the characteristics of sustainable droplet ignition. *Fuel Proc. Technol.* 2016. V. 143. P. 60-68. DOI: 10.1016/j.fuproc.2015.11.014.
7. **Rabinovich O.S., Malinouski A.I., Kislov V.M., Salgansky E.A.** Effect of thermo-hydrodynamic instability on structure and characteristics of filtration combustion wave of solid fuel. *Combust. Theory Model.* 2016. V. 20. N 5. P. 877-893. DOI: 10.1080/13647830.2016.1190034.
8. **Farberova E.A., Maksimov A.S., Shirkunov A.S., Ryabov V.G., Tingaeva E.A., Strelkov V.A.** Investigation of the possibility of processing petroleum coke with a high content of volatile substances into carbon sorbents. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2021. V. 64. N 4. P. 92-99 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6331.
9. **Baldaev T.M.** Effectiveness of preliminary screening of small classes in vibration classification obog. *Obogashch. Rud.* 2017. N 5. P. 3-6 (in Russian). DOI: 10.17580/or.2017.05.01.
10. **Blekhman I.I., Blekhman L.I., Vaisberg L.A., Vasilkov V.B.** Gradient vibratory segregation in the processes of separation of bulk materials by size, obog. *Obogashch. Rud.* 2015. N 5. P. 20-24 (in Russian). DOI: 10.17580/or.2015.05.04.
11. **Murzinov V.L., Makhonin V.Ya., Golovina E.I.** Model of particle size distribution of the dust from the shot-blasting machines, foundry. *Bezopasn. Zhiznedeyat.* 2018. N 2. P. 11-16 (in Russian).
12. **Golovina E.I., Ivanova I.A., Makhonin V.Ya.** Analysis of the dispersed and elemental composition of dust from shot blasting plants of foundry production. *Kompleksn. Bezopasn.* 2017. N 1 (1). P. 52-57 (in Russian).
13. **Chuchalina A.D., Farberova E.A., Tingaeva E.A., Kobleva A.R.** The influence of the granulometric composition of coal dust on the quality of the obtained granular activated carbon. *Nauch.-Tekhn. Vestn. Povolzh'ya.* 2015. N 5. P. 91-95 (in Russian).
14. **Alexandrova T.N., Rasskazova A.V.** Investigation of the dependence of the quality of coal fuel briquettes on the technological parameters of their production. *Zapiski Gornogo In-ta.* 2016. V. 220. P. 573-577 (in Russian). DOI: 10.18454/PMI.2016.4.573.
15. **Arsentiev V.A., Vaisberg L.A., Ustinov I.D.** Directions of creating low-water technologies and devices for the enrichment of finely ground mineral raw materials. *Obogashch. Rud.* 2014. N 5. P. 2-9 (in Russian).
16. **Lavrinenko A.A., Golberg G.Yu., Palkin A.B., Radzhabov M.M.** Modeling of the process of flocculation of fine coal flotation waste in a closed water cycle. *Voda: Khim. Ekolog.* 2016. N 12. P. 22-28 (in Russian).
17. **Patrakov Yu.F., Semenova S.A.** Intensification of flotation enrichment of coal with microbubble gas media. *Koks Khim.* 2021. N 2. P. 24-28 (in Russian). DOI: 10.3103/S1068364X21020046.
18. **Petukhov V.N., Svechnikova N.Yu., Kuklina O.V., Yudina S.V.** Studying the influence of fine coal slurries on

18. **Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Куклина О.В., Юдина С.В.** Изучение влияния тонкодисперсных угольных шламов на их флотуемость. *Кокс и химия*. 2020. № 5. С. 39-44. DOI: 10.3103/S1068364X2005004X.
19. **Патраков Ю.Ф., Семенова С.А.** Повышение качества малощенных для коксования углей использованием технологий обогащения. *Кокс и химия*. 2019. № 8. С. 2-5. DOI: 10.3103/S1068364X19080039.
20. **Патраков Ю.Ф., Семенова С.А., Клейн М.С., Авид Б.** Флотационное обогащение низкометаморфизованных и окисленных углей с использованием отработанных моторных масел. *Кокс и химия*. 2018. № 9. С. 2-7. DOI: 10.3103/S1068364X18090090.
21. **Золотухин Ю.А., Осадчий С.П., Денисенко Е.В., Андрейчиков Н.С., Купрыгин В.В., Зорин М.В.** Прогноз качества промышленного кокса на ОАО «Алтай-Кокс» по результатам лабораторных и ящечных коксований. *Кокс и химия*. 2019. № 8. С. 6-24. DOI: 10.3103/S1068364X19080064.
22. **Грязнов Н.И.** Основы теории коксования. М.: Metallurgia. 2015. 314 с.
- their floatability. *Koks Khim.* 2020. N 5. P. 39-44 (in Russian). DOI: 10.3103/S1068364X2005004X.
19. **Patrakov Yu.F., Semenova S.A.** Improving the quality of low-value coking coals using enrichment technologies. *Koks Khim.* 2019. N 8. P. 2-5 (in Russian). DOI: 10.3103/S1068364X19080039.
20. **Patrakov Yu.F., Semenova S.A., Klein M.S., Avid B.** Flotation enrichment of low-metamorphosed and oxidized coals using spent motor oils. *Koks Khim.* 2018. N 9. P. 2-7 (in Russian). DOI: 10.3103/S1068364X18090090.
21. **Zolotukhin Yu.A., Osadchy S.P., Denisenko E.V., Andreychikov N.S., Kuprygin V.V., Zorin M.V.** Forecast of the quality of industrial coke at JSC "Altai-Koks" according to the results of laboratory and box coking. *Koks Khim.* 2019. N 8. P. 6-24 (in Russian). DOI: 10.3103/S1068364X19080064.
22. **Gryaznov N.I.** Fundamentals of the theory of coking. M.: Metallurgiya. 2015. 314 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 26.01.2022  
Принята к опубликованию 22.04.2022*

*Received 26.01.2022  
Accepted 22.04.2022*