

# Результаты исследований угольных шламов\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-104-107>

## ПРОКОПЬЕВ Е.С.

Младший научный сотрудник  
отдела комплексного использования  
минерального сырья  
Института Земной коры СО РАН,  
директор по технологиям и инновациям  
ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: pes@spirit-irk.ru

## ПРОКОПЬЕВ С.А.

Канд. техн. наук,  
начальник отдела  
комплексного использования  
минерального сырья  
Института земной коры СО РАН,  
генеральный директор ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: psa@spirit-irk.ru

## АЛЕКСЕЕВА О.Л.

Ведущий инженер  
отдела комплексного использования  
минерального сырья  
Института земной коры СО РАН,  
директор по экономике и финансам  
ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: aol@spirit-irk.ru

В представленной статье авторы ведут речь о важности определения оптимальных режимов обогащательного оборудования во время разработки технологии обогащения. Своими данными они показывают, что для достижения положительных результатов не обязательно выполнять трудоемкие работы, достичь их возможно с применением наиболее упрощенных способов.

**Ключевые слова:** угольные шламы, обогащение угольных шламов, режимные параметры, гранулометрический анализ, операция сгущения, сгущение угольных шламов

**Для цитирования:** Прокопьев Е.С., Прокопьев С.А., Алексеева О.Л. Результаты исследований угольных шламов // Уголь. 2023. № 12. С. 104-107. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-104-107.

## ВВЕДЕНИЕ

В практике обогащения углей продукт крупностью 0-0,5 мм называется угольным шламом, который содержит от 10 до 50% и более глинистого вещества, состоящего в основном из слоистых силикатов – каолинита и гидрослюдистых глин [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Каолинит и гидрослюдистые глины — это природные слоистые алюмосиликаты, склонные к набуханию в воде и образующие в воде устойчивые коллоидные растворы [10, 11]. Во время обогащательного процесса из-за их присутствия увеличивается показатель зольности сухого топлива в конечных продуктах обогащения, поэтому, когда осуществляется разработка технологий переработки сырья, необходимо обращать особое внимание на предварительную подготовку материала.

В настоящее время ведутся работы по разработке технологии обогащения отходов флотации ОФ «Краснобродская-Коксовая», и за основу разработки взяты работы предшественников [12, 13, 14], где в технологической схеме для операции сгущения применяют гидроциклоны. Среди различных типов классифицирующего

\* Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогащательных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата» при поддержке комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 г.



**НОЦ  
КУЗБАСС**

Научно-образовательный  
центр «Кузбасс»

оборудования гидроциклоны являются наиболее универсальным и простым в эксплуатации оборудованием, требующим относительно небольших капитальных и эксплуатационных затрат, обладающим высокой производительностью, обеспечивающим требуемые экологические и санитарно-гигиенические условия труда. При расчете параметров гидроциклона следует учитывать, что гидроциклонирование, как и другие процессы разделения мелких классов, имеет стохастическую природу, в основе которой лежат как детерминированные, так и вероятностные (случайные) физические явления, поэтому расчет режимных параметров данного оборудования является трудоемким [15], в связи с чем задача данного исследования заключалась в определении оптимального режима работы обогатительного оборудования, предназначенного для проведения операции сгущения при использовании наиболее упрощенного способа.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований стала технологическая проба, отобранная из отходов флотации (кека) ОФ «Краснобродская-Коксовая» филиала УК «УРК» «Краснобродский угольный разрез». Определение зольности сухого топлива исходной пробы выполнено методом ускоренного озоления (лаборатория аналитического контроля ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго»).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перед началом работ на исследуемом сырье был выполнен гранулометрический анализ с определением показате-

телей зольности сухого топлива в каждом классе крупности (табл. 1).

В ходе анализа было установлено, что в пробе присутствует материал тонкодисперсной фракции менее 20 мкм, выход которого составляет 53,89%. Показатель зольности сухого топлива в данном материале равен 40,5%. Также установлено, что в крупности более 125 мкм присутствуют минералы и минеральные агрегаты, представленные различными несгораемыми фазами, о чем свидетельствуют данные о показателях зольности. Выход материала крупностью более 125 мкм составляет 15,37%. В диапазоне крупности от 20 до 125 мкм зольность сухого топлива составляет 26,61% и ее можно считать продуктивной частью в испытуемом сырье.

Полученные данные свидетельствуют о том, что перед проведением основного обогащения из обогатительного процесса необходимо вывести материал крупностью более 125 мкм и выполнить операцию сгущения. Во избежание потери продуктивного материала крупность слива не должна превышать 20 мкм.

Испытания операции сгущения выполнены при помощи гидроциклона марки ГЦ-100. Задача операции сгущения заключается в получении наиболее тонкого слива. Для того чтобы выполнить поставленную задачу, было принято решение регулировать крупность слива за счет изменения диаметра песковой насадки при соблюдении одних и тех же режимных параметров обогатительного оборудования на всех тестовых опытах (табл. 2), а на продуктах опробования слива гидроциклона выполнить контроль крупности при помощи сита с ячей-

Таблица 1

**Гранулометрическая характеристика исходного сырья с показателями зольности сухого топлива по классам крупности**

Granulometric characteristics of the feedstock with dry fuel ash content by size class

Класс крупности, мм	Выход, %	Выход сухого топлива (A <sup>4</sup> ), %	Распределение, %
+2	0,41	80,8	0,82
-2+1	1,33	82,6	2,73
-1+0,5	3,69	74,5	6,84
-0,5+0,25	4,82	63,7	7,64
-0,25+0,125	5,12	57,1	7,28
-0,125+0,071	4,51	32,9	3,69
-0,071+0,04	14,04	22,0	7,69
-0,04+0,02	12,19	29,6	8,98
-0,02+0,0	53,89	40,5	54,32
Итого:	100,00	40,18	100,00

Таблица 2

**Режимные параметры ГЦ-100 тестовых опытов**

Operating parameters of GC-100 test experiments

Номер опыта	1	2	3	4
Производительность при давлении 0,05 МПа, куб. м/ч не менее	5-15			
Процент твердого в питании, %	20			
Диаметр сливного патрубка, мм	20			
Диаметр песковой насадки, мм	12	10	8	6

**Результат контроля крупности слива ГЦ тестовых опытов**  
The result of monitoring the size of the GC drain from test experiments

Класс крупности, мм	Выход, %			
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
-0,5+0,02	19,85	24,83	26,83	28,37
-0,02+0,0	80,15	75,17	73,17	71,63
Итого:	100,00	100,00	100,00	100,00

кой 20 мкм (табл. 3) и посмотреть будут ли проследиться какие-либо изменения. Выбранные режимные параметры гидроциклона основаны на технических характеристиках, которые указаны в паспорте обогатительного оборудования.

В результате проведения тестовых испытаний было установлено (см. данные табл. 3), что при использовании более крупной песковой насадки крупность слива ГЦ на 80,15% будет состоять из материала менее 20 мкм, с уменьшением диаметра песковой насадки (результаты опытов 2, 3 и 4) наблюдается закругление крупности слива ГЦ, в ее гранулометрическом составе происходит увеличение выхода крупности материала более 20 мкм примерно на 2% в каждом опыте. Закругление слива сгущения может повлечь за собой потерю продуктивного класса крупности. Чтобы избежать этого необходимо применять песковую насадку с наибольшим диаметром на сливном отверстии.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в настоящем исследовании был продемонстрирован упрощенный способ настройки обогатительного оборудования, который может быть применим как в лабораторных, так и в полевых условиях при пусконаладочных работах.

**Список литературы**

1. Новак В.И., Козлов В.А. Обзор современных способов обогащения угольных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельный выпуск № 5. Угледобыча: технологии, безопасность, переработка и обогащение. 2012.
2. Козлов В.А., Новак В.И. Оптимизация работы углеобогатительной фабрики с целью получения максимального выхода концентрата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 4. С. 175-186.
3. Сипотенко А.И., Коткин А.М., Совершенствование техники и технологии обработки шламов для сокращения их выхода как отдельного товарного продукта. М.: ЦНИЭИ Уголь, 1991.
4. Козлов В.А., Новак В.И. Применение колонковой флотации в угольной промышленности // Горный информационно-

- аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 4. С. 277-282.
5. Новак В.И. Обоснование и разработка рациональной технологии флокуляционного разделения тонкодисперстных угольных шламов. М.: ИОТТ-МГГУ, 2012.
6. Белоусов В.А. Основные направления интенсификации флотационного обогащения углей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-5. С. 719-721.
7. Behera B., Sahu H.B. Coal mine waste characterization and defluoridation property // Heliyon. 2023. No 9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244>.
8. Kopobayeva A.N., Portnov S., Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan) // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. January. 2020. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/011.
9. Thang N.C., Tuan N.V., Hiep D.N. The Potential Use of Waste Rock from Coal Mining for the Application as Recycled Aggregate in Concrete. In book: Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. October. 2020. P. 550-561. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2-29>.
10. Ucara A., Sahbaza O., Ediza N. An investigation into the enrichment of coal wastes of Western Lignite Company (WLC) by physical and physico-chemical methods // Scientific Mining Journal. 2023. 62(1). P. 7-15. DOI: <https://doi.org/10.30797/madencilik.1111260>.
11. Moszko J.C., Wierzchowski K., Klupa A. Evaluation of the Possibility of the hard coal sludge enrichment by flotation. December 17th. 2020. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127361/v1>.
12. Прокопьев Е.С., Алексеева О.Л. Оценка возможности вовлечения в переработку углесодержащих отходов шламохранилища Западносибирского металлургического комбината // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 446-457.
13. Соловеев Н.П., Болотин Н.М. Применение технологии винтовой сепарации при переработке угольных шламов // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 469-480.
14. Турецкая Н.Ю., Чикишева Т.А. Обогащение шламов угольных гидроотвалов методом винтовой сепарации // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 436-445.
15. Кармазин В.В., Торопов О.А. Теоретический анализ технологических возможностей гидроциклонов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. № 515. С. 215-228.

Original Paper

UDC 552.574 © E.S. Prokopiev, S.A. Prokopiev, O.L. Alekseeva, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 104-107  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-104-107>

**Title****COAL SLURRY RESEARCH RESULTS****Authors**

Prokopiev E.S.<sup>1,2</sup>, Prokopiev S.A.<sup>1,2</sup>, Alekseeva O.L.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

<sup>2</sup> LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation

**Authors information**

**Prokopiev E.S.**, Junior Researcher, Director for Technology and Innovation, e-mail: [pes@spirit-irk.ru](mailto:pes@spirit-irk.ru)

**Prokopiev S.A.**, PhD (Engineering), Head of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials, Chief Executive Officer, e-mail: [psa@spirit-irk.ru](mailto:psa@spirit-irk.ru)

**Alekseeva O.L.**, Leading Engineer of the department for integrated use of mineral raw materials, Director of Economics and Finance, e-mail: [aol@spirit-irk.ru](mailto:aol@spirit-irk.ru)

**Abstract**

In this article the authors talk about the importance of determining the optimal modes of enrichment equipment during the development of enrichment technology. With their data they show that to achieve positive results it is not necessary to perform labor-intensive work; it is possible to achieve them using the most simplified methods.

**Keywords**

Coal sludge, Enrichment of coal sludge, Operating parameters, Granulometric analysis, Thickening operation, Thickening of coal sludge.

**References**

- Novak V.I. & Kozlov V.A. An overview of modern methods of coal sludge preparation. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, Special Issue No. 5, Coal mining: technology, safety, processing and preparation. 2012.
- Kozlov V.A. & Novak V.I. Optimization of coal preparation plant operation to maximize concentrate yield. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2019, (4), pp. 175-186. (In Russ.).
- Sipotenko A.I. & Kotkin A.M. Enhancement of equipment and technology of sludge treatment to reduce its yield as a separate marketable product. Moscow, TsNIEI Ugol' Publ., 1991. (In Russ.).
- Kozlov V.A. & Novak V.I. Application of column flotation in the coal industry. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2011, (4), pp. 277-282. (In Russ.).
- Novak V.I. Justification and development of a rational technology of flocculation separation of fine coal slimes. Moscow, IOTT-MGGU Publ., 2012. (In Russ.).
- Belousov V.A. Main trends in intensification of coal flotation preparation. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2014, (11-5), pp. 719-721. (In Russ.).
- Behera B. & Sahu H.B. Coal mine waste characterization and defluoridation property. *Heliyon*, 2023, (9). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244>.
- Kopobayeva A.N., Portnov S. & Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan). *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, January, 2020. DOI: [10.33271/nvngu/2021-5/011](https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-5/011).

9. Thang N.C., Tuan N.V. & Hiep D.N. The Potential Use of Waste Rock from Coal Mining for the Application as Recycled Aggregate in Concrete. In book: *Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*, October, 2020, pp. 550-561. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2_29).

10. Ucara A., Sahbaza O. & Ediza N. An investigation into the enrichment of coal wastes of Western Lignite Company (WLC) by physical and physico-chemical methods. *Scientific Mining Journal*, 2023, 62(1), pp. 7-15. DOI: <https://doi.org/10.30797/madencilik.1111260>.

11. Moszko J.C., Wierzchowski K. & Klupa A. Evaluation of the Possibility of the hard coal sludge enrichment by flotation. December 17th. 2020. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127361/v1>.

12. Prokopyev E.S. & Alekseyeva O.L. Feasibility study of processing coal-bearing wastes of the sludge storage at the West Siberian Metallurgical Works. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 446-457. (In Russ.).

13. Soloveyenko N.P. & Bolotin N.M. Application of screw separation technology in coal sludge processing. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 469-480. (In Russ.).

14. Turetskaya N.Yu. & Chikisheva T.A. Processing of sludge from coal sludge ponds using the screw separation technique. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 436-445. (In Russ.).

15. Karmazin V.V. & Toropov O.A. Theoretical analysis of hydrocyclone technological potential. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2009, (S15), pp. 215-228. (In Russ.).

**Acknowledgements**

The research was performed as part of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 "Processing of coal mill tailings in order to obtain commercial coal concentrate" with support of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation on May 11, 2022.

**For citation**

Prokopiev E.S., Prokopiev S.A. & Alekseeva O.L. Coal slurry research results. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 104-107. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-12-104-107](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-104-107).

**Paper info**

Received October 5, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023