

УДК 552.574.2; 338.33

**ИЗМЕНЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА УГЛЕЙ
ПРИ ДРОБЛЕНИИ НА ЛАБОРАТОРНОЙ ШНЕКО-ЗУБЧАТОЙ ДРОБИЛКЕ**

**Ю. Ф. Патраков¹, А. И. Степаненко², С. М. Никитенко¹,
С. А. Семенова¹, А. А. Степаненко²**

¹*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
E-mail: nsm.nis@mail.ru, Ленинградский проспект, 10, 650065, г. Кемерово, Россия*

²*АО "Гормашэкспорт",
E-mail: goraexport@mail.ru, ул. Фрунзе, 51, 630005, г. Новосибирск, Россия*

Представлены результаты дробления углей на лабораторной шнеко-зубчатой дробилке. Образцами служили товарные пробы углей разных месторождений России, Казахстана и Кыргызстана. На основе анализа изменения количественных выходов гранулометрических составов установлено, что независимо от местонахождения месторождений углей и их марочной принадлежности использование дробилки шнеко-зубчатого типа при подготовке сырья к обогащению не приводит к существенному переизмельчению угля.

Гранулометрический состав угля, дробильные устройства, дробимость угля, топливные смеси

DOI: 10.15372/FTPRPI20230404

Одна из основных задач развития угольной промышленности — повышение качества добываемого угля с помощью процессов обогащения энергетического и коксующегося сырья. Гранулометрический состав — важный показатель для обоснования выбора энергетического и обогатительного оборудования, а также возможности использования рядовых или сортированных углей в разных технологических процессах, в том числе при подготовке топливных смесей [1]. Известно, что рост доли мелкой фракции в угле, наряду с влажностью, ухудшает сыпучие свойства, коррелирует с содержанием глинистых минералов и показателем прочностных свойств. При разработке процессов смешивания сыпучих материалов нужно учитывать конструктивные особенности не только смесительного, но и дробильного оборудования.

Гранулометрический состав углей определяется многими взаимодополняющими факторами: петрографическим и минералогическим составом, характером распределения органических и минеральных компонентов среди основной угольной массы; степенью метаморфизма, окисленностью, трещиноватостью и тектонической нарушенностью пласта; зависит от способа добычи (комбайновой, экскаваторной, гидродобычи и др.) и типа оборудования для последующего измельчения угля [2–4].

Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (№ 075–15-2022-1197).

Используемые в промышленных и лабораторных целях дробильные устройства имеют свои особенности и применяются для решения конкретных задач. Например, в молотковой дробилке роторного типа уголь засыпается в горловину, попадает в пространство между молотками ротора и зубцами деки и дробится на мелкие куски. Далее часть из них проходит через сито и попадает в приемный бункер. Крупные куски делают еще один оборот внутри дробилки и снова попадают в пространство между молотками вала и зубцами деки. Способ измельчения угля при ударном воздействии применяется для оценки пылеобразования в шахтных условиях. В [5] установлены взаимосвязи между дроблением и крупностью, маркой и физическими свойствами углей (влажностью, твердостью, структурой пор). При использовании дробилки молоткового типа для дробления угольной шихты существенно влияет на энергозатраты класс крупности < 3 мм, образующий с воздухом пылевоздушную среду и оказывающий сопротивление вращению ротора, что приводит к перерасходу энергии до 40 % от номинальной мощности [6].

Валковая дробилка — устройство для измельчения частиц 1 – 50 мм, в котором разрушение происходит между парой валков, вращающихся навстречу друг другу. Минералы горных пород измельчаются по мере их прохождения между валками. Частицы размером меньше зазора между валками проходят через них неизмельченными, а частицы размером больше зазора измельчаются. В опытах по дроблению углей с помощью двухвалковой дробилки наблюдается изменение распределения кусков по размерам с более мелкого на более крупный диапазон вследствие образования агломератов при высоких силах сжатия, действующих на частицы [7].

Для дробления до крупности частиц 0 – 150 мм используются валково-зубчатые и шнеко-зубчатые дробилки. Валково-зубчатые представляют собой вращающиеся навстречу друг другу валки, на которые установлены дробящие зубья, расположенные по нормали к поверхности валка. Шнеко-зубчатые дробилки имеют тангенциально расположенные зубья, при этом для захвата крупных кусков зубья могут располагаться по спиральной линии. По сравнению с валково-зубчатыми, они отличаются существенно меньшими габаритами, большей степенью уменьшения крупности материала за одну стадию дробления и применяются для дробления крупногабаритных кусков размером 1000 – 1500 мм до крупности 0 – 300 мм, а также для среднего (0 – 150 мм) и мелкого (0 – 25 мм) дробления. Такие дробилки обеспечивают калибрующее дробление с максимально высоким выходом крупных классов при минимальном переизмельчении.

В статье рассмотрены результаты дробления углей на экспериментальной шнеко-зубчатой дробильной установке ДШЗ 500.03-50-2х11.5 с дробящими элементами разной конфигурации, являющейся версией промышленных дробилок серии ДШЗ-500 с укороченной зоной дробления (рис. 1а).

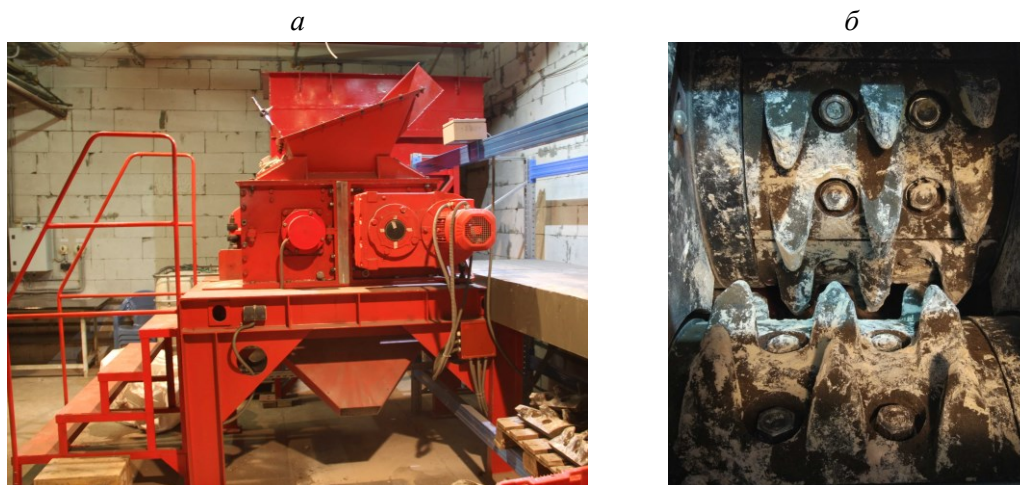


Рис. 1. Лабораторная дробилка ДШЗ 500.03-50-2х11.5 (а) и зона ее дробления (б)

Установка измельчает угли максимально приближенно к дроблению в промышленных условиях. Дробящие элементы — полноразмерные литые ножи из стали 110Г13Л промышленного типа с разным количеством и геометрией дробящих зубьев (рис. 1б). Конструкция дробилки позволяет изменять межосное расстояние между валами в пределах 490–550 мм. Расстояние между валами регулируется смещением корпусных элементов дробилки до требуемой ширины. Изменение межосного расстояния и установка тех или иных модификаций ножей позволяет управлять гранулометрическим составом дробимых продуктов для решения разных задач. Самый крупный исходный материал имеет размер $300 \times 300 \times 500$ мм. При наибольшем расстоянии между валами максимальная крупность материала увеличивается, повышается выход крупных фракций. В данном исследовании расстояние между валами 500 мм. Привод дробилки позволяет дробить породы с пределом прочности на сжатие до 160 МПа. Дробление происходит за счет действия срезающей силы и тяговых усилий, создаваемых высоким моментом вращения валков при низкой угловой скорости. Спиральное расположение зубьев распределяет равномерно материал по всей длине валков, обеспечивая максимальный выход товарного продукта заданной крупности.

Исследования проводились на пробах углей массой от ~300 кг до нескольких тонн. Осуществлялось как предварительное грохочение угля по классу 50–100 мм, так и дробление пробы без предварительного грохочения. Образцы для оценки дробимости — товарные пробы рядовых углей месторождений России, Казахстана и Кыргызстана.

В таблице представлены результаты дробления углей в виде данных выходов классов разной крупности исходных проб (И), выходов классов крупности после дробления (Д), а также сравнительной разницы Δ между исходным и дробленным материалом. Изменение гранулометрического состава угольных проб после дробления на шнеко-зубчатой дробилке показано на рис. 2. Большинство исследуемых угольных проб имеет выход фракций, возрастающий с увеличением крупности от 6 до 50 мм. Подобная картина распределения фракций по размерам отмечается и для углей других месторождений мира [8]. Незначительная разница фракционного состава проб 2 и 5 после дробления обусловлена изначально пониженным содержанием классов крупности более 50 мм в исходной пробе. Данные пробы представлены спекающимися марками ГЖ (проба 2) и ОС (проба 5) средней стадии метаморфизма с показателем отражения витринита 0.90–1.25 %. Известно, что угли средней стадии метаморфизма витринитового типа имеют низкую механическую прочность и склонны к переизмельчению в процессе добычи и транспортировки [9].

Другие исследуемые пробы имеют большую устойчивость к механическим воздействиям и, как следствие, наличие в исходной пробе классов повышенной крупности (50–100 мм). Для низкометаморфизованных углей марок ЗБ и Д (пробы 1, 6, 7, 8) это связано с повышенной плотностью и влажностью свежедобытых углей, обусловленной присутствием в структуре гидрофильных кислородсодержащих групп (гидроксильных, карбоксильных). Наличие полярных кислородсодержащих групп способствует формированию межмолекулярных водородных связей, обеспечивающих прочность структурной организации низкометаморфизованных углей [9]. Для углей марок ГЖО и КСН (пробы 3, 4, 10) устойчивость к механическим воздействиям, вероятно, связана с повышенным содержанием отошающих фюзенизированных компонентов, равномерно распределенных среди основной гелефицированной массы, и обладающих цементирующими упрочняющими свойствами [10–12].

Результаты дробления угольных проб разных марок, %

Класс крупности, мм	И	Д	Δ	И	Д	Δ	И	Д	Δ	И	Д	Δ	И	Д	Δ
	Марка ЗБ (Кыргызстан)			Марка ГЖ (РФ)			Марка ГЖО (РФ)			Марка ГЖО (РФ)			Марка ОС (РФ)		
	Проба 1			Проба 2			Проба 3			Проба 4			Проба 5		

До крупности < 25 мм

+ 50	34.12	0	-34.12	2.17	0	-2.17	19.71	0	-19.71	15.03	0	-15.03	6.32	0	-6.32
25-50	0	0	0	5.81	0	-5.81	12.46	0	-12.46	6.76	0	-6.76	6.65	0	-6.65
13-25	14.00	28.91	14.91	8.44	13.32	4.88	14.64	35.64	21.01	6.23	19.63	13.39	10.97	17.84	6.87
6-13	12.21	20.49	8.28	13.23	14.28	1.05	17.81	22.63	4.82	14.16	17.59	3.43	15.30	17.19	1.89
3-6	11.34	16.00	4.66	19.80	20.37	0.57	13.47	16.11	2.64	19.59	21.48	1.89	17.79	18.90	1.11
1-3	8.37	10.99	2.62	28.42	29.06	0.64	13.13	15.44	2.31	21.75	23.61	1.86	21.03	22.59	1.56
0-1	19.96	23.61	3.65	22.15	22.98	0.84	8.79	10.18	1.39	16.47	17.69	1.22	21.93	23.47	1.54
Итого	100	100	0	100	100	0	100	100	0	100	100	0	100	100	0

	Марка ЗБ (Казахстан)			Марка ЗБ (Казахстан)			Марка Д (Казахстан)			Марка Д (РФ)			Марка КСН (Казахстан)		
	Проба 6			Проба 7			Проба 8			Проба 9			Проба 10		

До крупности < 50 мм

+ 50	22.25	0	-22.25	35.31	0	-35.31	32.46	0	-32.46	39.83	0	-39.83	28.46	0	-28.46
25-50	20.67	31.65	10.98	18.91	34.43	15.53	22.67	38.58	15.91	13.33	26.44	13.11	14.48	30.65	16.17
13-25	18.48	23.28	4.80	16.48	25.49	9.01	16.77	24.35	7.58	11.96	21.23	9.27	15.33	20.97	5.65
6-13	18.33	21.95	3.62	13.79	19.99	6.21	12.87	17.18	4.31	13.17	20.36	7.20	15.74	18.91	3.17
3-6	2.55	3.50	0.95	4.59	6.18	1.59	6.06	8.15	2.09	8.18	12.35	4.17	10.14	11.43	1.29
0-3	17.72	19.62	1.90	10.93	13.91	2.99	9.18	11.75	2.57	13.53	19.61	6.08	15.85	18.04	2.19
Итого	100	100	0	100	100	0	100	100	0	100	100	0	100	100	0

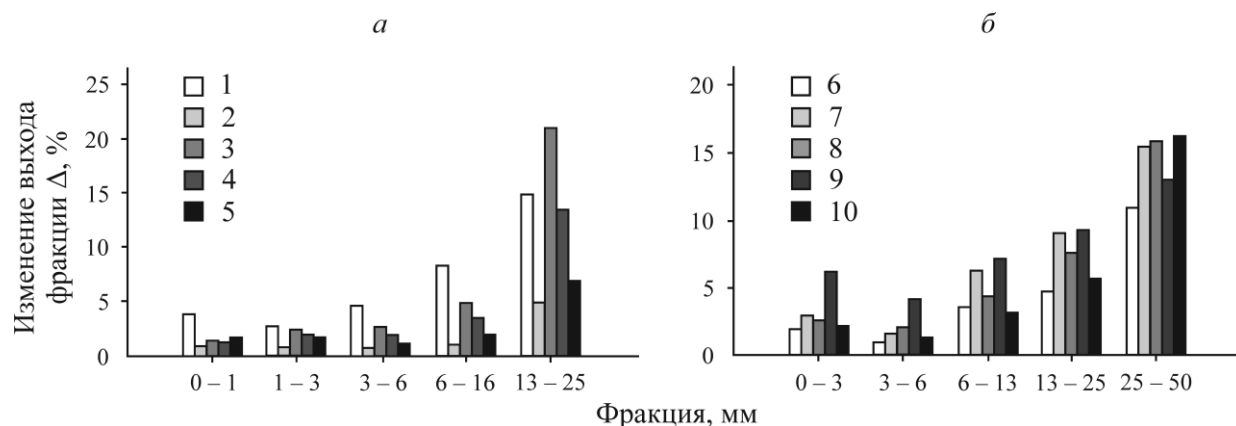


Рис. 2. Разница выхода granulометрических фракций (Δ) после дробления углей до крупности < 25 (а) и < 50 мм (б): 1 — ЗБ (Кыргызстан); 2 — ГЖ (РФ); 3 — ГЖО (РФ); 4 — ГЖО (РФ); 5 — ОС (РФ); 6 — ЗБ (Казахстан); 7 — ЗБ (Казахстан); 8 — Д (Казахстан); 9 — Д (РФ); 10 — КСН (Казахстан)

Изменение выходов гранулометрических классов показало, что независимо от нахождения месторождений углей, а также их марочной принадлежности использование дробилки шнеко-зубчатого типа для подготовки сырья к обогащению не приводит к существенному переизмельчению угля. На рис. 3 это видно по приросту мелкой фракции крупностью менее 6 мм на примере нескольких марок углей разных стадий метаморфизма.

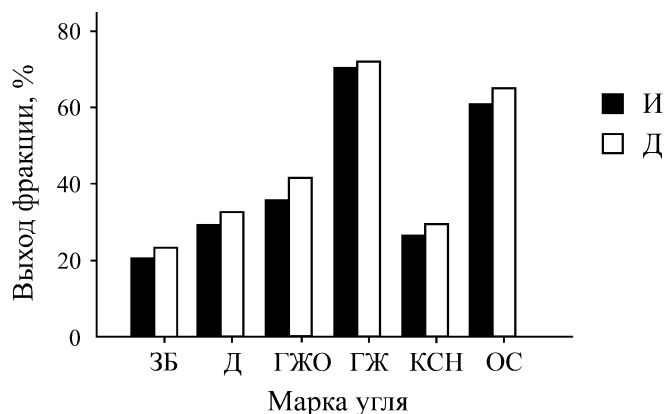


Рис. 3. Выход фракции менее 6 мм для проб углей разных стадий метаморфизма до (И) и после дробления (Д) на шнеко-зубчатой дробилке

ВЫВОДЫ

Проанализированы результаты дробимости десяти проб бурых и каменных углей различных месторождений России, Казахстана и Кыргызстана с помощью лабораторной дробилки ДШЗ 500.03-50-2х11.5, моделирующей промышленный процесс дробления. Установлено, что в ходе дробления не происходит значительного переизмельчения угля. Основная масса угля распределяется в классах более 6 мм. Это несомненное преимущество дробилок шнеко-зубчатого типа, так как увеличение выхода угольных шламов может отразиться на затратах обогатительных предприятий. Существенное уменьшение доли мелкой фракции в угле улучшает его сыпучие свойства, способствует качественному формированию топливных смесей из углей разных марок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипенко Л. А. Новые подходы к проектированию современных обогатительных фабрик // Уголь. — 2020. — № 7. — С. 82–87.
2. Агроскин А. А. Физика угля. — М.: Недра, 1965. — 352 с.
3. Rubiera F., Arenillas A., Fuente E., Miles N., and Pis J. J. Effect of the grinding behaviour of coal blends on coal utilisation for combustion, Powder Technol., 1999, Vol. 105. — P. 351–356.
4. Scieszka S. F. Grinding behaviour of coal in different size-reduction systems, Powder Technol., 1987, Vol. 49. — P. 191–192.
5. Zheng L., Li D., and Xu S. Analysis on the impact crushing dust generation test method and its influencing factors, Powder Technol., 2021, Vol. 388. — P. 100–109.
6. Засельский В. И., Зайцев Г. Л., Засельский И. В. Определение мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления пылевоздушной угольной среды вращению ротора молотковой дробилки // Кокс и химия. — 2015. — № 4. — С. 43–46.

7. **Kwon J., Cho H., Mun M., and Kim K.** Modeling of coal breakage in a double-roll crusher considering the reagglomeration phenomena, *Powder Technol.*, 2012, Vol. 232. — P. 113–123.
8. **Anggayana K., Widayat A. H., Hede A. N. H., and Syahtriano R.** Study of the effect of grain size distribution after crushing and sieving on quality and petrographic composition of coal from kendisan and suparto block, East Kalimantan, Doi-Doi and Tondong Kura Block, South Sulawesi, Indonesia, *Proc. 9th Int. Symp. Mineral Exploration Aula Barat ITB, Bandung, Indonesia*, 2006. — P. 198–204.
9. **Van Krevelen D. W.** *Coal: typology, physics, chemistry, constitution*, Amsterdam, London, New York, Tokyo, Elsevier, 1993. — 979 p.
10. **Артемьев В. Б., Еремин И. В., Гагарин С. Г.** *Петрография углей и их эффективное использование*. — М.: Недра Коммюникейшенс Лтд, 2000. — 335 с.
11. **Арцер А. С., Протасов С. И.** *Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование*. Т. 1. — Кемерово: КузГТУ, 1999. — 177 с.
12. **Патраков Ю. Ф., Семенова С. А.** Исследование дисперсного состава угольной пыли методом лазерной дифракции // *Горн. журн.* — 2020. — № 4. — С. 71–75.

Поступила в редакцию 05/V 2023

После доработки 24/V 2023

Принята к публикации 30/VI 2023