

Д-р техн. наук А.Д. Полулях  
(УкрНИИУглеобогащения),  
асп. О.В. Ищенко (НГУ)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНОВ КРУПНОСТИ УГЛЕЙ МАШИННЫХ КЛАССОВ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА РАВНОПАДАЕМОСТИ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

Наведені результати розрахунку діапазонів крупності машинних класів на основі закону рівнопадкості вугільних часток у водному середовищі. Запропоновані практичні діапазони крупності машинних класів рядового вугілля.

## **DEFINITION OF SIZE RANGES OF MACHINE CLASSES COALS ON THE BASIS OF THE LAW OF COAL PARTICLES EQUAL FALLING IN A WATER ENVIRONMENT**

The results of accounts of size ranges of machine classes are given on the basis of the law of coal particles equal falling in a water environment. The practical size ranges of machine classes of raw coal are offered.

Классификация углей по машинным классам является одной из наиболее ответственных и необходимых операций на углеобогатительных фабриках. Особое значение классификация имеет при гравитационных методах обогащения, так как в этих методах разделение происходит за счет различия плотности, размеров и формы минеральных частиц [1-3].

В настоящее время нет четкого обоснования границ машинных классов. На углеобогатительных фабриках шкала диапазонов крупности машинных классов углей сформировалась в соответствии со стандартом размеров отверстий сит. Сейчас на обогатительных фабриках Украины обогащение угля производится в основном по 3-м машинным классам [7].

Однако, вследствие сложности залегания пластов и их строения, рядовой уголь характеризуется повышенной зольностью и увеличенным количеством мелких классов крупностью 0,5-1, 1-3 мм. В связи с этим обогащение по 3-м машинным классам стало менее эффективным, так как качество продуктов обогащения значительно снизилось [5, 11-13]. Следовательно, нужна новая шкала классификации с более узкими машинными классами. Создавая эту шкалу, в первую очередь необходимо определить нижнюю границу крупности гравитационного обогащения. Это можно сделать, исходя из разделительной способности флотации.

Руководствуясь данными табл. 1, в которой рассматривается гранулометрический состав отходов флотации коксовых фабрик Украины, можно прийти к выводу, что наиболее эффективно флотация работает на машинном классе с верхней границей крупности 0,25 – 0,5 мм. Классы большей крупности флотируются с меньшей эффективностью и имеют в отходах значительное содержание горючей массы.

Целью данной работы является обоснование для процессов обогащения угля новой шкалы классификации с большим количеством машинных классов углей.

Таблица 1 - Гранулометрический состав отходов флотации коксовых фабрик Украины

Фабрики	Год	Классы крупности, мм											
		0,5 – 1,0		0,25 – 0,5		0,16 – 0,25		0,08 – 0,16		– 0,08		Итого	
		γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %
Дзержинская	2004	0,6	4,3	3,94	5,5	0,44	5,9	10,8	26,5	84,2	80,7	100,0	71,1
Добропольская	1997	8,0	24,9	12,8	32,8	6,2	54,4	7,7	57,1	65,3	78,1	100,0	65,1
	1997	6,6	26,0	14,8	38,3	7,7	49,6	6,1	68,2	64,8	81,5	100,0	68,1
Дуванская	2003	1,1	5,8	3,6	8,4	3,2	21,8	5,1	38,5	87,0	71,3	100,0	64,0
	2004	0,6	19,1	1,1	48,1	1,6	62,0	5,8	72,5	90,9	80,8	100,0	73,7
Калининская	1999	2,1	28,8	8,2	50,0	9,1	51,4	15,8	51,7	64,8	72,3	100,0	64,4
Колосниковская	2004	1,3	15,8	3,9	17,6	4,0	24,0	8,2	42,6	82,6	78,0	100,0	69,8
Комсомольская	1997	0,4	34,6	1,4	47,7	2,6	61,9	11,5	69,5	83,3	71,6	100,0	70,2
Красноармейская	1998	3,0	36,3	2,7	47,4	2,7	74,4	4,8	71,0	86,8	78,1	100,0	75,6
Краснолиманская	1999	0,7	13,0	1,5	46,7	1,2	51,1	1,6	59,1	95,0	71,4	100,0	70,2
	2000	9,0	57,8	15,0	70,7	8,0	75,5	10,0	81,1	58,0	69,4	100,0	70,2
Криворожская	1996	-	-	2,4	18,8	2,6	22,1	13,2	54,1	81,8	79,5	100,0	73,2
Моспинская	1999	7,7	14,5	7,4	24,5	5,2	28,4	13,0	62,1	66,7	83,4	100,0	68,1
Октябрьская	1998	8,0	24,9	12,8	32,8	6,2	54,4	7,7	57,1	65,3	78,1	100,0	65,1
	2002	2,5	5,9	6,5	10,7	3,2	23,1	5,2	54,3	82,6	77,5	100,0	67,9
Самсоновская	2004	12,2	16,6	10,2	36,3	0,88	37,7	9,44	43,8	67,2	70,9	100,0	57,9
Селидовская	2002	-	-	4,8	2,8	3,4	4,1	6,1	10,6	85,7	81,3	100,0	70,6
Узловская	1997	2,1	63,3	4,7	41,5	7,2	50,4	25,9	57,3	60,1	63,8	100,0	60,1
Чумаковская	2000	1,8	17,3	3,2	23,6	2,0	40,6	4,4	63,4	88,6	82,1	100,0	77,4
	2004	2,0	16,7	3,5	35,4	2,2	59,2	7,0	77,9	84,6	85,4	100,0	80,6
Среднее		3,8	26,5	6,2	35,4	3,9	47,6	8,9	56,2	77,2	77,1	100,0	69,6

Анализ данных, приведенных в работах [4-6], а также данных табл. 1, показывает, что верхний предел флотационного обогащения целесообразно принять равным  $d = (0,25 + 0,5)/2 = 0,375$  мм. Этот предел будет также являться нижним пределом крупности угля при гравитационном методе обогащения.

Далее границы машинных классов определяются, исходя из классических теорий равнопадаемости зерен и определения скоростей их падения в свободных и стесненных условиях. Скорость движения минеральных зерен в среде имеет определяющее значение в гравитационных процессах разделения, от нее зависят кинетические константы и скорость разделения, производительность, качественные и количественные показатели разделения, конструктивные параметры машин и аппаратов.

Определение границ машинных классов при граничных плотностях (1350-2080 кг/м<sup>3</sup>) производится с использованием известных методов Стокса, Алена, Лященко, Риттингера, Фоменко, закона равнопадаемости [1]. Расширение границ применения известных формул в зависимости от крупности зерен возможно с помощью поправочных коэффициентов, определение которых и является предметом дальнейших исследований. Высокая точность совпадения расчетных и фактических скоростей свободного падения в этих исследованиях не требуется, т.к. на границы машинных классов значительно влияет рациональность загрузки применяемого оборудования, поэтому произведем расчет по известным формулам.

Разработанный авторами алгоритм определения диапазонов крупности машинных классов угля состоит из следующих этапов:

- определение скорости падения породного зерна;
- руководствуясь законом равнопадаемости, гласящего, что равнопадающими называются такие минеральные зерна, которые при разной плотности обладают одинаковой конечной скоростью падения в одной и той же среде, приравнивание скорости падения породного и угольного зерен;
- нахождение диаметра угольного зерна. Этот диаметр и будет являться верхней границей данного диапазона крупности машинного класса;
- принятие полученного диаметра зерна равным диаметру породной частицы и проведение расчета заново. Таким образом определится следующий диапазон крупности машинного класса.

В табл. 2 приведены диапазоны машинных классов, полученные расчетным путем по формулам Стокса, Алена, Лященко, Риттингера, Фоменко, закона равнопадаемости [1].

Выход диапазонов машинных классов определяется по кривой рис. 1, построенной на основании данных гранулометрического состава угля марки "К" ЦОФ "Чумаковская" шахты "Красноармейская-Западная №1 [7] (табл. 3).

Руководствуясь [8], определяющим стандартные размеры сит, объединим некоторые машинные классы, тем самым уменьшив их количество, и подсчитаем выходы полученных классов (табл. 4).

Используя полученные данные, а также рассчитав минимальную нагрузку основных обогатительных аппаратов, определим границы диапазонов машин-

ных классов и аппараты, которыми можно их обогащать.

Таблица 2 – Диапазоны машинных классов, определенные разными методами  
(По данным института УкрНИИУглеобогащения).

Методы								
Фоменко			Стокса			Алена		
№	Классы, мм	γ, %	№	Классы, мм	γ, %	№	Классы, мм	γ, %
1	-0,375	14,3	1	-0,375	14,3	1	-0,375	14,3
2	0,375-0,577	3,2	2	0,375-0,658	3,5	2	0,375-0,794	4,9
3	0,577-0,888	6,0	3	0,658-1,157	9,7	3	0,794-1,682	13,8
4	0,888-1,368	7,5	4	1,157-2,032	11,5	4	1,682-3,564	20,0
5	1,368-2,107	11,0	5	2,032-3,569	15,2	5	3,564-7,553	13,2
6	2,107-3,246	11,2	6	3,569-6,269	10,6	6	7,553-16,008	10,4
7	3,246-5,001	9,1	7	6,269-11,012	7,0	7	16,008-33,928	13,6
8	5,001-7,705	5,5	8	11,012-19,343	11,2	8	33,928-71,91	8,3
9	7,705-11,871	5,9	9	19,343-33,978	8,0	9	71,91-152,413	1,5
10	11,871-18,29	9,5	10	33,978-59,686	6,4	Итого		100
11	18,29-28,18	6,3	11	59,686-104,84	2,6			
12	28,18-43,418	4,7	Итого		100			
13	43,418-66,895	4,8						
14	66,895-103,06	1,0						
Итого		100						
Методы								
Лященко			Закон равнопадаемости			Риттингера		
№	Классы, мм	γ, %	№	Классы, мм	γ, %	№	Классы, мм	γ, %
1	-0,375	14,3	1	-0,375	14,3	1	-0,375	14,3
2	0,375-1,5	13,0	2	0,375-1,157	7,2	2	0,375-1,157	7,2
3	1,5-8,3	37,7	3	1,157-3,57	29,1	3	1,157-3,57	29,1
4	8,3-67	29,8	4	3,57-11,015	18,9	4	3,57-11,015	18,9
5	67-186	5,2	5	11,015-33,988	19,6	5	11,015-33,988	19,6
Итого		100	6	33,988-104,87	10,9	6	33,988-104,87	10,9
			Итого		100	Итого		100

Таблица 3 – Гранулометрический состав угля марки "К" ЦОФ "Чумаковская"

Класс, мм	γ, %	γ по "- ", %
50-100	5,31	100,0
25-50	7,34	94,69
13-25	11,39	87,35
10-13	5,35	75,96
6-10	6,42	70,61
3-6	17,45	64,19
1-3	23,20	46,74
0,5-1	11,88	23,54
0-0,5	11,66	11,66
Итого	100,0	

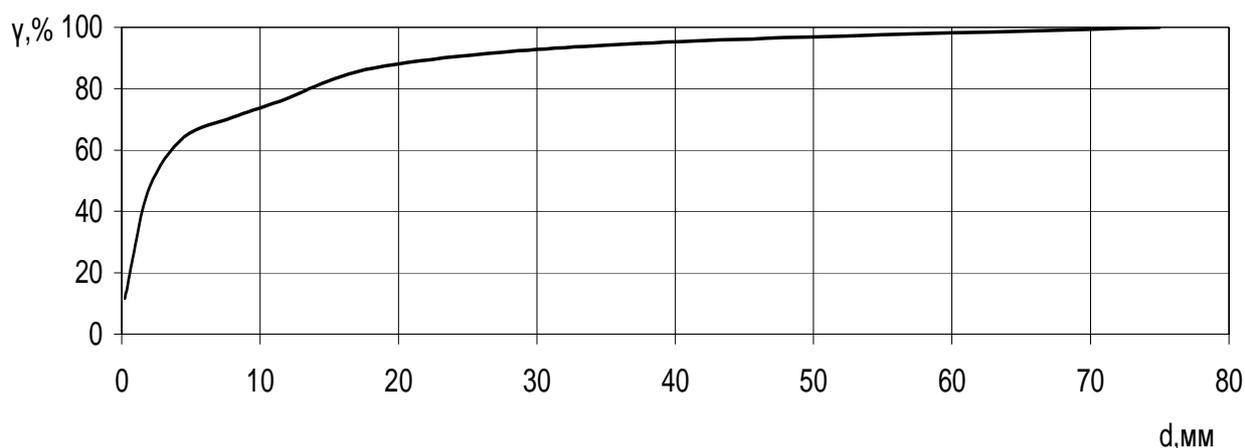


Рис. 1 – Кривая гранулометрического состава рядового угля ЦОФ „Чумаковская”

Таблица 4 - Корректировка диапазонов машинных классов

Сита	Методы					
	Фоменко	Стокса	Алена	Лященко	3-н равнопадае- мости	Риттингера
	γ, %	γ, %	γ, %	γ, %	γ, %	γ, %
+50	5,8	2,6	9,8	5,2	10,9	10,9
25-50	4,7	14,4	9,8	29,8	10,9	10,9
13-25	15,8	11,2	13,6		19,6	19,6
10-25	15,8	11,2			19,6	19,6
6-13	11,4	7,0	10,4			
6-10	11,4	7,0		37,7	18,9	18,9
3-6	9,1	10,6	13,2		18,9	18,9
2-6	20,3	25,8	33,2			
1-3	29,7	26,7	33,8	13,0	29,1	29,1
1-2	18,5	11,5	13,8			
0,4-1	9,2	13,2	4,9		7,2	7,2
-0,4	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3

Минимальная нагрузка  $Q_{min}$  на основные обогатительные аппараты составит

$$Q_{min} = \frac{Q_n}{Q_{cp}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $Q_n$  - производительность обогатительного аппарата [6];  $Q_{cp}$  - средняя часовая нагрузка коксовых обогатительных фабрик Украины.

Обработав практические данные [7] по производительности коксовых фабрик Украины за 2003 год, получим  $Q_{cp} = 405,2 \text{ т/ч}$ .

Используя формулу (1), определим минимальную нагрузку.

$Q_{min \text{ СКВ-12}}$  - 30,8% (тяжелосредный сепаратор);

$Q_{min \text{ ОМ-18}}$  - 29,6% (отсадочная машина);

$Q_{min \text{ СВ2-1000}}$  - 1,5% (винтовой сепаратор);

$Q_{min}$  ШВ2-1000 - 1,5% (винтовой шлюз);

$Q_{min}$  ФМУ-6 - 6,9% (флотационная машина).

Исходя из минимальной часовой нагрузки на основные обогатительные аппараты и используя данные табл. 4, определим практические диапазоны машинных классов и количество требуемого оборудования (табл. 5).

Таблица 5 – Практические диапазоны машинных классов

Методы							
Фоменко				Стокса			
Классы, мм	$\gamma$ , %	Оборудование	Кол-во шт.	Классы, мм	$\gamma$ , %	Оборудование	Кол-во шт.
+50 25-50 13-25	26,3	СКВ-12	1	+50 25-50 13-25	28,2	СКВ-12	1
6-13 2-6	31,7	ОМ-8	1	6-13 3-6	17,6	ОМ-8	1
1-2	18,5	СВ2-1000	2 по 6	1-3	26,7	СВ2-1000	3 по 6
0,4-1	9,2	ШВ2-1000	1 по 6	0,4-1	13,2	ШВ2-1000	2 по 4
-0,4	14,3	ФМУ-6	2	-0,4	14,3	ФМУ-6	2
Алена				Лященко			
Классы, мм	$\gamma$ , %	Оборудование	Кол-во шт.	Классы, мм	$\gamma$ , %	Оборудование	Кол-во шт.
+50 25-50 13-25	23,4	СКВ-12	1	+50 25-50 13-25	35,0	СКВ-12	1
6-13 3-6	23,6	ОМ-8	1	6-13 3-6	37,7	ОМ-8	1
1-3	33,8	СВ2-1000	4 по 6	1-3	13,0	СВ2-1000	2 по 4
0,4-1	4,9	ШВ2-1000	1 по 4	0,4-1			
-0,4	14,3	ФМУ-6	2	-0,4	14,3	ФМУ-6	2
Закон равнопадаемости				Риттингера			
Классы, мм	$\gamma$ , %	Оборудование	Кол-во шт.	Классы, мм	$\gamma$ , %	Оборудование	Кол-во шт.
+50 25-50 10-25	30,5	СКВ-12	1	+50 25-50 10-25	30,5	СКВ-12	1
6-10 3-6	18,9	ОМ-8	1	6-10 3-6	18,9	ОМ-8	1
1-3	29,1	СВ2-1000	5 по 4	1-3	29,1	СВ2-1000	5 по 4
0,4-1	7,2	ШВ2-1000	1 по 4	0,4-1	7,2	ШВ2-1000	1 по 4
-0,4	14,3	ФМУ-6	2	-0,4	14,3	ФМУ-6	2

Анализ табл. 5 показывает, что обогащение рядового угля целесообразно осуществлять 5-ю машинными классами: +13; 3-13; 1-3; 0,4-1; -0,4. Институтом

УкрНИИУглеобогащение разработаны технико-экономические обоснования использования предлагаемой технологии на ЦОФ "Добропольская", "Октябрьская", "Краснолиманская". Эти фабрики взяты потому, что данная технология приносит максимальный эффект в первую очередь при обогащении коксующихся углей [9, 14].

В качестве основного оборудования предлагается использовать сепараторы СВ-2-1000, винтовые шлюзы ШВ2-1000, ленточные классификаторы КЛ-2, гидроциклоны ГЦ-1,5, шламовые центрифуги ЦфШнГ-1,00-ВМ. Это оборудование разработано Институтами УкрНИИУглеобогащение и Гипромашуглеобогащение и изготавливается на отечественных предприятиях.

Расчетные данные [9] показывают, что экономический эффект после первого года внедрения составляет для данных фабрик не менее 1 млн.грн. в год, а срок окупаемости – от 0,3 до 1,1 года.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фоменко Т.Г. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых. - М: Недра, 1966.-332с.
2. Шохин В.Н. Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. - М: Недра, 1980. - 400с.
3. Справочник по обогащению углей./ Беренберг З.Н., Благов И.С., Борц М.А. и др. - М: Недра, 1984. - 614с.
4. Клешнин А.А., Кейтальгиссер И.Н., Рабинович Ю.М. Наладка, регулировка и эксплуатация фильтровальных отделений углеобогажительных фабрик. -М: Недра, 1985.-230с.
5. Бевзенко Б.Ф. О необходимости ситовой классификации питания флотации на углеобогажительных фабриках.// Збагачення корисних копалин: Наук.-техн.зб.-Вип.23(64).-2005.-С.69-73.
6. Полулях А.Д. Технологические регламенты углеобогажительных фабрик: Справ.-информ. пособие. - Днепропетровск: НГУ.-2002.-855с.
7. Технично-економический анализ работы углеобогажительных фабрик Украины за 2003 год.- Луганск: УкрНИИУглеобогащение, 2004.-95с.
8. ДСТУ 4082-2002. Паливо тверде. Ситовий метод визначення гранулометричного складу.
9. Полулях А.Д., Курченко И.П., Милай А.А. Об экономической эффективности обогащения рядовых углей пятью машинными классами.// Збагачення корисних копалин: Наук.-техн.зб.-Вип.10(51).-2000.-С.7-12.
10. Гофман Э. Обогащение крупного и мелкого угля // Обогащение каменного угля в ФРГ.- М.: Недра – 1964.-С.20-26.
11. Земляский П.П. Влияние характеристик исходного сырья и основных технологических параметров на качество конечных продуктов при обогащении угля в тяжелых суспензиях.// В кн.: Техника и технология обогащения углей. - М.: Недра, 1963. – С.102-123.
12. Самылин Н.А., Починков В.В. Влияние мелких классов на процесс отсадки.// В кн.: Техника и технология обогащения углей. - М.: Недра, 1963. –Т.2.- С.70-84.
13. Рожнова Е.Е. Влияние крупности угля на флотацию.// В кн.: Техника и технология обогащения углей. - М.: Недра, 1963. – С.128-148.
14. Полулях А.Д., Гончаренко А.Т. К вопросу обогащения угля пятью машинными классами.// Збагачення корисних копалин: Наук.-техн.зб.-Вип.7(48).-2000.-С.52-56.