

УДК 622.7.001.57:622.7.017:622.33

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ АПСАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.А. Кандинский, студент гр. ОПс-141, I курс

Научный руководитель: В.И. Удовицкий, д.т.н., проф., зав. кафедрой ОПИ
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Федорова,
г. Кемерово

При моделировании процессов гравитационного обогащения каменных углей применяется графический метод Тромпа [1, 2], основанный на вероятностном распределении фракций различной плотности между продуктами гравитационного разделения. Для процессов тяжелосреднего обогащения используется показатель среднего вероятного отклонения, обозначаемый E_{pm} (*I'Ecart probable moyen*) или E_p . Вероятное отклонение измеряется в единицах плотности на абсциссе кривой разделения. Если $E_p=0.09$, то это означает, что среднее вероятное отклонение плотности посторонних фракций в продуктах переработки от плотности разделения составляет 0.09.

Этот же показатель рекомендуется применять нормативным документом [3] для определения засорения продуктов обогащения посторонними фракциями.

Каждый гравитационный аппарат характеризуется своей кривой разделения, которая не зависит от качества исходного угля. Каждому типу аппарата, работающего в нормальных условиях, присуще свое определенное среднее вероятное отклонение, соответствующее кривой разделения данного аппарата.

Для нахождения E_p действующей обогатительной машины необходимо:

1. Согласно [4] определить фракционный состав продуктов переработки: концентрата, промпродукта и породы в диапазоне от 1.3 до 2.4 г/см³.
2. Рассчитать выходы продуктов переработки и в соответствии с ними выразить фракционный состав в процентах от исходного.
3. По фракционному составу продуктов рассчитать эквивалентный исходный материал, поступающий на данную операцию гравитационного разделения.
4. Определить разделительные числа для тяжелых продуктов двух плотностей разделения (для породы и микста).
5. Построить кривые Тромпа и найти величину абсцисс для плотностей ρ_{75} и ρ_{25} . По формуле вычислить значение среднего вероятного отклонения

$$E_p = (\rho_{75} - \rho_{25})/2.$$

Показатель E_p рекомендован международной организацией по стандартизации ISO для оценки эффективности разделения минеральных комплексов

в гравитационных полях и используется при прогнозировании практического баланса продуктов переработки.

Согласно действующему в настоящее время в Российской Федерации нормативному документу [3] засорение продуктов обогащения каменных углей следует принимать в тяжелосредних:

➤ сепараторах для крупности:

(1) • 25–300 мм $E_p = 0.01 \cdot \rho_p + 0.02$, г/см³;

(2) • 13–150 мм $E_p = 0.015 \cdot \rho_p + 0.02$, г/см³;

(3) • 6–100 мм $E_p = 0.025 \cdot \rho_p + 0.005$, г/см³;

(4) ➤ двухпродуктовых гидроциклонах $E_p = 0.03 \cdot \rho_p - 0.015$, г/см³;

Расчет выходов и зольностей продуктов переработки в гравитационных аппаратах выполняют по известным формулам:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot F(x_i); \quad A^d = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot A_i^d \cdot F(x_i)}{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot F(x_i)};$$

где n – количество фракций; $F(x_i)$ – значение интеграла вероятностей Гаусса (расчет значений интеграла для *Excel* и *TurboPascal* подробно рассмотрен в работах [5, 6]); γ_i , A_i^d – выход и зольность фракций; x_i – отклонение средней плотности фракций ρ_{cp} от намечаемой плотности разделения ρ_p :

$$x = \pm(\rho_p - \rho_{cp}) / E_p \cdot 0.675. \quad (5)$$

Знак плюс в формуле берут при определении извлечения фракций в концентрат и знак минус – в отходы.

В качестве сырьевой базы при моделировании гравитационных процессов использованы гранулометрический и фракционный составы коксующихся углей Апсатского месторождения [7], которые определены институтом СибНИИУглеобогащение (таблицы 1 и 2). Угли по машинным классам характеризуются очень трудной категорией обогатимости ($T=23.8$ % и 36.3 %) за исключением класса 0–2 мм, обогатимость которого средняя ($T=6.4$ %).

Таблица 1

Гранулометрический состав рядового угля по машинным классам

Классы, мм	Наименование продуктов	Выход, %	Зольность, %
более 100	Уголь	1,28	13,4
	Порода	1,28	92,2
	Итого	2,56	52,8
25–100	уголь	14,68	17,6
	порода	2,4	87,0
	Итого	17,08	27,4

2–25	Уголь	43,42	18,9
0–2	Уголь	36,94	15,0
Всего		100,0	19,8

Таблица 2

Фракционный состав рядового угля по машинным классам

Плотность фракций, кг/м ³	Выход, % к		Золь- ность, %	Всплывшие		Потонувшие	
	классу	рядовому		Выход, %	Зольн., %	Выход, %	Зольн., %
Класс более 100 мм							
Итого	100,0	2,56	52,8	-	-	-	-
Обогатимость очень трудная, T=36,3%							
Класс 25–100 мм							
Менее 1300	8,3	1,42	7,4	8,3	7,4	100,0	27,4
1300–1400	45,4	7,75	13,1	53,7	12,2	91,7	29,2
1400–1500	20,8	3,55	20,9	74,5	14,6	46,3	44,9
1500–1600	6,3	1,08	27,3	80,8	15,6	25,5	64,5
1600–1800	3,5	0,6	38,8	84,3	16,6	19,2	76,7
Более 1800	15,7	2,68	85,1	100,0	27,4	15,7	85,1
Итого	100,0	17,08	27,4	-	-	-	-
Обогатимость очень трудная, T=36,3%							
Класс 2–25 мм							
Менее 1300	33,0	14,32	5,6	33,0	5,6	100,0	18,9
1300–1400	36,5	15,85	12,1	69,5	9,0	67,0	25,5
1400–1500	14,3	6,21	20,8	83,8	11,0	30,5	41,5
1500–1600	4,9	2,13	29,1	88,7	12,0	16,2	59,7
1600–1800	2,5	1,09	37,4	91,2	12,7	11,3	72,9
Более 1800	8,8	3,82	83,0	100,0	18,9	8,8	83,0
Итого	100,0	43,42	18,9	-	-	-	-
Обогатимость очень трудная, T=23,8%							
Класс 0-2 мм							
Итого	100,0	36,94	15,0	-	-	-	-
Обогатимость - средняя, T=6,4%							

Исходя из размеров машинных классов, принимаем обогащение классов:

- >25 мм в тяжелосреднем сепараторе, E_p рассчитываем по формуле (1);
- мелкого (2–25 мм) – в тяжелосреднем гидроциклоне, E_p рассчитываем по формуле (4).

Учитывая высокую зольность класса >100 мм ($A^d=52,8\%$) и небольшой выход ($\gamma=2,56\%$), моделировать процесс его дробления не сочли нужным.

Распределение фракций угля в продукты обогащения проведены вероятностными методами в Microsoft Excel с использованием функции *НОРМ-*

$СТРАСП(z)$, которая возвращает стандартное нормальное интегральное распределение. Это распределение имеет среднее, равное нулю, и стандартное отклонение, равное единице. Данная функция используется вместо таблицы площадей стандартной нормальной кривой. Синтаксис $НОРМСТРАСП(z)$, где z – значение, для которого строится распределение. Замечания: Если z не является числом, функция $НОРМСТРАСП$ возвращает значение ошибки #ЗНАЧ!. Уравнение плотности стандартного нормального распределения имеет следующий вид: $f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$. В нашем случае z – отклонение плотности разделения от средней плотности фракций, определяемое по формуле (5).

Согласно [2, 3, 6] рассчитаны технологические показатели для получения концентрата при плотностях разделения 1,35; 1,40; 1,45 и 1,50 г/см³; породы при плотности разделения 1,80 г/см³. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Технологические показатели обогащения Апсатского угля в тяжелых средах

Наименование продуктов	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %
Класс 25–100 мм								
Концентрат	5,34	11,73	8,50	12,67	10,78	13,67	12,29	14,53
Промпродукт	9,04	19,42	5,88	22,18	3,60	25,22	2,09	28,56
Отходы	2,70	84,71	2,70	84,71	2,70	84,71	2,70	84,71
Итого:	17,08	27,35	17,08	27,35	17,08	27,35	17,08	27,35
Класс >100 мм	2,56	52,80	2,56	52,80	2,56	52,80	2,56	52,80
Класс 2–25 мм	43,42	18,91	43,42	18,91	43,42	18,91	43,42	18,91
Шлам 0–2 мм	36,94	15,01	36,94	15,01	36,94	15,01	36,94	15,01
Всего:	100,00	19,78	100,00	19,78	100,00	19,78	100,00	19,78
Класс 2–25 мм								
Концентрат	22,07	8,03	28,61	9,16	32,93	10,12	35,72	10,93
Промпродукт	17,49	18,59	10,95	21,95	6,63	25,50	3,84	29,17
Отходы	3,86	82,51	3,86	82,51	3,86	82,51	3,86	82,51
Итого:	43,42	18,91	43,42	18,91	43,42	18,91	43,42	18,91
Класс >25 мм	19,64	30,66	19,64	30,66	19,64	30,66	19,64	30,66
Шлам 0–2 мм	36,94	15,01	36,94	15,01	36,94	15,01	36,94	15,01
Всего:	100,00	19,78	100,00	19,78	100,00	19,78	100,00	19,78
ρ_p для концентрата	1,35		1,40		1,45		1,50	
ρ_p для породы	1,80		1,80		1,80		1,80	

Выводы:

1. Для машинного класса 25–100 мм возможно получение концентрата зольностью от 11,7 до 14,5 %, выходом от 5,3 до 12,3 %.

2. Класс 2–25 мм разделяется лучше: зольность концентрата в пределах $8,0 \div 10,9$ %; выход $22,1 \div 35,7$ %.

3. Особый интерес вызывает шлам крупностью < 2 мм, который при лучшей обогатимости среди других классов ($T=6.4$ %) имеет выход 36,9 % и зольность 15,0 %. Можно предположить, что для Апсатских углей целесообразно перейти на машинный класс 0.5(1)–25 мм, в этом случае возможно получение концентрата зольностью от 7 до 8 %.

4. Необходимо провести дополнительные исследования сырьевой базы, связанные с определением гранулометрического и фракционного составов коксующихся углей Апсатского месторождения по классам крупности: 50–100, 25–50, 13–25, 6–13, 3–6, 1–3, 0.5–1.0, 0.1–0.5 и 0–0.1 мм. Это позволит определить оптимальный размер машинных классов для гравитационных процессов обогащения.

Список литературы

1. Tromp K. Neue Wege fur die Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohlen // Gluckauf. 1937. – № 73. – С. 125–131.

2. Артюшин С.П. Сборник задач по обогащению углей. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: «Недра», 1979. – 223 с.

3. ВНТП 3-92 «Временные нормы технологического проектирования обогатительных фабрик».

4. ГОСТ 4790-93 «Топливо твердое. Определение и представление показателей фракционного анализа. Общие требования к аппаратуре и методике».

5. Кандинский В.А. Вычисление интеграла Гаусса при моделировании технологических процессов обогащения каменных углей. Сборник материалов VI Всерос., 59-й научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 22-25 апр. 2014 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.: В. Ю. Блюменштейн (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2014.

6. Экономико-математическое моделирование процессов и технологий обогащения полезных ископаемых: учебное пособие [Электронный ресурс]: для студентов специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых» / В.И. Удовицкий, С.О. Шутов, И.А. Королев, В.А. Кандинский – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); зв.; цв.; 12 см. – Системн. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 2000; (CD-ROM)–дисковод); мышь. – Загл. с экрана.