

УДК 622.7; 622.788: 658.512

**В.А. Козлов, Е.В. Козлов**

**ВЫБОР НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ  
ОЦЕНКИ ОБОГАТИМОСТИ УГЛЕЙ  
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

*Рассмотрены наиболее эффективные методы оценки обогатимости углей: метод ГОСТ 10100-84 (РФ) и метод Бэрда (США). Даны предложения по их развитию для практического применения при исследовании углей на обогатимость. Ключевые слова: фракционный состав угля, кривые обогатимости, зольность, плотность разделения, показатель (критерий) обогатимости угля.*

**П**оказатели или критерии обогатимости являются важным инструментом исследования способности углей разделяться на продукты заданного качества, что позволяет составить рациональную структуру технологической схемы для новой обогатительной фабрики [1].

К настоящему времени разработано множество аналитических и графических методов оценки обогатимости углей и определения плотности оптимального разделения на продукты, например, по условию минимального засорения посторонними фракциями (методы Майера Ф., Фоменко Т.Г. и др.). Но в практической работе при исследовании углей при составлении схем обогатительных фабрик, как правило, в первую очередь необходимо выполнить требования технического задания к качеству продукции. В этом случае, оказывается, что разделение угля необходимо проводить по плотности, несколько отличающейся от оптимальной плотности, рекомендуемой этими методами.

Кроме того, при расчете результатов обогащения угля в определенном обогатительном аппарате из-за по-

грешности разделения этого аппарата приходится смешать плотность разделения, определенную при теоретических исследованиях кривых обогатимости угля. Это смещение фактической плотности разделения от теоретической обусловлено нелинейным характером кривой обогатимости угля и принципиально необходимо для обеспечения заданной зольности концентрата. Обычно смещение фактической плотности разделения от плотности, определенной при расчете теоретического баланса продуктов, производится в сторону уменьшения. Величина этого смещения зависит как от характера кривых обогатимости угля, так и от погрешности разделения в данном обогатительном аппарате.

После долгого затишья в исследованиях по практическому применению критериев обогатимости для исследования углей, в последнее время наблюдаются попытки по возобновлению работ в этой важной области углеобогащения [2]. Но дальше общего описания и оценки существующих методов эти исследования не продвинулись, что обусловлено, вероятно, недостаточным опытом практического

анализа и отсутствием методик применения этих критериев в изучении углей и их использования в процессе проектирования новых обогатительных фабрик.

Основным условием выбора критериев для практического использования при исследовании обогатимости углей должно быть понимание цели применения выбранного критерия и практическая рациональность методики его использования.

Мы считаем, что результатом исследования обогатимости угля является построение технологической схемы, структура которой должна обеспечить получение максимального выхода концентрата заданного качества при минимальных экономических затратах. Соответственно количество технологических процессов в схеме должно стремиться к минимально возможному значению.

Фактически все существующие методы оценки обогатимости углей, в том виде, в котором они описаны авторами, не могут быть рекомендованы для практического использования, т.к. большинство из них допускают те или иные допущения и погрешности. Это иногда приводит к неправильным выводам по обогатимости углей и, как следствие, к ошибкам при проектировании технологических схем углеобогатительных фабрик.

Наибольшая точность присуща графическим методам, использующим кривые обогатимости угля. Например, методика построения кривых обогатимости угля изложена в ГОСТ 4790-93 [3]. Обычно кривые обогатимости строят «ручным» способом, но для интенсификации процесса изучения большого количества данных необходимо использование программного обеспечения для построения кривых обогатимости и их анализа компьютерными методами.

Так, в работе [2] из всех методов по исследованию обогатимости углей был выбран метод Герашенко К.Д., основанный на аналитическом описании кривых обогатимости. Он предложил кривую  $\lambda$  разбить на три участка, при этом каждый участок кривой описывается своим уравнением. Однако, по нашему мнению, данный подход обладает тем недостатком, что трудно обеспечить гладкую состыковку участков кривой, описываемой разными уравнениями, к тому же имеющими разную кривизну, заметную глазом при оценке гладкости кривой обогатимости в целом.

Этих недостатков лишен компьютерный способ построения 4-х основных кривых обогатимости (зольностей элементарных слоев  $\lambda$ , средней зольности концентрата  $\beta$ , средней зольности отходов  $\theta$ , плотностей  $\delta$ ) и кривой Бэрда, основанный на аппроксимации исходных данных кубическими сплайнами, который был разработан авторами статьи в компании СЕТСО. Кривые обогатимости, построенные с помощью компьютерных методов, представлены на рис.1. С этими кривыми можно проводить с достаточной точностью все необходимые вычисления.

На территории СНГ получил распространение при исследовании углей аналитический показатель обогатимости, который вычисляется по методике ГОСТ 10100-84 [4]. Но как показано в работе [1] практическое использование этого показателя обогатимости в том виде, как он описан, может приводить к ошибкам в оценке обогатимости угля и, соответственно, к выбору неправильной структуры технологической схемы обогатительной фабрики. Если учесть метод Зайнудинова Ф.А., согласно которому обогатимость угля определяется выходом легких фрак-

ций  $\gamma_d$  концентрата при заданной зольности, то можно усовершенствовать методику, описанную в ГОСТ 10100-84. Для этого, мы предлагаем определять выход концентратных и промежуточных фракций в зависимости от заданной зольности концентрата графическим способом по кривым обогатимости угля. Тогда нижней границей промежуточных фракций будет плотность, при которой выделяем концентрат, заданной зольности, а не 1400 или 1500 кг/м<sup>3</sup>, как принято в ГОСТ. И затем аналитически по формуле вычисляется показатель обогатимости аналогично по формуле ГОСТ.

В США и Австралии для определения обогатимости угля используется метод Бэрда, согласно которому графическим способом вычисляется содержание посторонних фракций в пределах близких гравитационных уровней  $\pm 100$  кг/м<sup>3</sup> от плотности разделения. Согласно этому методу, обогатимость углей определяется количеством материала, которое содержится в пределах  $\pm 100$  кг/м<sup>3</sup> выше и ниже принятой плотности разделения данного угля на составляющие компоненты. Указанные пределы отклонения от разделительной плотности приняты Бэрдом на основании экспериментальных данных, полученных в 20-ые года прошлого века. Например, если разделительная плотность равна 1700 кг/м<sup>3</sup>, то все сводится к определению количества материала, содержащегося в диапазоне плотностей 1600-1800 кг/м<sup>3</sup>. Кривая отклонения близких гравитационных уровней  $\pm 100$  кг/м<sup>3</sup> также показана на рис. 1.

Относительно выбора пределов отклонения близких гравитационных уровней от разделительной плотности равными  $\pm 100$  кг/м<sup>3</sup>, принятые Бэрдом, можно сделать два замечания.

Таблица 1

**Показатель трудности обогащения по методу Бэрда**

Выход фракций в пределах близких гравитационных уровней $\pm 100$ кг/м <sup>3</sup> от плотности разделения, %	Категория
менее 7	Легкая
7 — 10	Умеренная (средняя)
10 — 15	Трудная
15 — 20	Очень трудная
20 — 25	Весьма трудная
более 25	Значительной трудности

Первое, точность измерения плотности разделительной среды должна быть менее 100 кг/м<sup>3</sup>. Второе, кроме точности измерения плотности разделения необходимо учитывать погрешность разделения угля в выбранном обогатительном аппарате. Так, Курбатов В.П. в своем методе, обогатимость определяет по сумме выхода посторонних фракций в пределах  $\pm 4E_{mp}$  от плотности разделения. Проблема заключается в относительно сложных расчетах вычисления количества посторонних фракций. С точки зрения текущего уровня развития теории углеобогащения, представляется более логичным принять границы близких гравитационных уровней равными среднему вероятному отклонению  $\pm E_{mp}$  кг/м<sup>3</sup> от разделительной плотности. Естественно, что среднее вероятное отклонение должно относиться к применяемому в технологической схеме обогатительному аппарату. Однако, в этом случае, необходимо будет пересмотреть и приведенную выше таблицу определения категорий обогатимости угля по методу Бэрда.

Для нижеприведенного состава угля в табл. 2 построены кривые обогатимости и кривая Бэрда (рис. 1).

Таблица 2

Плотность фракций, кг/м <sup>3</sup>	Среднее значение плотности фракций	Выход $\gamma$ , %	Зольность $A^d$ , %	Суммарные данные			
				всплывшие фракции		потонувшие фракции	
				$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %
1250-1300	1275	33,73	8,22	33,73	8,22	100,0	26,80
1300-1400	1350	28,69	16,91	62,42	12,21	66,27	36,26
1400-1500	1450	10,43	27,32	72,85	14,38	37,58	51,03
1500-1600	1550	5,61	35,45	78,46	15,88	27,15	60,14
1600-1800	1700	4,96	47,05	83,42	17,74	21,54	66,57
1800-2000	1900	4,61	59,84	88,03	19,94	16,58	72,41
2000-2400	2200	7,18	71,24	95,21	23,81	11,97	77,25
2400-2800	2600	4,79	86,27	100,0	26,80	4,79	86,27
Итого:		100,0	26,80				

Таблица 3

Наименование продукта	Выход $\gamma$ , %	Зольность $A^d$ , %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Концентрат	58,15	11,50	<1375
Промежуточные фракции	25,27	32,08	1370—1800
Отходы	16,58	72,41	>1800
<b>Итого:</b>	<b>100,0</b>	<b>26,80</b>	

Для приведенного состава угля показатель обогатимости согласно ГОСТ 10100-84 при плотности промежуточных фракций 1400-1800 кг/м<sup>3</sup> будет равен  $T_1 = 100 \cdot 21,0 / 83,42 = 25,2$  %. Уголь относится к очень трудной категории обогатимости (IV).

Например, согласно техническому заданию на проектирование из приведенного угля необходимо получить концентрат для энергетики зольностью 11,5 %. Теоретический выход концентрата составит 58,15 % при плотности разделения 1375 кг/м<sup>3</sup> (см. рис. 1). Тогда к промежуточным фракциям, по аналогии с ГОСТ, относятся фракции уже в диапазоне плотностей 1375-1800 кг/м<sup>3</sup> (табл. 3).

В этом случае скорректированный показатель обогатимости будет  $T_2 = 100 \cdot 25,27 / 83,42 = 30,3$  %. Это несколько выше значения  $T_1$ , что говорит об ухудшении обогатимости

при переходе с плотности разделения 1400 на более низкую плотность 1375 кг/м<sup>3</sup>, так как количество промежуточных фракций во втором случае будет больше.

Показанную зависимость обогатимости угля от плотности разделения наглядно можно увидеть на кривой Бэрда (рис. 1).

Чтобы определить категорию обогатимости необходимо при выбранной плотности разделения сверху от шкалы плотностей провести перпендикуляр до пересечения с кривой ближних гравитационных уровней (кривой Бэрда) и далее от точки пересечения горизонтальную линию до пересечения с левой осью суммарного выхода всплывших фракций. Точка пересечения с левой осью покажет выход фракций в диапазоне ближних гравитационных уровней и далее по табл. 1 определяем категорию обогатимости по методу Бэрда.

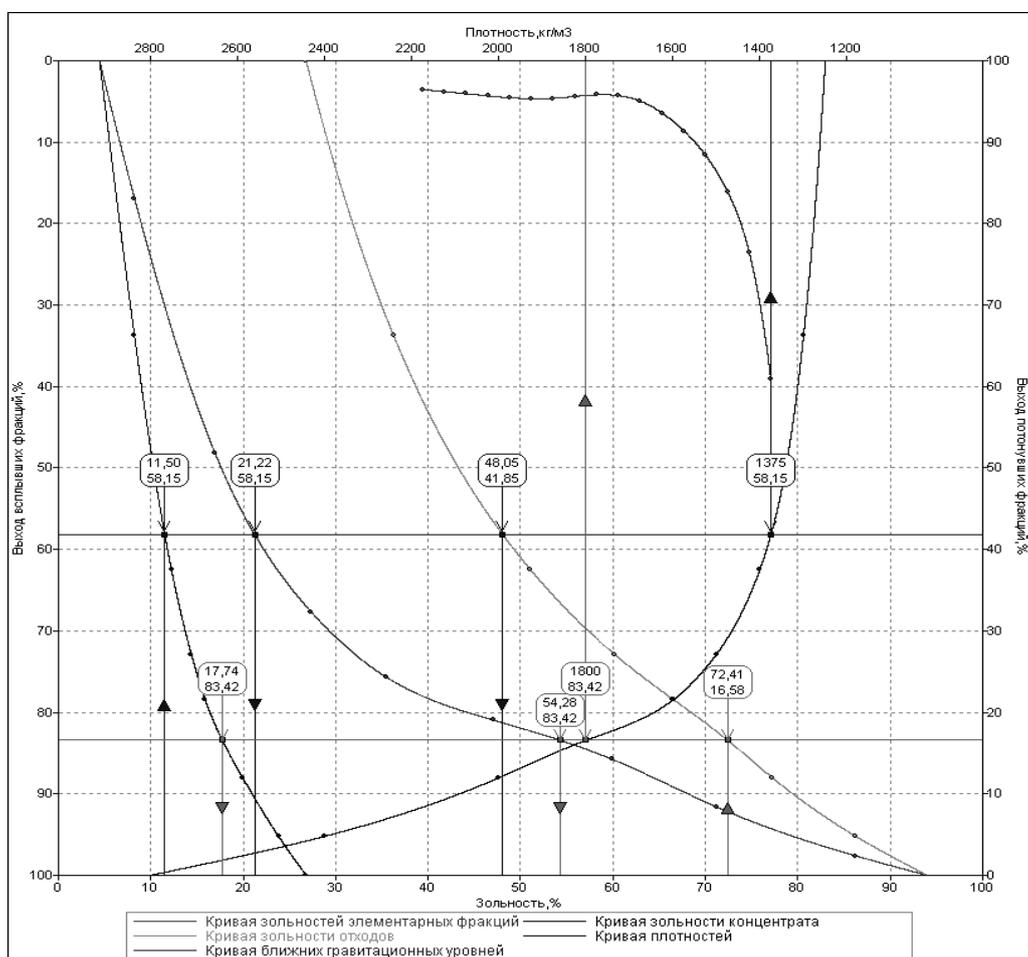


Рис. 1. Кривые обогатимости угля с кривой оценки обогатимости по Бэрду

Так, при плотности выделения концентрата  $1375 \text{ кг/м}^3$  выход фракций в диапазоне ближних гравитационных уровней составит 39 %, что соответствует последней категории «значительной» трудности обогатимости.

Можно отметить, что если метод ГОСТ 10100-84 определяет общую обогатимость угля, то метод Бэрда имеет большую практическую значимость, так как учитывает плотность разделения угля. Например, при плотности разделения  $1800 \text{ кг/м}^3$  выход фракций в диапазоне ближних гравитационных уровней составит

менее 7 %, что соответствует первой «легкой» категории обогатимости угля. Таким образом, рассматриваемый уголь при плотности разделения  $1375 \text{ кг/м}^3$  относится к категории «значительной» трудности обогатимости, а при плотности разделения  $1800 \text{ кг/м}^3$  относится к категории «легкой» обогатимости.

### Заклучение

Среди множества методов определения показателей обогатимости для практического применения наиболее распространенными являются два метода –

аналитический метод, описанный в ГОСТ 10100-84, и графический метод построения кривой Бэрда.

Для практического применения при исследовании углей и оценки их общей обогатимости рекомендуется применять усовершенствованный метод ГОСТ 10100-84, в котором нижняя граница плотности промежуточных фракций определяется графическим способом по кривым обогатимости по заданной зольности концентрата.

Метод Бэрда, согласно которому графически определяется категория обогатимости угля с учетом плотности разделения, позволяет наглядно оце-

нить влияние плотности разделения на обогатимость угля. Если в методе Бэрда заменить пределы отклонения ближних гравитационных уровней от разделительной плотности  $\pm 100 \text{ кг/м}^3$  на значение среднего вероятного отклонения  $\pm E_{тр}$   $\text{кг/м}^3$ , применяемого в технологической схеме обогатительного аппарата, то практическая значимость метода возрастет. В этом случае, в методе Бэрда будут учитываться все важные параметры, влияющие на обогащение угля: фракционный состав угля, плотность разделения и среднее вероятное отклонение, присущее применяемому обогатительному аппарату.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В.А. Показатель обогатимости, как инструмент исследования фракционного состава угля. ГИАБ. № 9.М.: Изд-во МГГУ, 2010.

2. Кушина О.А. (Рук. проф. Назимко Е.И.). Оценка обогатимости углей по методу К.Д.Герашенко. Сборник тезисов докладов конференции молодых обогатителей Ук-

раины (25 апреля 2007 г.) — Донецк: ДонНТУ, 2007.

3. ГОСТ 4790-93 (ИСО 7936:1992). Топливо твердое. Определение и представление результатов фракционного анализа. Общие требования к аппаратуре и методике.

4. ГОСТ 10100—84. Угли каменные и антрацит. Метод определения обогатимости. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Козлов В.А. – кандидат технических наук, доцент, главный технолог ООО «Коралайна Инжиниринг» (СЕТСО),

Козлов Е.В. – инженер-программист.



---

#### НОВОСТИ «ГОРНОЙ КНИГИ»



Л.Х. Гитис, директор издательства «Горная книга», выступил с предложением о создании нового «Корпуса горных инженеров». Подробности читайте в блоге Леонида Хаскелевича <http://lgitis.livejournal.com> на страницах Live Journal. Будем Вам благодарны, если своё мнение Вы отразите в комментариях.