

**В.А. Козлов**

**ПОКАЗАТЕЛЬ ОБОГАТИМОСТИ, КАК ИНСТРУМЕНТ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА УГЛЯ**

*Приведены результаты исследования изменения показателя обогатимости, определяемого согласно ГОСТ 10100—84, для исходных пластовых проб угля и дробленного угля Эльгинского каменноугольного месторождения. Выявлены ограничения методики, применяемой в ГОСТе. Разработана методика вычисления показателя обогатимости, требующая внесения дополнений в ГОСТ 10100.*

*Ключевые слова: показатель обогатимости, фракционный состав угля, кривые обогатимости, зольность концентрата, плотность разделения на фракции.*

**П**оказатель обогатимости  $T$ , согласно общепринятой в России методики, описанной в ГОСТ 10100—84 [1], вычисляют как отношение выхода промежуточных фракций к беспородной массе по формуле:

$$T = \frac{\gamma_{\text{пром}}}{100 - \gamma_n} 100, \% \quad (1)$$

где  $\gamma_{\text{пром}}$  — выход фракций промежуточного продукта, %;  
 $\gamma_n$  — выход фракций породы, %.

В зависимости от значения показателя обогатимости уголь относится к следующим категориям:

$T < 5$  — 1 (легкая),  $T = 5—10$  — 2 (средняя),  $T = 10—15$  — 3 (трудная),  $T > 15$  — 4 (очень трудная).

Фракции делят в соответствии с условием [1]:

Для каменного угля к концентрату относят фракции менее  $1500 \text{ кг/м}^3$ , к промпродукту — фракции  $1500—1800 \text{ кг/м}^3$  и к породе фракции плотностью свыше  $1800 \text{ кг/м}^3$ .

Для антрацита к концентрату относят фракции менее  $1800 \text{ кг/м}^3$ , к промпродукту — фракции  $1800—2000 \text{ кг/м}^3$  и к породе фракции плотностью свыше  $2000 \text{ кг/м}^3$ .

При зольности легких фракций каменных углей свыше 10 % и плотности до  $1500 \text{ кг/м}^3$  к концентрату относят фракции плотностью до  $1400 \text{ кг/м}^3$ , а к промпродукту — фракции плотностью от  $1400$  до  $1800 \text{ кг/м}^3$ .

Такое определение нижней границы промежуточных фракций с шагом  $100 \text{ кг/м}^3$  между значениями  $1400$  и  $1500 \text{ кг/м}^3$  иногда приводит к ошибкам в вычислении значения показателя обогатимости. Эти ошибки обусловлены в первую очередь использованием данных, полученных по общепринятой методике проведения фракционного анализа [2], согласно которой рекомендуется в лаборатории проводить фракционное деление с шагом  $100 \text{ кг/м}^3$ .

Например, ниже в табл. 1 приведены фракционные составы коксующегося угля пласта Н15 Эльгинского каменноугольного месторождения, расположенного в Южной Якутии.

В табл. 1 приведены значения показателя обогатимости вычисленного на плотность концентратных фракций  $1400 \text{ кг/м}^3$ :  $T=35,5 \%$  — для исходного угля крупностью  $0-100$  мм и  $T=19,5 \%$  — для дробленного угля крупностью  $0-3$  мм. В обоих случаях уголь относится очень трудной категории обогатимости. Выход концентрата при плотности разделения  $1400 \text{ кг/м}^3$  после дробления увеличился с  $46,4 \%$  до  $54,1 \%$ , а зольность концентрата уменьшилась с  $11,3 \%$  до  $8,7 \%$ .

Если принять для дробленного угля границу концентратных фракций  $1500 \text{ кг/м}^3$ , то выход концентрата дробленного угля будет уже  $60,6 \%$  зольностью  $10,3 \%$ . Значение показателя обогатимости в этом случае для дробленного угля составит  $T=9,8 \%$ , что относит дробленный уголь уже к средней категории обогатимости. Как видим, разница значительная.

Логично, что если бы фракционный анализ был выполнен с шагом фракций  $50 \text{ кг/м}^3$ , нижняя граница промежуточных фракций, для которых зольность концентрата была бы менее  $10 \%$ , определялась бы одним из следующих значений:  $1350$ ,  $1400$ ,  $1450$  или  $1500 \text{ кг/м}^3$ . Результатом более точного вычисления нижней границы промежуточных фракций стало бы и более точное вычисление значения показателя обогатимости и, соответственно, более точная оценка обогатимости угля.

На практике фракционный анализ это достаточно трудоемкий процесс, и зачастую проводят ограниченное количество расслоений в тяжелых жидкостях. Поэтому, как правило, в данных по фракционному анализу угля присутствуют плотности расслоения  $1400$  и  $1500 \text{ кг/м}^3$ , иногда  $1300 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 1

**Фракционные составы коксующегося угля пласта Н15  
крупностью 0—100 мм до дробления и после дробления до -3 мм**

Плотность фракций, кг/м <sup>3</sup>		Пластовая проба		Дробленный до -3 мм	
		выход,%	золин.,%	выход,%	золин.,%
менее	1300	25,57	7,00	33,7	5,1
	1300	1400	20,84	16,61	20,4
	1400	1500	11,39	27,21	6,5
	1500	1600	7,58	34,80	3,2
	1600	1800	6,61	47,19	3,4
	1800	2000	6,15	59,54	3,3
более	2000	21,86	78,68	29,5	79,8
Итого:		100,0	35,0	100,0	34,2
Обогатимость при плотности 1400 кг/м <sup>3</sup> T, %		35,5	—	19,5	—
Выход концентрата при плотности 1400 кг/м <sup>3</sup>		46,4	11,3	54,1	8,7
Обогатимость при плотности 1500 кг/м <sup>3</sup> T, %		—	—	9,8	—
Выход концентрата при плотности 1500 кг/м <sup>3</sup>		—	—	60,6	10,3

Но существует менее затратный математический метод, позволяющий рассчитать выхода и зольности узких фракций. Этот метод предполагает графическое построение кривых обогатимости по методике, приведенной в ГОСТ 4790—80, и применением различных вычислительных методов на базе компьютерных технологий с погрешностью, которая будет определяться точностью построения кривых обогатимости по данным фракционного анализа, то есть точностью аппроксимации исходных данных. Погрешность вычисления значения выхода концентрата по условию, что его зольность будет менее 10 %, в случае применения аппроксимации кубическими сплайнами оценивается значением менее 5 кг/м<sup>3</sup>. При этом графически вычисляется и плотность разделения, при которой это условие выполняется.

Таблица 2

**Фракционные составы коксующегося угля пласта Н16  
крупностью 0—100 мм до дробления и после дробления до -3 мм**

Плотность фракций, кг/м <sup>3</sup>		Пластовая проба		Дробленный до -3 мм	
		выход,%	зольн.,%	выход,%	зольн.,%
менее	1300	35,18	7,97	26,4	4,2
	1300	34,59	15,69	34,2	13,0
	1400	10,31	25,08	14,3	19,9
	1500	4,03	32,52	5,0	29,4
	1600	4,06	42,48	3,9	35,8
	1800	3,81	62,97	2,6	48,5
	2000	8,02	76,29	13,6	73,6
более	2000				
Итого:		100,0	22,4	100,0	22,5
Обогатимость при плотности 1400 кг/м <sup>3</sup> T, %		20,9	—	27,7	—
Выход концентрата при плотности 1400 кг/м <sup>3</sup>		69,8	11,8	60,6	9,2
Обогатимость при плотности 1500 кг/м <sup>3</sup> T, %		—	—	10,6	—
Выход концентрата при плотности 1500 кг/м <sup>3</sup>		—	—	74,9	11,2

Применение графического метода будет способствовать и более точному вычислению значения показателя с погрешностью менее 5 кг/м<sup>3</sup>, по сравнению с методом, принятым в ГОСТ 4790—80 и шагом разбиения диапазона плотностей 100 кг/м<sup>3</sup>.

В выше приведенном примере мы наблюдаем, что для дробленного угля при верхней границе концентратных фракций 1400 кг/м<sup>3</sup> показатель обогатимости равен 19,5 %, а при плотности 1500 кг/м<sup>3</sup> показатель обогатимости равен 9,8 %. Как видим, наблюдается существенная разница в значениях показателя обогатимости в 2 раза. И уголь, относящийся фактически к средней категории обогатимости, будет отнесен к очень трудной категории обогатимости.

В связи с этим, было бы правильнее определить по кривым обогатимости точное значение граничной плотности при которой зольность концентратных фракций будет равной 10 %, и уже для этой плотности определять точное значение показателя обогатимости (категорию обогатимости).

Для приведенного примера более точное значение показателя обогатимости позволило бы оценить влияние дробления угля на раскрываемость сростков и, тем самым, увеличение выхода концентрата. Приведем еще один пример, для которого сказанное наиболее ярко выражено.

В табл. 2 приведены фракционные составы угля другого пласта Н16 Эльгинского каменноугольного месторождения.

В табл. 2 приведены значения показателя обогатимости вычисленного на плотность концентратных фракций  $1400 \text{ кг/м}^3$ :  $T=20,9 \%$  — для исходного угля крупностью 0—100 мм и  $T=27,7 \%$  — для дробленного угля крупностью 0—3 мм. В обоих случаях уголь относится очень трудной категории обогатимости. В данном случае выход концентрата при плотности разделения  $1400 \text{ кг/м}^3$  уменьшился с 69,8 % до 60,6 %, а зольность концентрата уменьшилась с 11,8 % до 9,2 %.

Если принять для дробленного угля границу концентратных фракций  $1500 \text{ кг/м}^3$ , то выход концентрата дробленного угля будет уже 74,9 % зольностью 11,2 %. Значение показателя обогатимости в этом случае для дробленного угля составит  $T=10,6 \%$ , что относит дробленный уголь к границе между средней и трудной категориями обогатимости. Как видим, разница также значительная. Но так как зольность концентрата дробленного угля при плотности  $1500 \text{ кг/м}^3$  составляет 11,2 %, что значительно более установленного значения 10 %, то мы, согласно [1], должны принять плотность разделения для концентрата  $1400 \text{ кг/м}^3$ . И, следовательно, принять значение показателя обогатимости 27,7 %, что даже больше значения исходного не дробленного угля. Это противоречит здравой научной логике: при дроблении сростки угля раскрываются, что улучшает обогатимость угля.

Построим для фракционного состава угля исходной валовой пробы (табл. 2) кривые обогатимости по методике [2] и определим точную плотность разделения при которой зольность легких концентратных фракций будет равна 10 %.

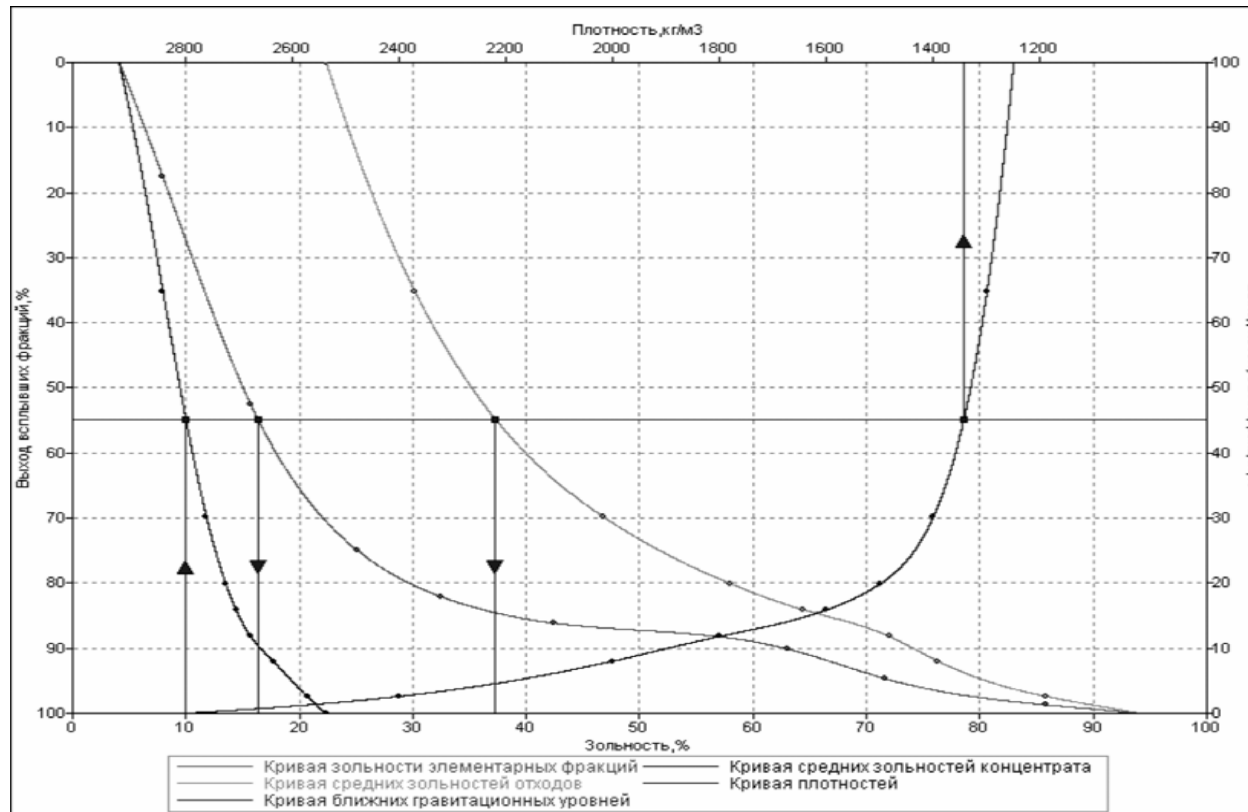
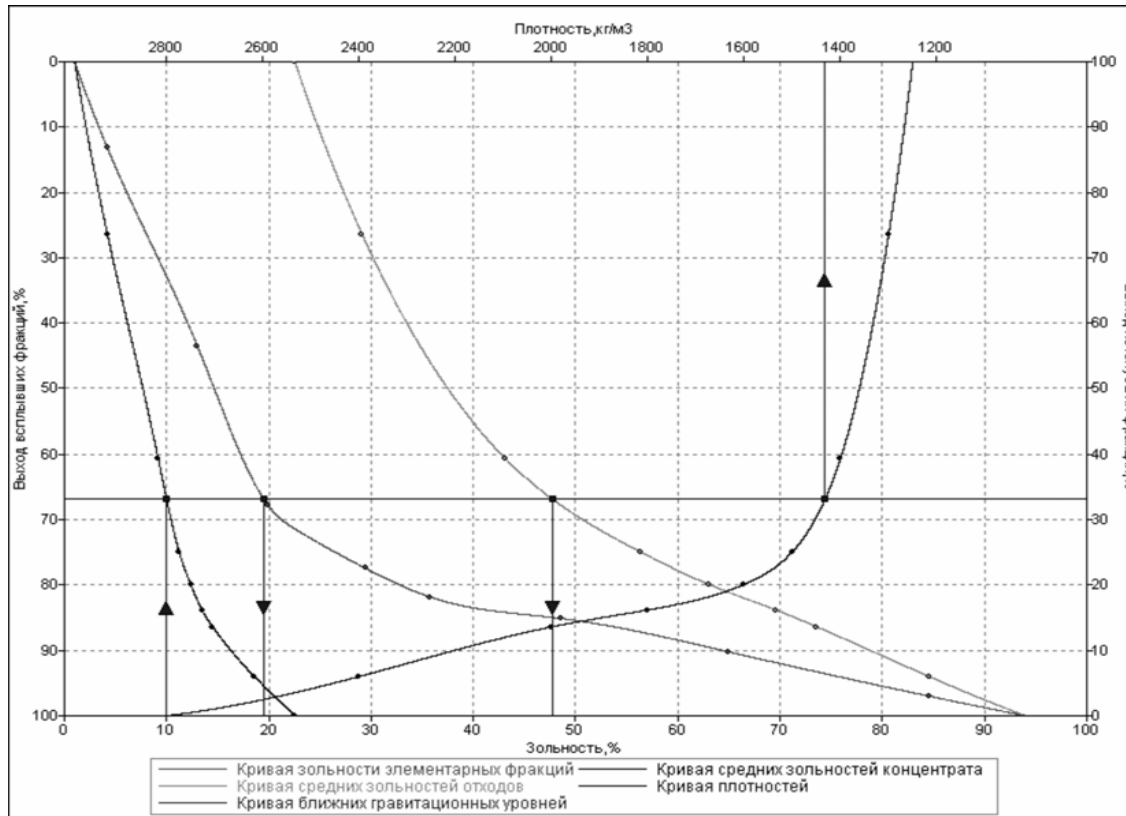


Рис. 1. Графики обогатимости исходного крупного угля для валовой пробы пласта Н16 (табл. 2)



**Рис. 2. Графики обогатимости угля, дробленного до крупности 0—3 мм (табл. 2)**

В результате на графике находим, что при зольности концентрата 10 % выход концентратных фракций будет 54,9 % при плотности разделения 1340 кг/м<sup>3</sup>. Таким образом, чтобы точно определить значение показателя обогатимости в этом случае мы должны принять нижнюю границу промежуточных фракций 1340 кг/м<sup>3</sup>, а не 1400 кг/м<sup>3</sup>, как рекомендует [1]. Тогда выход промежуточных фракций плотностью 1340—1800 кг/м<sup>3</sup> составит 33,3 %, а беспородных фракций — 88,2 %. Следовательно, показатель обогатимости будет равен:  $T=33,3/88,2=37,8$  %. При нижней плотности промежуточных фракций 1400 кг/м<sup>3</sup>, согласно [1], этот показатель равен 20,9 %, что значительно меньше, вычисленного нами значения.

Теперь проведем такую же процедуру вычислений для фракционного состава дробленного угля (табл. 2). В результате на графике 2 находим, что при зольности концентрата 10 % выход концентратных фракций будет 66,9 % при плотности 1430 кг/м<sup>3</sup>. Таким образом, чтобы точно определить значение показателя обогатимости в этом случае мы должны принять нижнюю границу промежуточных фракций 1430 кг/м<sup>3</sup>, а не 1400 кг/м<sup>3</sup>, как рекомендует ГОСТ. Тогда выход промежуточных фракций плотностью 1430—1800 кг/м<sup>3</sup> составит 16,9 %, а беспородных фракций — 83,8 %. Следовательно, показатель обогатимости будет равен:  $T=16,9/83,8=20,2$  %. При нижней плотности промежуточных фракций 1400 кг/м<sup>3</sup>, согласно [1], этот показатель равен 27,7 %, что больше, вычисленного нами значения.

Таким образом, все встало на свои места: значение показателя обогатимости при дроблении понизилось с 37,8 % до 20,2 %.

### **Заключение**

Методика расчета показателя обогатимости, приведенная в ГОСТе 10100—84, не достаточно точно учитывает фракционные характеристики угля. Что может приводить к ошибке оценки изменения его обогатимости, например, при дроблении.

Описанная выше методика графического метода определения нижней границы промежуточных фракций на строго за-



данную зольность концентратных фракций 10 %, позволяет более точно вычислить значение показателя обогатимости и избежать ошибок в его вычислении.

В методику, описанную в ГОСТ 10100—84 по вычислению показателя обогатимости, необходимо внести дополнения, учитывающие результаты исследований, результаты которых приведены в настоящей статье.

---

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 10100—84 «Угли каменные и антрацит. Метод определения обогатимости».

2. ГОСТ 4790—80 «Топливо твердое. Метод фракционного анализа» Приложение-1 «Расчет фракционного состава каменных углей и антрацита по данным расслоения в двух и более тяжелых жидкостях». Приложение-3 «Кривые обогатимости». **ГИАН**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

---

Козлов Вадим Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, главный технолог, vak@setco.ru,  
Угольный департамент Коралайна Инжиниринг — SETCO.

