

## НОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СЕПАРАБЕЛЬНОСТИ УГЛЯ

**Ю.Д. Ариенков**

Донецкий национальный технический университет

*Поставлена задача нормування показника сепарабельності вугілля в межах існування області максимальних помилок процесу сепарації і дано її рішення.*

Если при построении модели учитывается основная задача, успех решения которой зависит от модели, то такую модель авторы работы [1] называют целеориентированной, и, кроме того, оптимальной, если с её помощью основная задача решается лучше, чем с любой другой из множества моделей. Однако целевое ориентирование моделей не сводится только к выбору наиболее подходящей функции, связывающей выходные параметры объекта в представительную оценку. Более того, чтобы накопить априорную информацию для формулировки такой функции, необходимо методом проб и ошибок выбрать рациональное множество входных и выходных параметров.

На технологических процессах такой перебор затруднён множеством часто даже не известных параметров и сложностью их измерения на основе специального опробования процессов и лабораторного исследования полученных образцов продуктов. Кроме того, чтобы выбирать в каком то смысле рациональное множество входных и выходных параметров из генеральной совокупности нужно иметь соответствующие критерии оценки рациональности этого множества.

В отличие от физического явления, технологический процесс предназначен для достижения определённой цели, и если эта цель не имеет точного (строгого математического и правильного экономико-технологического) формулирования, то проблема описания такого процесса лежит в некорректности функции цели. На основе сформулированной функции цели должна разрабатываться функция отклика для модели изучаемого процесса. Если такая функция будет выбрана произвольно, то и результаты исследования процесса этой моделью будут интерпретированы произвольно, существенные для технологии взаимосвязи изучаемых параметров останутся нераскрытыми.

Цель технологии обогащения угля кажется весьма прозрачной – из рядового угля получить как можно больше кондиционного продукта. Однако, как найти предел, к которому следует привести процессы, и по какому алгоритму следует вести технологические процессы, чтобы достигнуть этого предела, теория и практика обогатительной технологии чёткого ответа не давали. Поэтому вопрос оценки обогатимости угля по характеристикам

ситового и фракционного составов не терял своей привлекательности для исследователей вплоть до восьмидесятых годов прошлого столетия, когда множество предложенных и при этом несопоставимых критериев стало трудно обозримым без специальных методов анализа и синтеза целеориентирующих критериев. По данным учёных А.М. Коткина, М.Н. Ямпольского, К.Д. Геращенко, интенсивно занимавшихся этой проблемой, продолжительные исследования не привели к однозначным решениям [2].

Вместе с тем, новое направление в разработке таких критериев было положено работами [3, 4, 5], в которых решались вопросы компенсации влияния переменной зольности обогащаемого угля на оценочные свойства критерия.

Целеориентирующие критерии сепарабельности могут применяться в двух направлениях исследований: для определения близости фактического процесса к заданному оптимальному или для оценки его как оптимального.

Оценка селективности сепарации угля в многофакторном промышленном эксперименте основана на сопоставлении результатов промышленного исследования с однозначно определяемыми результатами лабораторного исследования (на том же угле, что и в промышленном эксперименте). Вычисляется оценка сепарабельности по формуле

$$\mathcal{Q} = \left\{ \frac{(\lambda_p - \beta_k) \cdot \gamma_k}{(\lambda_p - \beta_{кл}) \cdot \gamma_{кл}} \cdot \frac{(\beta_x - \lambda_p) \cdot \gamma_x}{(\beta_{хл} - \lambda_p) \cdot \gamma_{хл}} \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

где  $\gamma_k$  и  $\beta_k$  – выход и зольность фактического, полученного на оцениваемом процессе, концентрата;  $\gamma_x$  и  $\beta_x$  – выход и зольность фактических, полученных на оцениваемом процессе, отходов (хвостов);  $\lambda_p$  – зольность заданной элементарной разделительной фракции, по которой в процессе должно происходить оптимальное разделение фракций;  $\gamma_{кл}$  и  $\beta_{кл}$  – выход и зольность лабораторного концентрата при заданной зольности разделения  $\lambda_p$ ;  $\gamma_{хл}$  и  $\beta_{хл}$  – выход и зольность лабораторных отходов (хвостов) при заданной зольности разделения  $\lambda_p$ .

В работе [6] дан выбор идеальной нормы для критерия сепарабельности из условия равенства выходов лабораторного и идеального концентратов, а также одинаковой зольности разделения для сопоставляемых процессов при сохранении баланса золы в продуктах. Критерий селективности (1) также можно применить к распознаванию и оценке фактического режима сепарации. Для этого выходы лабораторных продуктов приравниваются к выходам продуктов фактического процесса и фактическая зольность элементарной разделительной фракции определяется по кривой  $\lambda(\gamma_k)$  для заданного значения фактического выхода продукта  $\gamma_k$ . Тогда формула (1) упростится до вида

$$g = \left\{ \frac{(\lambda_p - \beta_\kappa) \cdot (\beta_x - \lambda_p)}{(\lambda_p - \beta_{\kappa l}) \cdot (\beta_{xl} - \lambda_p)} \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

Однако, вскоре после публикации работы [5] было замечено, что значения показателя селективности обычно остаются выше 0,5 (или 50%), даже, если процесс расстроен весьма существенно. Это поставило под сомнение правильность определения нижней границы (нормирования) критерия селективности.

В работе [7] со ссылкой на другие источники утверждается, что нормирование имеет в значительной степени субъективный характер. По-видимому, авторы указанной работы имели в виду опасность субъективности в выборе способа нормирования, с чем следует согласиться.

Понятно, что нижняя граница показателя селективности должна быть строго обоснована. Результаты последних исследований показывают, что в качестве такой границы следует принять распределение фракций концентрата как наихудшего продукта сепарации, т.е. такого концентрата, распределение фракций которого не отличается от распределения фракций исходного угля [8]. Описание критерия дано формулой (1).

Внесём в структуру критерия (1) изменения, вычитая из числителя и знаменателя отдельно для блоков оценки концентрата и хвостов наихудшие эффекты по концентрату и хвостам

$$\frac{(\lambda_p - \beta_{\kappa l}) \cdot \gamma_{\kappa l}^2}{\gamma_u}, \quad (3)$$

$$\frac{(\beta_{xl} - \lambda_p) \cdot \gamma_{xl}^2}{\gamma_u}. \quad (4)$$

Группируя подобные члены, в окончательном виде получим показатель “нормированной селективности” - показатель избирательности  $I$ ,

$$I = \left\{ \left[ \frac{(\lambda_p - \beta_\kappa) \cdot \gamma_u \cdot \gamma_\kappa}{(\lambda_p - \beta_{\kappa l}) \cdot \gamma_{\kappa l}^2} - 1 \right] \cdot \left[ \frac{(\beta_x - \lambda_p) \cdot \gamma_u \cdot \gamma_x}{(\beta_{xl} - \lambda_p) \cdot \gamma_{xl}^2} - 1 \right] \right\}^{1/2}. \quad (5)$$

Эта формула, как и (1), явно учитывает параметр разделения  $\lambda_p$  и поэтому выполняет функцию целевого ориентирования процесса. Вместе с тем, благодаря учёту нижней границы области максимальных ошибок критерий  $I$  должен стать более чувствительным, чем (1), к изменению параметров и у верхней границы этой области, вблизи которой процесс сепарации становится наиболее избирательным.

Рассматриваем вопрос распознавания и оценки результатов эксперимента. Пусть выполняется условие корректности сопоставления промышленного и лабораторного экспериментов по выходу фактического и лабораторного концентрата

$$\gamma_{кл} = \gamma_{к} \cdot \quad (6)$$

Следовательно, должно выполняться такое же условие и для отходов фактических  $\gamma_x$  и лабораторных  $\gamma_{хл}$ ,

$$\gamma_{хл} = \gamma_x \cdot \quad (7)$$

Подстановка (6) и (7) в (5) даёт следующую формулу вычисления критерия:

$$I = \left\{ \left[ \frac{(\lambda_p - \beta_{к}) \cdot \gamma_u}{(\lambda_p - \beta_{кл}) \cdot \gamma_{к}} - 1 \right] \cdot \left[ \frac{(\beta_x - \lambda_p) \cdot \gamma_u}{(\beta_{хл} - \lambda_p) \cdot \gamma_x} - 1 \right] \right\}^{1/2} \cdot \quad (8)$$

Сравнение оценочных свойств критериев селективности (2) и избирательности (8) выполнено по результатам экспериментальных исследований.

Эксперимент сводился к опробованию исходного питания и продуктов конкретного процесса сепарации.

По данным фракционного состава питания процесса с помощью ЭВМ строились кривые обогатимости

Пример фракционного состава угля, принятого в качестве исходного для конкретного опыта, дан табл. 1.

Табл. 1 – Состав угля к задаче оценки селективности и избирательности

Плотность фракций, кг/м <sup>3</sup>	Фракции угля		Всплывш. продукт		Потонув. Продукт	
	Выход, %	Зола, %	Выход, %	Зола, %	Выход, %	Зола, %
1100 ≤ δ < 1200	0,0	4,00	0,00	3,00	100,0	36,55
1200 ≤ δ < 1600	60,0	7,00	60,0	7,00	100,0	36,55
1600 ≤ δ < 1800	5,0	45,00	65,0	9,92	40,0	39,56
1800 ≤ δ < 2000	35,0	86,00	100,0	36,55	35,0	86,00
2000 ≤ δ < 2100	0,0	91,00	100,00	36,55	0,0	91,51
Итого	100,0	36,55	-	-	-	-

Результат построения кривых обогатимости показан на рисунке.

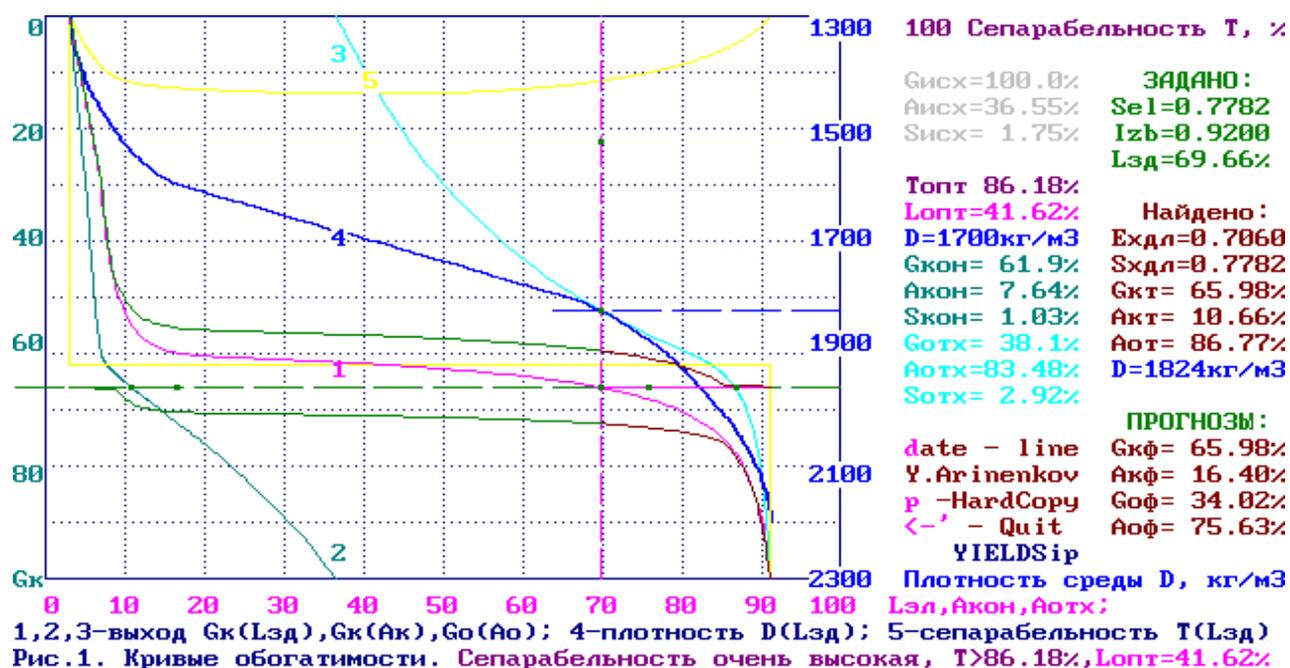


Рисунок – Кривые обогатимости построены программой YIELDS

Как известно из [9] и видно из представленных результатов, треугольники ошибок по выходу для концентрата и отходов одинаковы. Для вычисления оценок по формулам (2) и (8) знание распределения фракций концентрата  $\gamma_k(\lambda)$  и отходов (хвостов)  $\gamma_x(\lambda)$  не требуется, а знание распределения фракций исходного угля  $\gamma_u(\lambda)$  необходимо для определения величины фактической зольности разделения  $\lambda_p(\gamma_k)$ . Аналогично представленному варианту, исследования выполнены и на других углях. Результаты исследований сведены в табл.2.

Табл.2 – Сопоставление оценок селективности и избирательности

Исследуемые параметры		Варианты экспериментов					
Обозначение	Размерность	1	2	3	4	5	6
$\beta_u$	%	36,55	14,95	38,46	26,72	73,65	36,87
$\gamma_u$	%	100	100	100	100	100	100
$\gamma_{кф}$	%	65,98	87,46	54,66	71,45	16,17	61,55
$\lambda_p$	%	69,66	67,83	31,33	33,84	30,00	41,00
$\beta_{кф}$	%	16,40	6,05	16,55	7,12	8,78	8,26
$\beta_{кл}$	%	10,66	5,64	14,79	5,65	7,92	6,72
$\beta_{хф}$	%	75,63	77,00	64,87	75,77	82,07	82,67
$\beta_{хл}$	%	86,77	79,85	66,99	79,45	86,32	85,14
$\gamma_{хф}$	%	34,02	12,54	45,34	28,55	83,83	38,45
$v$	%	56,12	87,06	91,96	93,35	93,82	94,95
$I$	%	9,71	82,36	83,23	85,15	73,35	89,60

Анализ двух последних строк этой таблицы позволяет заключить, что наблюдается приближённая зависимость  $I(v) \approx 2(v-50)$ ,  $50 \leq v \leq 100$ . Отклонения от указанной линейной зависимости являются следствием различия методов нормирования критериев  $v$  и  $I$ , а не ошибок в их определении. Здесь же важно отметить, что критерий  $I$  оказывается в два раза чувствительнее критерия  $v$  при оценке процессов сепарации. Определение такой оценки сопровождается распознаванием фактической зольности разделения  $\lambda_p$ , которая может и не совпадать с заданной оптимальной. Следовательно, критерий в форме (8) может давать дополнительную информацию для построения модели процесса сепарации на основе функции отклика по (5).

Таким образом, обосновано правило нормирования показателя селективности по нижней границе эффекта сепарации, которое позволяет повысить чувствительность критерия избирательности сепарации (8) в два раза по сравнению с (2). Последующие работы будут посвящены созданию программного обеспечения для сопровождения обогатительного эксперимента на основе предложенных критериев.

## Литература

1. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ III.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. –646с.
2. Коткин А.М., Ямпольский М.Н., Геращенко К.Д. Оценка обогатительных процессов обогащения. М.: Недра, 1982. –200с.
3. Ариненков Ю.Д., Никифоров Т.И. Опытная технологическая оценка работы обогатительной фабрики // Обогащение и брикетирование угля: Реф. Сб. / МУП СССР. –М.: ЦНИИЭИУголь. – 1976. №9(180). –С.18-21.
4. Ариненков Ю.Д., Ельяшевич М.Г. Определение показателя обогатительности // Известия ВУЗ “Горный Журнал”. –1980, №11. –С.89-93.
5. Ариненков Ю.Д. Методы анализа и синтеза показателей обогатительности полезных ископаемых // Применение ЭВМ и математических методов в горных отраслях промышленности. Тр. 17-го Междунар. симпозиума. СССР. Москва, 20-25 октября 1980 г. В 3 т. – М.: Недра, 1982, т. 2. –С.447-451.
6. Ариненков Ю.Д. Выбор нормы для критерия обогатительности // Збагачення корисних копалин: Н.-техн. зб. – Дніпропетровськ, 2002. № 16(57). – С. 36-42.
7. Robert Reeves. Washability Data at a Glance. Coal Mining. 1984, Vol. 21, # 8, p. 52-56.
8. Ариненков Ю.Д. Оценка и прогноз параметров обогащения // Наук. пр. Донецького державного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. –Донецьк, 2001. Вип. 35. –С. 10-15.
9. Верховский И.М. Основы проектирования и оценки процессов обогащения полезных ископаемых. -М.-Л.: Углетехиздат, 1949. –490 с.