

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПРАКТИЧЕСКИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ОБОГАТЯВАНЕ НА ГРАВИТАЦИОНЕН ОТПАДЪК ПО КРИВИТЕ НА РАЗДЕЛЯНЕ

Валерия К. Ковачева–Нинова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, e-mail: valia@mgu.bg

РЕЗЮМЕ: Използвана е методика за определяне на практическите показатели на обогатяване (метод на Тромп-Тера) на гравитационен отпадък, натрупан от текущото производство на ЦОФ „Твърдица“ в инсталация „Кючук-Макина“, гр. Твърдица. Установено е, че суспензионните циклон-сепаратори на инсталацията работят задоволително добре.

Методът на Тромп-Тера (криви на разделяне) показва, че при поддържане на разделителна плътност 1700 kg/m^3 , очакваните практически показатели при действителното състояние на сепарационния процес за концентрата са - добив $12,39 \%$, при средно пепелно съдържание $70,92 \%$. Получените прогнозни практически резултати са в добро съгласие с теоретичните възможни такива при същите условия на работа на инсталацията, а именно при същата разделителна плътност- добив на концентрата около $11,36 \%$, при средно пепелно съдържание $69,33 \%$.

Методът може да бъде използван за определяне ефективността на работа на апаратите, сепарационните операции и на обогатителния процес като цяло и при обогатяването на гравитационни въглищни отпадъци.

Ключови думи: практически показатели на обогатяване, суспензионни циклон-сепаратори, разделителни криви, гравитационен въглищен отпадък.

DETERMINATION OF THE PRACTICAL PARAMETERS OF MINERAL PROCESSING OF GRAVITATIONAL TAILING ACCORDING TO THE SEPARATION CURVES

Valeria K. Kovacheva-Ninova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: valia@mgu.bg

ABSTRACT: A way for determination of practical parameters of mineral processing (Tromp-Tera method) of gravitational tailing, stored during the ongoing manufacture of COF "Tvarditza" at "Kuchuk-Makina" installation in the town of Tvarditza, Bulgaria, was used. It was found that the suspension cyclone-separators from the installation perform fairly well.

Tromp-Tera method (separation curves) showed that in maintaining of separation density 1700 kg/m^3 , the expected practical parameters at the actual state of separation process for the concentrate are: yield 12.39% at average ash content of 70.92% . The obtained expected practical results are in good agreement with theoretically possible ones at the same working conditions of the installation, namely, at the same separation density – concentrate yield around 11.36% in average ash content 69.33% .

This method can be used for determination of the efficiency of the equipment, separation operations, as well as the efficiency of the overall mineral processing process and the mineral processing of gravitational coal tailing in particular.

Key words: practical parameters of mineral processing, suspension cyclone-separators, separation curves, gravitational coal tailing.

Въведение

Методът на Тромп и Тера за определяне практическите показатели на обогатяване е универсален и намира широко приложение във всички страни и у нас (Колев, 1980). Предложените от тях разделителни криви определят извличането на различни по характер и свойства тесни фракции и се използват за оценка ефективността на работа на отделни апарати и операции, както и за анализ, прогнозиране и определяне ефективността на сепарационните процеси при обогатяване на полезните изкопаеми (Тихонов, 1978, 1984).

В настоящата работа е извършен анализ и са определени практическите показатели на работата на инсталация „Кючук Макина“ гр. Твърдица, за обогатяване на гравитационен отпадък в суспензионни-циклон сепаратори $\phi 660 \text{ mm}$. Отпадъкът е генериран от текущото

обогатяване на класа $-50+0,5 \text{ mm}$ в ЦОФ Твърдица, за периода 1963-1996 г. и е складиран на насипище „Табан-Лагун“ на около $2,5 \text{ km}$ от фабриката. Поради високото пепелно съдържание на черните въглища, относителният дял на отпадъка е твърде голям ($60-65\%$). От пускането на ЦОФ Твърдица в експлоатация до ликвидирането ѝ са отделени над 5 млн. t гравитационен отпадък, с качествени показатели определени след генерално опробване на табана (Отчет по договор, 1988), табл.1.

Анализът на данните показва, че при среден размер на късовете в отпадъка $11,24 \text{ mm}$ средното пепелно съдържание е 74% . Съдържанието на сяра е под кондициите за междинен продукт, получаван при обогатяване на черни въглища, в които се допуска да бъде до $2,5 \%$. Долната граница на топлината на изгаряне е 1423 kcal/kg . Характеристиката на отпадъка показва, че той представлява интерес за дообогатяване и получаване на енергийно гориво.

Таблица 1

Зърнометрична характеристика и качествени показатели на отпадъка от табан „Лагун“.

Класа, mm	d _{ср.кл.} , mm	Добив, %		A _c , %	Обща S, %	Летливи в-ва, %	Калоричност, kcal /kg
		частен	сумарен				
100 – 50	75	2,21	2,21	81,42	2,85	53,78	792
50 – 40	45	2,92	5,13	78,24	1,49	57,53	1081
40 – 20	30	13,72	18,85	77,18	1,24	38,86	1174
20 – 14	17	6,55	25,40	81,82	2,28	55,30	761
14 – 9	11,5	8,85	34,25	74,93	2,64	40,38	1356
9 – 5	7	15,93	50,18	74,82	2,21	38,81	1354
5 – 1	3	27,21	77,39	71,78	2,09	37,50	1619
1 – 0,5	0,75	8,01	85,40	70,44	1,83	41,11	1705
0,5 – 0	0,25	14,60	100,00	69,76	2,52	44,45	1712
Всичко	11,24	100,00	-	73,94	2,09	49,56	1423

Практически показатели на обогатяване на гравитационния отпадък по кривите на разделяне

Методът се основава на предложените от Тромп разделителни криви, които се построяват по резултатите от фракционния анализ на продуктите от обогатяването (Тромп, 1937). Тяхното построяване е на основата на фракционен анализ на получените концентрат и отпадък от действащата инсталация.

По данни от предприятието добивът на концентрата е $\gamma_k=10,5\%$, получен при разделителна плътност $d_p=1700$ -

1800 kg/m^3 . Чрез сумиране добивите на съответните фракции от концентрата и отпадъка е получен фракционният състав на еквивалентната изходна суровина. Между него и реалния фракционен състав на изходната суровина съществува известно различие поради неточности при вземане на пробите и провеждане на фракционните анализи. В табл. 2 е представен фракционният състав на концентрата, отпадъка и на еквивалентната изходна суровина, чрез извършване на фракционни анализи на продуктите в разтвори от $ZnCl_2$ с необходимите плътности.

Таблица 2

Фракционен състав на продуктите от обогатяването и изходната суровина при $\gamma_k=10,5\%$; $\gamma_{отп}=89,5\%$; и $d_p=1700-1800\text{ kg/m}^3$.

плътност на фракциите, g/cm^3	концентрат		отпадък		Еквивал. изходна суровина β_u	разделителни числа, п%	
	добив на фракциите в % от					за концентр.	за отпад.
	концентр. β_k	изходна суровина	отпадък $\beta_{отп}$	изходна суровина			
	%	%	%	%		%	%
< 1,4	39,16	4,11	0,06	0,05	4,16	98,71	1,29
1,4 – 1,5	8,61	0,90	0,22	0,20	1,10	82,12	17,88
1,5 – 1,6	23,85	2,50	0,71	0,63	3,14	79,76	20,24
1,6 – 1,7	10,61	1,12	2,06	1,84	2,96	37,66	62,34
1,7 – 1,8	5,81	0,61	2,99	2,68	3,29	18,56	81,44
1,8 – 1,9	3,42	0,36	5,82	5,21	5,57	6,45	93,55
1,9 – 2,0	1,76	0,19	3,53	3,16	3,34	5,53	94,47
> 2,0	6,78	0,71	84,61	75,73	76,44	0,93	99,07
Общо:	100,00	10,5	100,00	89,50	100,00	-	-

Отношението на съдържанието на отделните фракции в продуктите от обогатяването (в проценти от изходните) към съдържанието на същите фракции в изходната суровина е разделително число за дадената фракция:

$$- \text{ за концентрата } n_k = \frac{\beta_k \cdot \gamma_k}{100 \cdot \beta_u} \cdot 100, \% ;$$

$$- \text{ за отпадъка } n_o = \frac{\beta_o \cdot \gamma_o}{100 \cdot \beta_u} \cdot 100, \% ,$$

където: β_k , β_o са съдържанията на дадена фракция съответно в концентрата и отпадъка по отношение на продукта от обогатяването, %;

β_u е съдържанието на дадена фракция в еквивалентната изходна суровина, %

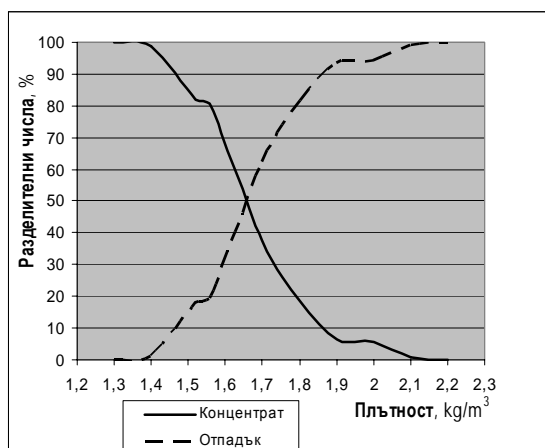
$\gamma_k, \gamma_{отп}$ са добивите на концентрата и отпадъка от изходната суровина, %.

Винаги за всяка фракция $n_k + n_o = 100\%$.

На фиг.1 са представени разделителните криви за концентрата и отпадъка (по метода на Тромп).

Кривите на концентрата и отпадъка са симетрични и се пресичат в точка, която има ордината съответстваща на разделителното число 50 %. Абсцисата на тази точка съответства на плътността на разделяне. По кривите на Тромп, плътността на разделяне представлява плътност, при която съответстващата ѝ безкрайно малка (елементарна) фракция се е разпределила в практическите условия на обогатяването на равни

количества между двата съседни продукта на обогатяването. От Фиг.1 се вижда, че концентратът и отпадъкът са получени при реална плътност на разделителната среда ~1700 kg/m³.



Фиг.1. Разделителни криви за концентрата и отпадъка.

Разделителната крива показва с каква точност се осъществява разделянето на материала в обогатителната машина, тъй като точките по ординатата на тази крива, показват каква тегловна част (в проценти) от всяка фракция на изходната суровина е преминала в концентрата или в отпадъка. При анализа на разделителните криви получени за различни въглищни суровини, при обогатяване в различни машини и при различни условия Тромп установява, че разпределението на фракциите от изходните въглищни суровини не протича случайно и хаотично, а в определена закономерност. При еднакви условия на работа на обогатителната машина (еднаква едрина на захранването и еднаква разделителна плътност), разделителната крива за тази машина има винаги еднакъв характер и положение в координатната система независимо от качеството (фракционния състав) на постъпващата в нея входна суровина. Разделителните числа за всяка фракция определят ординатата, а от тук и формата на разделителната крива. Те са постоянни величини за съответната обогатителна машина и следователно при еднакви технически условия на обогатяване разделителната крива е постоянна и не зависи от качеството на постъпващите на обогатяване въглищни суровини. Това положение се оспорва от някои автори (Wundt, 1956), но независимо от това то е прието като основно в разглеждания метод.

По опитен път (Tromp, 1937; Terra, 1939, 1955) е установено, че разделителните криви имат форма, подобна на кривата на нормалното разпределение, разглеждана в теорията на вероятностите. На тази основа, разпределението на фракциите с различна плътност от изходните въглища в продуктите от обогатяването се разглежда подобно на разпределението на вероятностите по нормалния закон на случайните величини (грешки), закона на Гаус. Нормалният закон на разпределение се изразява с уравнението:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

където,

a - средна стойност на случайната величина;
 s - средно квадратично отклонение на случайната величина от средната стойност на a ;
 e - основа на натуралния логаритъм.

В теорията на вероятностите е прието обикновено на абсцисната ос на разделителната крива да се нанася не абсолютната стойност на грешките, а тяхната стойност в единици от средноквадратичното отклонение s или вероятното отклонение E . При това се различават грешки от 0 до s (от 0 до E), от s до $2s$ (от E до $2E$) и т. н., като s или E се приема като мярка на грешката. Абсцисната ос се градуира в общ вид в единици $x = \frac{x_0 - a}{\sigma}$ или $x = \frac{x_0 - a}{E}$

(където x_0 е случайна величина, a - средна стойност на x_0). В този случай средноквадратичното отклонение s в уравнение (1) е равно на единица, а $a=0$, в резултат на което се получава опростеното уравнение на „нормираното“ разпределение на случайна величина:

$$y = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2)$$

В уравнение (2) стойността на грешките x е представена в части от средно квадратичното отклонение s . При нормираното разпределение началото на координатната система се пренася в центъра на разсейванията и абсцисата се изразява в части от s .

Интегралната крива на нормалния закон при различни значения на x се определя от интеграла:

$$F(x) = y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (3)$$

Като се приеме, че разделителните криви на Тромп са подобни на интегралните криви на нормалното разпределение, те също могат да се опишат чрез горния интеграл. В този случай стойността на абсцисата x се изразява с отклонението на различните средни плътности на фракциите (d_m) от разделителната плътност (d_b). При това абсцисата е изразена в единици от стандартното (квадратичното) отклонение s . Ординатата y се определя от разделителните числа на всяка фракция, т.е. тя изразява вероятността за всяка точка x .

По таблиците за функцията на Лаплас (Ковачев, 1991) се намира стойността $F(x)$ за съответната стойност на s . Тъй като при определяне на показателите на обогатяване и ефективността на обогатителните машини е необходимо да се знае стойността на $F(x)$ в интервала от $-\infty$ до x , стойността на интеграла $F(x)$ е дадена в тези граници.

От многобройни опити е установено, че разделителните криви съвпадат с разпределителните криви на нормалния закон, в случай че обогатяването се извършва в апарат, чиято среда има плътност, равна на необходимата плътност на разделяне, т.е. при обогатяване в тежки суспензии (средни).

При определяне на показателите на обогатяване вместо стандартното отклонение s за характеризирание на грешките се използва средното вероятно отклонение. В

теорията на вероятностите то представлява стойността на грешката, под или над която вероятността за получаване е равна на 50 %. Вероятното отклонение е означено с E_p .

Вероятното отклонение, прилагано към разделителните криви, представлява полуразлика между абсцисните (плътностните) точки на разделителната крива, съответстващи на ординатите (разделителните числа) със стойности 25 и 75%, а именно:

$$E_p = \frac{\delta_{75} - \delta_{25}}{2}, \quad (4)$$

където:

E_p е вероятното отклонение от теоретичните условия на разделяне; δ_{75} и δ_{25} са плътностите, съответстващи на разделителни числа 75 и 25%.

В случая стойността на вероятното отклонение E_p характеризира ефективността на обогатителната машина. Колкото по-малка стойност има E_p , толкова по-точен е процесът на разделяне. Стойността на E_p зависи от характера на процеса, конструктивните особености на машината, плътността на разделяне, едрината на постъпващата суровина, но не зависи от фракционния състав (обогатимостта) на суровината.

При нормалното разпределение между вероятното отклонение E_p и стандартното отклонение s съществува следната зависимост:

$$E_p = 0,6744 \cdot s \quad (5)$$

При обогатяване в суспензионни сепаратори отклонението на плътността на всяка фракция от разделителната плътност ($d_p - d_m$), изразена в единици от стандартното отклонение s , се определя по формулата:

$$x = (\delta_p - \delta_m) \frac{0,6744}{E_p} \quad (6),$$

където d_m е средна плътност на търсената фракция.

$$\text{Ако постоянната величина } \frac{0,6744}{E_p} = K \text{ се замести в (6)}$$

се получава:

$$x = k(\delta_p - \delta_m) \quad (7)$$

Определят се стойностите на $F(x)$, които показват каква част от фракцията със средна плътност d_m е извлечена в съответния продукт на обогатяването.

От фиг.1 (разделителни криви на концентрата и отпадъка) са отчетени плътностите съответстващи на разделителни числа 75 и 25%. Стойността на вероятното отклонение от теоретичните условия на разделяне E_p , характеризираща ефективността на работа на суспензионния хидроциклон по формула (4) е:

$$E_p = \frac{\delta_{75} - \delta_{25}}{2} = \frac{1,765 - 1,575}{2} = 0,095;$$

$$k = \frac{0,6744}{0,095} = 7,099.$$

Според (Справочник по обогатению руд, 1984), стойността на $E_p=0,095$ показва, че суспензионният циклон сепаратор на инсталацията работи *задоволително добре*, при висока плътност на разделяне.

Изчисляването на разделителните числа е дадено в табл.3, при определените стойности на разделителната плътност 1700 kg/m^3 , $k=7,099$ и $E_p=0,095$. Изчисляват се разделителните числа n , като функция от x .

Таблица 3

Определяне на разделителните числа (n) при обогатяване на изходна суровина – 50 +0,5 mm, при $d_p=1,70 \text{ g/cm}^3$.

плътност, g/cm^3	средна плътност, $d_m; \text{g/cm}^3$	концентрат			отпадък		
		$d_p = 1,700 \text{ g/cm}^3 ; E_p = 0,095 ; K = 7,099$					
		$d_p - d_m$	x	n_k	$d_m - d_p$	x	$n_{отп}$
1,3 – 1,4	1,35	+0,35	+2,48465	99,3515	- 0,35	-2,48465	0,6485
1,4 – 1,5	1,45	+0,25	+1,77475	96,2030	- 0,25	-1,77475	3,7970
1,5 – 1,6	1,55	+0,15	+1,06485	85,6526	- 0,15	-1,06485	14,3474
1,6 – 1,7	1,65	+0,05	+0,35495	63,8686	- 0,05	-0,35495	36,1314
1,7 – 1,8	1,75	- 0,05	-0,35495	36,1314	+0,05	-0,35495	63,8686
1,8 – 1,9	1,85	- 0,15	-1,06485	14,3474	+0,15	+1,06485	85,6526
1,9 – 2,0	1,95	- 0,25	-1,77475	3,7970	+0,25	+1,77475	96,2030
2,0 – 2,1	2,05	- 0,35	-2,48465	0,6485	+0,35	+2,48465	99,3515

В таблица 4 са определени очакваните практически показатели на обогатяване на гравитационния отпадък клас –50+0,5mm в суспензионен-циклон сепаратор, при поддържана плътност $d_p = 1700 \text{ kg/m}^3$. При известен фракционен състав на изходните възглища с помощта на изчислените n_k и $n_{отп}$ (табл.3), са определени добивът на преминалите съответно в концентрата и отпадъка фракции. Полученият добив на преминалите фракции в

концентрата е 12,39 %, при средно пепелно съдържание 70,92 %. Добивът на отпадъка е 87,61 %, при пепелно съдържание 85,39 %.

Окончателните практически показатели на обогатяване на гравитационния отпадък в суспензионните хидроциклони са дадени в таблица 5, като са сравнени с теоретичните показатели при същите разделителни плътности.

Таблица 4

Очакваните практически показатели на обогатяване на класа – 50 +0,5 mm в суспензионен циклон-сепаратор, при $d_p=1,70 \text{ g/cm}^3$ и $E_p=0,095$.

Плътност g/cm^3	изходна суровина		концентрат			отпадък		
	Добив g, %	A_c , %	n_k , %	преминали фракции в концентрата		n_o , %	преминали фракции в отпадъка	
				$d_p = 1700 \text{ kg/m}^3 ; E_p = 0,095$				
				добив $\frac{\gamma \cdot n_k}{100}, \%$	$A_{c_k}, \%$		добив $\frac{\gamma \cdot n_o}{100}, \%$	$A_{c_o}, \%$
1,3 – 1,4	4,16	66,88	99,3515	4,13	67,28	0,6485	0,03	34,40
1,4 – 1,5	1,10	67,47	96,2030	1,06	68,06	3,7970	0,01	64,82
1,5 – 1,6	3,14	70,63	85,6526	2,69	70,66	14,3474	0,45	71,61
1,6 – 1,7	2,96	72,10	63,8686	1,89	71,89	36,1314	1,07	72,23
1,7 – 1,8	3,29	74,52	36,1314	1,19	72,65	63,8686	2,11	74,94
1,8 – 1,9	5,57	77,82	14,3474	0,80	73,53	85,6526	4,78	78,12
1,9 – 2,0	3,34	79,90	3,7970	0,13	75,58	96,2030	3,22	79,91
2,0 – 2,1	76,44	86,69	0,6485	0,50	76,84	99,3515	75,95	86,78
Всичко	100,00	83,60	-	12,39	70,92	-	87,61	85,39

Таблица 5

Теоретични и очаквани практически показатели на обогатяване на гравитационен отпадък, класа – 50 +0,5 mm, в инсталация „Кючук Макина“ със суспензионен хидроциклон, при $d_p = 1700 \text{ kg/m}^3$.

Продукти	теоретични показатели		практически показатели	
	Добив g, %	A_c , %	Добив g, %	A_c , %
концентрат	11,36	69,33	12,39	70,92
отпадък	88,64	85,42	87,61	85,39
класа -50+0,5 mm	100,00	83,60	100,00	83,60

Теоретичните показатели показват, че при плътност на разделяне $d_p = 1700 \text{ kg/m}^3$ се постига добив на концентрат 11,36 % с пепелно съдържание 69,33 %. Получените практически показатели за концентрата са по-високи от теоретичните. Това се дължи на допуснато замърсяване на концентрата с фракции с плътност над 1700 kg/m^3 . Съдържанието на тези тежки фракции съставлява 21 % от общото количество на концентрата и поради по-високото им пепелно съдържание се завишава и пепелното съдържание на получения концентрат.

Изводи и препоръки

Използваният метод на Тромп-Тера за определяне на очакваните практически показатели на обогатяване показва, че суспензионните-циклон сепаратори в инсталацията работят **задоволително добре**. При поддържане на разделителна плътност 1700 kg/m^3 , очакваните практически показатели при действителното състояние на сепарационния процес за концентрата са добив 12,39 %, при средно пепелно съдържание 70,92 %. За сравнение, теоретичните възможни такива при същите условия на работа са добив на концентрат 11,36 %, при средно пепелно съдържание 69,33 %.

Методът може да бъде използван за определяне на ефективността на работа на апаратите, сепарационните

операции и на обогатителния процес като цяло и при обогатяването на гравитационни въглищни отпадъци. Методът показва универсалност и може да се използва за анализ, прогнозиране и определяне на ефективността на сепарационните процеси при обогатяване на въглищни гравитационни отпадъци в суспензионни циклон-сепаратори.

Литература

- Колев, Н. Ц. *Обогатимост на въглищата в НРБ*. Хабилюционен труд, С., 1980.
- Тихонов, О. Н. *Теоретические основы сепарационных процессов обогащения полезных ископаемых*. ЛГИ, Л., 1978.
- Тихонов, О. Н. *Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых*. М., Недра, 1984.
- Отчет по договор сключен между ИЦ „ТЕКОМ“ и „Балканбас“, на тема: „Технология за отделяне на въглищните частици от отпадъка в хранилището на ЦОФ Твърдица и оценка областите на приложение на въглищния концентрат и минералния остатък“, София, 1988.
- Tromp, K. *Neue Wege fur die Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohlen*. Gluckauf, 1937, No 37.

Wundt, H., O. Schafer. *Die Erfolgsrechnung in der Steinkohlenaufbereitung. Eine kritische Untersuchung der verschiedenen gebrauchlichen Verfahren.* Bergbauarchiv, S. 78/151, 1956.

Terra, A. *Sens de la courbe de partage anamrphose et de l'ecart probable dans le control des lavoirs* (R. I. M.), No 626, 1955.

Terra, A. *Determination pratique de l'ecart probable en densite.* *Revue de l'industrie Minerali* (R. I. M.), No 446, 1939.

Ковачев К.П. *Проектиране на обогатителни фабрики*, Техника, София, 1991.

Справочник по обогащению углей, М, Недра, 1984.

Препоръчана за публикуване от катедра
„Обогатяване и рециклиране на суровини“, МТФ