

Stanisław GŁOWIAK

Zakład Automatyki "BGG"

O PRZYCZYNACH NIEJEDNOZNACZNOŚCI WYZNACZANIA ROZPROSZENIA PRAWDOPODOBNEGO I IMPERFEKCJI WE WZBOGACALNIKACH GRAWITACYJNYCH

Streszczenie. Dokładność eksperymentalnego wyznaczania imperfekcji lub rozproszenia prawdopodobnego zależy od wielu czynników, z których część jest subiektywna. Wpływ czynników subiektywnych jest na tyle duży, że aby zapewnić porównywalność wyników uzyskiwanych w różnych laboratoriach, należy ich wpływ zdecydowanie ograniczyć. Wskazano niektóre z tych czynników i sposób zmniejszenia ich wpływu.

CAUSES OF MISCALCULATION OF A PROBABLE DISPERSION AND IMPERFECTION INDEX IN GRAVITY SEPARATORS

Summary. There are lots of factors, that affect probable dispersion and imperfection index calculations based on experimental results. Some of these factors are subjective and the influence of them is much higher than it is expected. It is necessary to limit this influence to achieve the comparability of results obtained from different laboratories. Some of these factors and the way how to reduce them is shown below.

1. Wprowadzenie

W procesach wzbogacania minerałów metodami grawitacyjnymi jednymi z najistotniejszych wskaźników przyjętych do oceny wzbogacalnika są rozproszenie prawdopodobne i gęstość właściwa rozdziału. Dla oceny pracy osadzarek przyjęto powszechnie wskaźnik zwany imperfekcją wyznaczany z zależności:

$$I = E / (\rho_r - 1)$$

gdzie: $E = 0,5(\rho_{75} - \rho_{25})$,

ρ_{75} - gęstość frakcji odpowiadającej liczbie rozdziału 75%,

ρ_{25} - gęstość frakcji odpowiadającej liczbie rozdziału 25%,

ρ_r - gęstość frakcji odpowiadającej liczbie rozdziału 50%.

Wskaźniki te wyznaczane są jednak w praktyce stosunkowo rzadko; zwykle w czasie uruchamiania płuczki dla sprawdzenia gwarantowanych przez dostawcę parametrów wzbogacalnika. Podstawową przyczyną takiego stanu rzeczy jest skomplikowana, bardzo pracochłonna i dlatego też dosyć kosztowna metoda empirycznego ich wyznaczania. Metoda ta wynikająca niejako z definicji nie jest wolna od możliwości popełnienia znacznych błędów ze względu na sposób i wielkość pobieranych próbek nadawy i produktów wzbogacania, a także sposób przeprowadzania niezbędnych obliczeń. Mimo to wskaźniki te są powszechnie stosowane i mają często ogromny wpływ na wybór technologii wzbogacania lub konkretnego wzbogacalnika.

W walce konkurencyjnej między producentami poszczególnych rodzajów wzbogacalników rozproszenie prawdopodobne lub imperfekcja jest jednym z najistotniejszych wskaźników, który bardzo często bywa przedmiotem gwarancji lub też nawet istotnych ustaleń umowy handlowej. Stąd też dla rzetelności zarówno oferty, jak i wyznaczenia później osiągniętych efektów istotne jest, aby wyznaczanie tego wskaźnika było możliwie obiektywne i jednoznaczne. Tymczasem obowiązujące normy, a także wynikający z nich i innych ustaleń tryb postępowania nie zapewnia w kilku istotnych punktach obiektywizmu wyznaczania tych wskaźników.

Wynika to z:

- braku ustalenia liczby frakcji gęstościowych i ich zakresu dla rozdziału badanego materiału; praktyka dowodzi, że stosuje się możliwie małą liczbę frakcji, a ich zakres jest ustalany subiektywnie,
- braku jednoznacznego sposobu aproksymacji wyznaczonych eksperymentalnie punktów krzywej rozdziału krzywą, której trzy istotne punkty decydują o wartości rozproszenia prawdopodobnego i gęstości rozdziału,
- braku jednoznacznego określonego położenia otrzymanych eksperymentalnie punktów krzywej rozdziału na osi odciętych,
- nieświadomej przyczyny istnienia pewnej dowolności w tym zakresie, mogą być także programy komputerowe używane do „obróbki” eksperymentalnie uzyskanych danych,
- zależności tych wskaźników od charakterystyki granulometrycznej i densymetrycznej wzbogacanego materiału.

2. Opis przyczyn niejednoznaczności

2.1. Liczba frakcji densymetrycznych

Z samej definicji rozproszenia prawdopodobnego wynika, że do jego określenia istotne znaczenie mają tylko te eksperymentalnie uzyskane punkty krzywej rozdziału, które mieszczą się w zakresie 25%-75% lub też niewiele poza ten zakres wykraczają. Bardzo często zdarza się, że przyjęty a priori podział badanego materiału na frakcje densymetryczne powoduje, że w interesującym zakresie znajdują się tylko 2-4 punktów. Jeżeli zdarzy się także, że współczynnik korelacji (wybranego modelu regresji) dla tych punktów nie jest wysoki, to pojawiają się istotne trudności w jednoznacznym określeniu krzywej rozdziału w tym zakresie, nawet jeśli pomocniczo traktować punkty niewiele wykraczające poza ten przedział. Jeżeli przyjąć, że powszechnie stosowane zasady regresji liniowej jednoznacznie ustalają położenie prostej, to nie można pominąć błędów wyznaczenia stałej i współczynnika określającego nachylenie tej prostej.

2.2. Aproksymacja dystrybuantą rozkładu normalnego

Istotnym czynnikiem decydującym o wielkości otrzymanego rozproszenia prawdopodobnego i imperfekcji jest przyjęcie konkretnej postaci funkcji aproksymującej otrzymane wyniki z pomiaru, a także kryterium określające „jakość dopasowania” do danych pomiarowych.

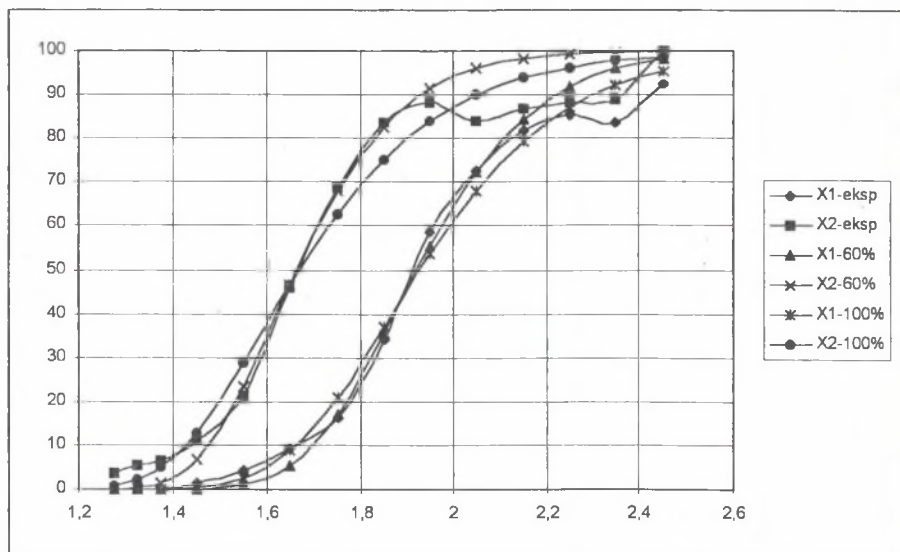
Nie kwestionowaną postacią funkcji aproksymującej jest dystrybuanta rozkładu normalnego przyjmowana dla różnych zmiennych w zależności od rodzaju wzbogacalnika.[1] Funkcję tę przyjęto w teorii wzbogacania grawitacyjnego jako najlepiej przybliżającą otrzymywane eksperymentalnie krzywe, choć też w niektórych pracach wskazuje się na inne funkcje [5].

Mimo to jednak aktualne normy zarówno krajowe[12], jak i międzynarodowe [13] nie zobowiązują do przyjęcia tej postaci funkcji i wyznaczenia poszukiwanych wielkości na jej podstawie. Zastanawiający jest wyjątkowy brak precyzji norm w tym zakresie, ponieważ wiele innych szczegółów mających dużo mniejsze znaczenie jest dokładnie ustalonych. Do jakich różnic w wyznaczeniu np. imperfekcji dla konkretnej osadzarki może to prowadzić, przedstawia poniższy przykład, do którego dane zaczerpnięto z [12]. Tablica 1 podaje wyniki obliczeń różnymi metodami, a na rys.1 przedstawiono przebiegi empirycznych i aproksymowanych krzywych rozdziału. Jako kryterium najlepszego dopasowania przyjęto minimum sumy różnic kwadratów otrzymanych doświadczalnie punktów i punktów krzywej aproksymującej. Szersze

przedstawienie tego aspektu dokładności wyznaczenia imperfekcji i gęstości rozdziału zawiera praca [6], choć nie z wszystkimi tezami i wnioskami tam przedstawionymi można się zgodzić.

Tablica 1

SPOSÓB OBLICZEŃ	IMP. 1	IMP. 2	GĘST. 1	GĘST. 2
wg autorów normy	0,143	0,157	2,070	1,670
aproksymacja ok. 60%	0,148	0,178	1,922	1,664
aproksymacja 100%	0,339	0,179	1,927	1,669
regresja liniowa dla ρ (60%)	0,339	0,399	1,929	1,665
regresja liniowa dla $\log(\rho-1)$ (60%)	0,314	0,346	1,923	1,668



Rys. 1. Empiryczne i aproksymowane krzywe rozdziału osadzarki OM-24D3

Fig 1. Empirical and aproximal curves of the jig OM-24D3 separation process

Tabela podana w [6] zawiera liczbowe wyliczenia imperfekcji i gęstości rozdziału podane przez autorów badań oraz wyliczone na podstawie różnych aproksymacji empirycznej krzywej rozdziału. Różnice między wyznaczonymi z różnych aproksymacji krzywych rozdziału wartościami imperfekcji w skrajnym przypadku mogą dochodzić do 0,135, co potwierdza także prezentowany przykład.

Istotne jest także ustalenie, czy do aproksymacji wyznaczonych empirycznie punktów przyjętą krzywą należy dokonać dla wszystkich punktów, czy też określonego zakresu liczb rozdziału tak, aby świadomie odrzucić niektóre skrajne punkty wyznaczone z dużym błędem. Jakie znaczenie dla wyniku wyznaczenia imperfekcji ma ten problem, przedstawia podany poprzednio przykład.

2.3. Położenie punktów pomiarowych na osi odciętych

Tradycyjnie przyjmuje się jako odciętą wyznaczonego punktu krzywej rozdziału średnią arytmetyczną zakresu skrajnych gęstości danej frakcji densymetrycznej. Jest to uzasadnione jednak tylko dla bardzo wąskich klas densymetrycznych. Jako przykład braku właściwych ustaleń można podać problem położenia tego punktu na osi odciętych dla najlżejszej i najcięższej frakcji. O ile dla najlżejszych frakcji wiadomym ograniczeniem jest minimalna gęstość węgla, to trudno na tej zasadzie określić maksymalną gęstość czystych odpadów. Ponieważ położenie skrajnych punktów krzywej rozdziału nie ma istotnego wpływu na wynik obliczenia rozproszenia prawdopodobnego lub imperfekcji, dalsze rozważania tego szczegółu zostaną pominięte.

Jednakże dla wszystkich punktów, które mają istotne znaczenie dla tych obliczeń, konieczne jest w miarę dokładne sprecyzowanie zasad wyznaczania położenia tych punktów na osi odciętych. Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu może być przyjmowanie do obliczeń nie jednego punktu, lecz skrajnych gęstości densymetrycznych danej frakcji, co "zwiększy" ilość punktów pomiarowych dwukrotnie, lecz przy ściśle określonym kryterium dopasowania krzywej do otrzymanych punktów pozwoli uniknąć dowolności w tym zakresie. Odpowiada to takiemu aproksymowaniu otrzymanej faktycznie schodkowej krzywej doświadczalnej, aby zachować przyjęte kryterium aproksymacji.

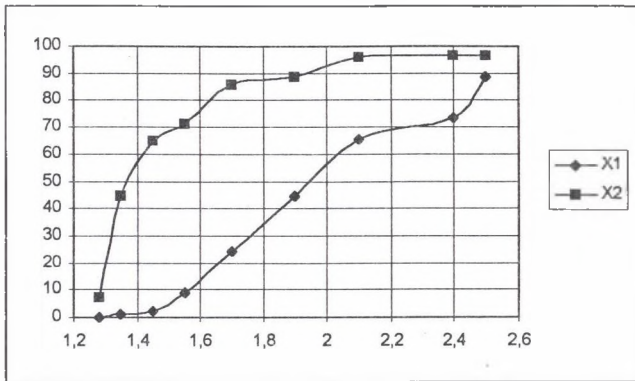
2.4. Algorytmy i programy używane do obliczeń

W dobie burzliwego rozwoju techniki komputerowej jej zastosowania nie ominęły także problemu poruszanego w niniejszym referacie. Do matematycznej obróbki danych empirycz-

nych niezbędnych dla wyznaczenia rozproszenia prawdopodobnego lub imperfekcji używane są różnego rodzaju programy komputerowe. To niewątpliwie ułatwienie eliminuje w znacznej mierze błędy obliczeniowe, lecz niesie ze sobą możliwość wprowadzenia różnic w otrzymywanych wynikach wynikających z różnych metod obliczeń stosowanych w programach. Jest to zjawisko dlatego groźne, że często użytkownicy programów komputerowych czują się zwolnieni z obowiązku poznania ich ograniczeń, jeżeli tylko te ograniczenia nie objawiają się w pracy programu, a ich autorzy nie kwapią się z zamieszczeniem informacji stosowanych przez nich metod obliczeń. Dla pełnej porównywalności otrzymanych wyników byłoby konieczne ujednoczenie stosowanych w tych programach obliczeniowych metod wyznaczania imperfekcji na podstawie ujednoczonych analiz nadawy i produktów wzbogacania.

2.4.1. Uwagi o odkształceniach empirycznych krzywych rozdziału osadzarek i ich możliwych przyczynach

Pomimo stwierdzenia, że tylko niektóre punkty krzywej rozdziału są istotne dla wyznaczenia wartości rozproszenia prawdopodobnego lub imperfekcji, to jednak empirycznie wyznaczone punkty szczególnie dla krańcowych wartości gęstości mogą być bardzo użyteczne do oceny pracy osadzarki. Są one także powodem formułowania opinii, że krzywe rozdziału w osadzance mogą być aproksymowane dystrybuantą uciętego rozkładu normalnego.[6] Niewątpliwie taki sąd jest uzasadniony bezspornością zaobserwowanego faktu, jednakże bliższe spojrzenie skłania do zaryzykowania twierdzenia, że obserwowane „rozkłady ucięte” są najczęściej wynikiem przeoczenia pewnych anomalii w pracy osadzarki. Podane na rys 2 punkty empirycznej krzywej rozdziału otrzymano w wyniku badań osadzarki typu ODM-18 przed wielu laty[14]. Równie bezsporny jak kształt otrzymanych krzywych było przeciążenie układu wygarniania produktów ciężkich tej maszyny, powodowane zbyt dużą zawartością frakcji odpadowych w podawanej z maksymalną wydajnością nadawie. Konstrukcja obrotowego odbieralnika frakcji ciężkich z napędem hydraulicznym stosowanym w tej maszynie jest ze swej natury istotnym ograniczeniem dla ilości odprowadzanego materiału. Ten prosty fakt uszedł wówczas uwadze zarówno ekipie przeprowadzającej badania osadzarki, jak i autorowi tego referatu. Dopiero wykonana kilka lat później modernizacja tej maszyny polegająca głównie na wyposażeniu jej w elektrohydrauliczny układ wygarniania produktu ciężkiego ze szczelinowym odprowadzaniem tego produktu wykazała, że tę samą osadzarkę można prawie dwukrotnie bardziej obciążyć nadawą bez powodowania widocznego „zatykania się” maszyny. Przy braku możliwości odprowadzenia do produktu ciężkiego wszystkich frakcji densymetrycznych



Rys.2. Odształcenia krzywych rozdziału osadzarki ODM-18

Fig.2. Deformation curves of the jig OM-24D3 separation process

które powinny do niego trafić, widocznym na krzywej rozdziału efektem jest nie osiągnięcie przez tę krzywą wartości zbliżonej do 100%. Efektem podobnym dla niskich gęstości jest zbyt mała wysokość progu w przedziale osadzarki powodująca brak możliwości utworzenia się odpowiedniej wysokości naturalnej pościeli, co szczególnie przy zbyt dużym rozluźnieniu łoża powoduje przechodzenie najlżejszych frakcji drobnych przez sito. Przedstawione wyżej zjawiska powodują nie tyle zaobserwowanie rozkładu uciętego, co nie osiąganie przez krzywą rozdziału wartości skrajnych, tzn. 0 i 100%. Natomiast efekt rozkładu uciętego powoduje głównie nieodpowiednie obciążenie pływaką układu regulacji odprowadzenia produktu ciężkiego w połączeniu ze zbyt dużą szerokością przedziałów poszczególnych frakcji densymetrycznych w prowadzonych badaniach. Szczególnie trudne do pełnego wyjaśnienia mogą być odształcenia empirycznie otrzymane krzywych dla produktu ciężkiego, który jest sumą produktów ciężkich dwóch lub więcej kolejnych przedziałów.

Podane powyżej przykłady oczywiście nie stanowią dowodu, że wszystkie zaobserwowane „rozkłady ucięte” są powodowane niezbyt wnikliwą analizą pracy osadzarki. Tym bardziej że możliwe są okoliczności powodujące świadome przyjęcie w prowadzonym procesie wzbogacania gęstości rozdziału zbliżonej do jednej z krańcowych frakcji densymetrycznych występujących w materiale surowym, co objawi się zaobserwowaniem tylko części teoretycznie możliwej krzywej rozdziału. Używanie cudzysłowu w powyższym fragmencie w odniesieniu do

terminu „rozkład” jest uzasadnione, ponieważ krzywa rozdziału wykazuje tylko podobieństwo do dystrybuanty rozkładu normalnego, opisując w rzeczywistości proces, który fizycznie ma zdeterminowany charakter. Trzeba jednak zaznaczyć, że proces ten ma składową losową, której obrazem jednak nie jest krzywa rozdziału. [9]

Oddzielną sprawą powodującą, że hipoteza o istnieniu "rozkładów uciętych" dla modelu krzywej rozdziału nie jest dostatecznie przekonująca, wynika także ze zwyczajowego zaniechania statystycznej weryfikacji otrzymywanych wyników i analizy wariancji resztowych dla otrzymanego modelu. [3]

2.5. Wpływ składu ziarnowego

Bardzo istotną okolicznością dla porównywania różnego rodzaju wzbogacalników jest klasa ziarnowa wzbogacanego materiału w trakcie wyznaczania rozproszenia prawdopodobnego lub imperfekcji

Z całą pewnością można powiedzieć, że tylko kilka kolejnych pomiarów tej samej maszyny może, choć nie musi, być wykonanych dla tego samego składu ziarnowego materiału surowego. Jest regułą, że osadzarki pracujące w różnych zakładach przerobczych wzbogacają materiał zupełnie nieporównywalny pod względem składu ziarnowego. I dlatego całkowitym nieporozumieniem jest np. porównywanie imperfekcji dwu maszyn, z których jedna wzbogaca odsiany na mokro materiał w klasie 3-16 mm, a druga materiał nie odmulony w klasie 0-30 mm, nawet jeżeli ze względu na analizę materiału do badań usunięto z niego klasę 0-0,5 mm. Z tego samego powodu nie można bezkrytycznie porównywać dwu maszyn wzbogacających tę samą klasę ziarnową, jeżeli nie są znane charakterystyki granulometryczne wzbogacanego materiału.

2.6. Wpływ składu densymetrycznego i gęstości rozdziału

Znany jest wpływ gęstości poszczególnych frakcji densymetrycznych na ich rozproszenie w procesie wzbogacania grawitacyjnego. Stąd też wynikło wprowadzenie współczynnika imperfekcji jako "niezależnego" od gęstości rozdziału. Jednakże takie uniezależnienie od gęstości rozdziału, jakie wprowadzono dla imperfekcji, może być teoretycznie skuteczne, jeżeli zmienność rozproszenia prawdopodobnego jest dokładnie rzeczywiście proporcjonalna do wyrażenia $\rho_r - 1$. Ponieważ jednak do tej pory nie wykazano teoretycznie ani eksperymentalnie istnienia dokładnie takiego związku, należy także imperfekcję traktować jako bliżej nieokreśloną funkcję gęstości rozdziału.

Mimo że pojawiają się próby określenia tej funkcji [10], chociaż w nieco innym ujęciu, ze względu na szczupłość danych eksperymentalnych nie można ich traktować jako empiryczne dowiedzenie istnienia określonej zależności imperfekcji od gęstości rozdziału.

3. Podsumowanie

Pomimo licznych przedstawionych wyżej wad jako obiektywnego wskaźnika rozproszenie prawdopodobne lub imperfekcja są i nadal pozostaną jednym z podstawowych wskaźników oceny wzbogacalnika. Aby jednak wszelkie oceny i porównania wykonywane przy użyciu tych wskaźników były miarodajne, konieczne jest ujednoczenie :

- ilości i zakresów frakcji densymetrycznych, na jakie jest dzielony zebrany materiał (nadawa i produkty wzbogacania),
 - postaci funkcji aproksymującej dla krzywej empirycznej i kryterium aproksymacji.
- Ponadto pożądane byłoby obowiązkowe opatrywanie uzyskanych wyników w :
- statystyczną ocenę dokładności wyznaczenia wskaźnika,
 - informację o składzie ziarnowym i densymetrycznym materiału surowego.

LITERATURA

1. J.Nawrocki: Skuteczność przesiewania i wzbogacania grawitacyjnego . Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej Nr 516, Gliwice 1976.
2. N.A.Samylin, A.A. Zołotko, W.W. Poczinnok: Otsadka. Wydawnictwo Niedra, Moskwa 1976.
3. Niederliński A.: Systemy komputerowe automatyki przemysłowej. WNT, Warszawa 1985.
4. T.Tumidajski: Zastosowanie metod statystycznych w analizie procesów przeróbki surowców mineralnych. Śl. W.T., Katowice 1993.
5. Kolin K. Wycisk H.: Algorytm wyznaczania wskaźnika ep oceny procesu wzbogacania grawitacyjnego. Przegląd Górniczy , 1978 nr 5.
6. Dawidowski A.Łabużek K.Plinzner J.: Próba analizy podstawowych form krzywej rozdziału w zastosowaniu do oceny parametrów procesu wzbogacania węgla w osadzarkach. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa ,1982 , nr 3-4.

7. Trawiński H.: Die mathematische Formulierung der Tromp-Kurve. Aufbereitungs -Technik 1976, nr 5 i 9.
8. Dawidowski A.: Wykorzystanie komputera w istniejącym systemie kontroli jakości węgla w kopalniach węgla kamiennego. Wiadomości Górnicze 1996 nr 2.
9. Zapala W.T.: Theoretical Model of the Curve Concerning Separation of the Jig (Teoretyczny model krzywej rozdziału osadzarki) Preprints of the 12th International Coal Preparation Congress 1994, Cracow.
10. Papée J.R.: Relationship Between the Density Composition of the Feed and the Jigging Imperfection (Zależność pomiędzy składem gęstościowym nadawy a imperfekcją wzbogacania w osadzarkach.) Preprints of the 12th International Coal Preparation Congress 1994, Cracow.
11. Głowiak S.: Zarys metody szybkiego i przybliżonego wyznaczania imperfekcji i gęstości rozdziału w osadzarkach na podstawie pomiarów składu produktów wzbogacania, materiały konferencji Automatyzacja Procesów Przeróbki Mechanicznej Węgla, Szczyrk, czerwiec 1996.
12. Norma Branżowa BN-81/0471-06 "Określenie skuteczności procesów wzbogacania grawitacyjnego".
13. International Standard ISO 923 "Coal Cleaning Tests - Expression and Presentation of Results."
14. Wyniki badań technologicznych osadzarek wykonanych przez Główny Instytut Górnictwa, materiały nie publikowane.

Recenzent: Doc. dr inż. Stanisław Błaszczński

Wpłynęło do Redakcji 2.10.1996 r.

Abstract

The precision of determining of imperfection or probably dissipation during experiments, depends on many factors - some of them are subjective. The influence of subjective factors is so big that in order to be sure about comparativeness of different results from other laboratories - this affect of this factors would be decreased. Some of these factors and methods of decreasing were presented.