

Andrzej Pomianowski

Zakład Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN

OGRANICZENIA W BADANIACH MODELOWYCH UKŁADÓW FLOTACYJNYCH I PERSPEKTYWY ULEPSZENIA TEGO TYPU BADAŃ

Zarówno stan, jak też perspektywy rozwoju modelowych ujęć procesu flotacji wiąże się ściśle z istnieniem odpowiedniego aparatu matematycznego, ilością i różnorodnością stosowanych przyrządów pomiarowych. W niniejszym opracowaniu referatowym przedstawiona zostanie do dyskusji tylko pewna sugestia, dotycząca możliwej linii rozwoju tej dziedziny badań. Szczegółowa analiza zagadnienia, przy istniejącym ogromnym materiale laboratoryjnych prób przybliżeń realnego procesu, musiałaby z konieczności być opracowaniem monograficznym.

Można wyróżnić dwa sposoby podejścia do zagadnień modelowania. Pierwsze opisujące przebieg procesu jako całości, drugie - syntezujące ten przebieg z mechanizmów procesów cząstkowych. W pierwszych chodzi raczej o dostarczenie opisu rzeczywistego procesu przy użyciu parametrów koniecznych i wystarczających, bez szczegółowego wnikania w mechanizmy, drugi ma na celu opis uwzględniający zrozumienie wszystkich zjawisk istotnych dla przebiegu flotacji.

Obydwa sposoby ujmowania problemu można zilustrować na przykładzie bieżąco publikowanych opracowań. Pierwszy typ podejścia został zaprezentowany przez Haynmana w pracy zreferowanej na XI IMPC, drugi zawarty jest w referacie Bilsinga, wygłoszonym z końcem ubiegłego roku na seminarium zorganizowanym we Freibergu. W szerokim zrozumieniu zakresu tej dyscypliny wiedzy - oba typy podejścia można zakwalifikować jako fizykochemiczne. Prezentują one przy tym raczej podejście naukowo-badawcze niż inżyniersko-praktyczne.

Trzeba równocześnie zaznaczyć, że żadna praca naukowa z dziedziny flotacji nie zdołała dotychczas podważyć przekonania, że najczulszym wskaźnikiem efektu zmian poszczególnych parametrów - jest sam proces flotacji. Na wprowadzone zaburzenie układ reaguje odpowiednią

polegającą na zmianie podstawowych wskaźników dobroci procesu, a więc wychodu koncentratu, uzysku cennego składnika oraz jakości koncentratu i odpadów. Oczywiście eksperymenty optymalizacyjne przeprowadzane na pełną skalę przemysłową muszą być poprzedzane wielostopniowymi badaniami w kolejno powiększanych skalach. Szczególną troską specjalistów jest jednak, ażeby ilość koniecznych etapów przy opracowaniu nowych technologii sprowadzić do minimum. Istotnym problemem jest tu niebezpieczeństwo wypaczenia obrazu rzeczywistości przemysłowej przy pomniejszaniu skali eksperymentu.

Rola inżyniera-technologa, łączącego dużą wiedzę fachową, stale aktualizowaną, z bogatym doświadczeniem praktycznym, jest jasno w ustawieniu odpowiednich eksperymentów określona, natomiast rola fizyko-chemika, badacza pozostaje marginesową. W większości przypadków ogranicza się ona do wyjaśniania podstaw prawidłowości i mechanizmów już zaobserwowanych procesów i najczęściej wykorzystywanych już w określonym stopniu w praktyce.

Uzyskiwane wyniki badań naukowych służą natomiast w zasadniczym stopniu jako podbudowa, uzupełnienie czy rozszerzenie wiedzy inżynierjno-technicznej, nie pretendując do zastępowania specyficznych metod oferowanych przez technologię. Zastępowanie takie nie jest możliwe biorąc pod uwagę fakt, że nie istnieje w skali badań laboratoryjnych flotacja modelowa, adekwatna pod każdym względem do rzeczywistości technicznej. Główną przyczyną niemożliwości zmniejszenia skali wydaje się złożona charakterystyka hydrodynamiczna układu. W konsekwencji przebadane w skali laboratoryjnej prawidłowości fizyko-chemiczne mogą nie realizować się w skali technicznej.

Jak przebiegają usiłowania przygotowania modelu matematycznego ujmującego całokształt fizykochemicznych parametrów flotacji, można ocenić porównując dwie próby, zaprezentowane w odstępie sześcioletnim, na VIII i XI IMPC. Konieczność rozłożenia przebiegu procesu na etapy utrzymuje się wprawdzie, uwzględniono jednak wiele dodatkowych czynników. Powoduje to, że część dawniej opracowanych fragmentów modelu staje się szczególnym przypadkiem w modelu nowym. W niektórych jednak elementach ujęcie nowsze uwzględnia tyle dodatkowych czynników, że porównanie wniosków z wynikiem rozważań starszego opracowania staje się wogóle niemożliwe. Mimo widocznego postępu, nowy model pozostaje nadal tylko grubym przybliżeniem rzeczywistości. Nakreśliły krótko drogę rozwoju.

Najwcześniejsze próby ujęcia matematycznego przebiegu flotacji sprowadzały go do pewnej analogii z kinetyką reakcji chemicznej, w której proces najwolniejszy decyduje o przebiegu całości. Należało zatem odszukać ten zasadniczy etap, elementarny akt flotacji, ażeby

uzależnić od niego efekt globalny. W publikacjach Frumkina i Rebindera wskazano na akt zlepiania pęcherzyka i ziarna jako akt elementarny, przy czym prace Dierjagina dostarczały bardziej ilościowych kryteriów tym rozważaniom. Krok następny w rozwoju modelu można też zilustrować analogią chemiczną, jako uwzględnienie wielostopniowości procesu. Opis przebiegu takiego procesu wymaga wprowadzenia większej ilości parametrów, których zmienność jednoznacznie wpływa na wynik końcowy.

Zaprezentowane na VIII IMPC opracowanie Miki i Furstenaua oparte zostało na założeniu analogicznej roli stężenia ziaren mineralnych i pęcherzyków powietrza w determinowaniu szybkości wszystkich etapów procesu. W nowszym ujęciu Haymmana obszar w którym zachodzi flotacja podzielony został na dwie, oddzielnie rozpatrywane części: "fazę" zawieszinową i "fazę" pianową. W stabilnym, stacjonarnym stanie przebiegu procesu - przez obydwa te obszary przepływa strumień rozdzielonej rudy, wody, odczynników i powietrza, dzieląc się pomiędzy koncentrat i odpady. Jasne warunki początkowe i graniczne pozwalają, przy zbilansowaniu przepływów ocenić parametry konieczne do opisu układu. W obszarze zawiesziny, dla określenia jej równania stanu - autor uzasadnia potrzebę określenia stężenia swobodnych ziaren, swobodnych pęcherzyków i zmineralizowanych pęcherzyków. Dla opisu piany poprzez jej równanie stanu proponuje parametry: powierzchni właściwej piany - odniesionej do jednostki objętości, stopnia mineralizacji granicy faz ciecz-gaz, stężenia swobodnych ziaren w błonkach cieczowych piany, oraz zawartości wody w pianie. Kończąca dyskusja rezultatów wyprowadzeń wykazuje, że uproszczenie wyników jest możliwe tylko w warunkach gdy lokalne wartości wspomnianych wyżej parametrów można uważać za proporcjonalne do ich wartości średnich w układzie. Trudno w tej chwili oczekiwać, ażeby dla realnych układów istniały możliwości wyznaczenia wartości wszystkich potrzebnych parametrów, dla praktycznego wykorzystania modelu.

Ciekawą mogłaby się okazać próba zastosowania wyprowadzonych zależności do wyliczenia, przy zastosowaniu maszyn elektronowych, powierzchni odpowiedzi na założone zmiany parametrów.

Autor w konkluzji wywodów kładzie raczej nacisk na zastosowany sposób rozumowania, wprowadzone nowe hipotezy i nowe zmienne charakterystyczne procesu, niż na sprawdzenie stosowalności wniosków do układów praktycznych. Wyraźnie podkreśla też ograniczenia stosowalności modelu wynikające z przyjętych założeń upraszczających. (Zśród tych założeń, za najważniejsze można uznać przyjęcie, że wszystkie ziarna są jednakowe, wszystkie pęcherzyki gazu mają bardzo zbliżone

oraz ruchy poszczególnych elementów - ziaren, baniek, agregatów - w zawieszinie, przebiegają niezależnie od obecności innych elementów tego samego rodzaju).

Głosy w dyskusji nad referatem wyrażały raczej pesymizm. Nie wydaje się bowiem możliwe opracowanie na wskazanej drodze jednego tylko modelu, na tyle ogólnego, ażeby opisać wszystkie możliwe przebiegi choćby tylko jednego rodzaju flotacji, "klasycznej" flotacji pianowej.

Kontynuowanie prac na zaprezentowanej powyżej drodze, pomimo, że zawarte w referatach poglądy przechodzą przez wstępne sita kompetentnych komitetów organizacyjnych, muszą doprowadzić do tak złożonych modeli, że ich użyteczność będzie problematyczna.

Realizowana jest także druga koncepcja poszukiwania rozwiązania przez tworzenie modeli "fragmentarycznych", a nie "całościowych". Procesy częściowe flotacji, wedle podziału zaproponowanego przez Bilsinga i współpracowników są już w dużym stopniu przebadane. Model procesu zachodzącego bezpośrednio przed oraz w samej komorze flotacyjnej podzielony został na pięć nierównocennych, jak się wydaje, etapów. Etap pierwszy, przygotowawczy - jest czteroczkłowy. Składa się z:

- 1) procesu zdyspergowania ziaren ciała stałego w wodzie, wytworzenia zawiesziny flotacyjnej,
- 2) wprowadzenia do układu zdyspergowanego strumienia powietrza,
- 3) wprowadzenia strumienia odczynników,
- 4) modyfikacji w tak utworzonym układzie wielofazowym i wieloskładnikowym, powierzchni międzyfazowych, przez sorpcję zarówno naturalnych składników roztworu, jak też cząstek, względnie jonów dodatkowych odczynników.

Etap drugi polega na zbliżaniu się, pod działaniem sił zewnętrznych, wywołanych intensywnym mieszaniem ziaren i pęcherzyków, o przygotowanych sorpcyjnie powierzchniach.

Etap trzeci stanowi właściwy, elementarny akt flotacyjny, zlepiania ziarna z pęcherzykiem powietrza, pod wpływem sił wewnętrznych, sił powierzchniowych; przebiega on w dwu stadiach nazwanych - w myśl rozwijanej przez Scheludkę teorii flotacji, stadiami "przed kontaktem" i "po kontakcie".

Etap czwarty jest transportem agregatu: pęcherzyk - ziarna, a więc zmineralizowanej banieczki powietrza, przez turbulentną zawieszinę.

Ostatni, piąty etap polega na tworzeniu się i oddzieleniu od układu - trójfazowej, zmineralizowanej piany. O ile zależności

przebiegów etapów cząstkowych od zmienności charakteryzujących je parametrów są w znacznej mierze opisane, to pozostaje otwarte pytanie, jak wspomniane zmiany parametrów w obrębie wybranego procesu cząstkowego wpływają na odpowiedź układu jako całości. Do tej pory badania prowadzone we Freibergu, we współpracy ze szkołą Scheludki, a częściowo w oparciu o jego koncepcje teorii procesu flotacyjnego, zogniskowane były na wyjaśnieniu mechanizmu aktu zlepiania ziarna z pęcherzykiem. Ażeby ocenić, czy badania te mogą dawać odpowiedź nie tylko na pytanie o szybkość wyniesienia, ale i o selektywność procesu, musiałyby być rozciągnięte na wszystkie składniki zawiesiny flotacyjnej. Jeśli etap zlepiania istotnie w jakimś konkretnym układzie decyduje o wynikach flotacji, to powinna istnieć korelacja pomiędzy selektywnością wzbogacania, a stosunkiem szybkości zlepiania.

Przedstawione wyżej fakty wskazują na dwutorowość wysiłków, rozbieżność dążeń na dwa różne kierunki opisów. Model całościowy ma wskazać najmniejszą liczbę parametrów, których wartości należy znać, ażeby np. w "dwufazowym" układzie wyliczyć odpowiedzi na zmiany warunków procesu, model procesów cząstkowych oferuje perspektywę "zmontowania" z nich opisu zachowania całości.

W dziedzinie badań kinetyki procesów chemicznych istniało początkowo przekonanie, iż wnikanie w mechanizm każdego indywidualnego procesu chemicznego i równoczesny opis formalny szybkości ich przebiegu umożliwi opracowanie ogólnej teorii. Obecny postęp stał się możliwy dzięki wyraźnemu rozgraniczeniu formalnego opisu kinetyki ogólnego procesu, przez wyznaczanie jej rzędowości, bez znajomości szczegółowego mechanizmu przebiegu. Jeśli natomiast, dzięki dodatkowym informacjom potrafimy wniknąć w mechanizmy procesów cząstkowych, składających się na ogólny wynik reakcji, to opisujemy je tym samym formalizmem co proces ogólny. Od natury konkretnego procesu zależy, czy jako jednoetapowy ma bezpośredni związek kinetyki z mechanizmem, czy decyduje mechanizm najwolniejszego etapu, czy wreszcie ogólna szybkość jest bardzo złożoną funkcją szybkości przebiegu procesów częściowych.

Nie można wykluczyć, że opis zachowania układów flotacyjnych zostanie oparty na analogicznych zasadach jak obecne teorie kinetyki chemicznej. Nasuwa się wniosek, iż studiowanie mechanizmów przebiegu procesów częściowych winno rozwijać się równolegle z próbami określania formalnych równań przebiegu procesu ogólnego. Równania te muszą dawać możliwość wyliczania podstawowych parametrów flotacji: wychodu, uzysku i selektywności rozdziału składników pomiędzy koncentrat i odpady. Wynika stąd w sposób naturalny postulat, żeby zarówno

w opisach "całościowych", jak też w modelach "procesów cząstkowych" dążyć do wprowadzania tych samych parametrów do wyrażania "szybkości" i "wydajności" oraz "selektywności" procesów. Również parametry wyrażające "równania stanu" układów muszą uwzględniać te same wielkości - w obrębie obu omawianych typów modelowania. W przeciwnym razie, zamiast spotkać się, wyniki różnych typów prac zwiększać będą jeszcze "szumy" informacyjne.

Badania w dziedzinie kinetyki chemicznej dostarczyły już wielu tzw. "podręcznikowych" metod określania zarówno cech formalno-kinetycznych, jak też mechanizmów procesów. Wydaje się, że z obecnych usiłowań w dziedzinie ujęć "całościowych" modelu flotacji utrzymują się w przyszłości te elementy, które dzięki ścisłemu sprecyzowaniu parametrów koniecznych i wystarczających do opisu przebiegu procesu umożliwiają formalny, lecz dostatecznie prosty opis układu rzeczywistego. Modele złożone z etapów częściowych, uwzględniając tzw. "akt elementarny" pozwolą prawdopodobnie na sklasyfikowanie różnych możliwych procesów, dając w rezultacie nie jeden, lecz kilka typów modeli.

Natura konkretnego układu musi rozstrzygać, czy jego formalny opis może być podporządkowany prostemu, jednoetapowemu ujęciu, czy o sumarycznym wyniku decyduje w sposób krytyczny przebieg samego aktu elementarnego, czy wreszcie nie można pominąć współdecydowania o wyniku końcowym czynników ukrytych równocześnie w wielu etapach, w wielu procesach cząstkowych. Analogia do kinetyki chemicznej, kilkakrotnie dotychczas wykorzystana, pozwoliłaby zarówno na klasyfikację formalną konkretnych układów, jak też przez badanie mechanizmów na klasyfikację, która ujawnia podstawowe typy procesów. Wydaje się, że może okazać się pożyteczne włączanie do rozważań modelowych w szerszym jeszcze stopniu etapów przygotowawczych flotacji. Istnieje wiele przesłanek by sądzić, że parametry charakteryzujące np. proces rozdrabniania czy klasyfikacji decydują w wielu przypadkach o wyniku rozdziału flotacyjnego. W języku kinetyki - o szybkości, wydajności i selektywności procesu może współdecydować zarówno "reakcja zlepiania", "reakcja mineralizacji", jak np. "reakcja rozdrabniania" czy "klasyfikacji".

Podsumowując wywody, wydaje się, że z równą uwagą należy śledzić rozwój koncepcji najwłaściwszego i najbardziej uniwersalnego "podziału" procesu na etapy, jak też usiłowania racjonalnego zminimalizowania kompletu parametrów koniecznych do opisanie stanu układu. Zasadniczym problemem takiego wyboru parametrów, jest umożliwienie jednolitego i uniwersalnego stosowania w najrozmaitszych ujęciach

modelowych. Tak jak konieczne jest w praktyce jednolite stosowanie pojęć wychodu, zysku czy składu rudy, koncentratów i odpadów, konieczne wydaje się przedyskutowanie i ujednolicenie, poprzez dyskusję, w kompetentnym gronie fachowców przydatności już stosowanych, a także proponowanych, (np. w pracy Haymana) nowych parametrów. Nagromadzony materiał doświadczalny wydaje się już dostatecznie obszerny, ażeby dokonać przeglądu i selekcji pojęć, które będą konieczne i wystarczające do realizacji ostatecznego celu.