

Bogusław Woźniakowski
Andrzej Grotowski
Zakład Przeróbki Rud
Z.B.i P.M. "CUPRUM"

POWIĘKSZENIE SKALI - PROGRAMOWANIE BADAŃ

Owoce współpracy przemysłu z instytucjami naukowymi jest rosnąca ilość nowych opracowań technologicznych. Chociaż większość tych opracowań kończy się wnioskami pozytywnymi, z reguły tylko niewielka ich część doczeka się przemysłowej realizacji. Zachodzi pytanie co wpływa na ten stan rzeczy?

Problem powiększania skali jest zagadnieniem bardzo złożonym. Wiadomo, że wstępne badania prowadzić należy w małej skali aby objąć możliwie duży zakres zmienności podstawowych parametrów. Część parametrów prowadzenia procesu pomija się przy tym, odkładając ich dokładniejsze zbadanie na okres późniejszych badań w skali większej. Czynniki te, traktowane jako drugorzędne przy badaniach np. w skali laboratoryjnej, stają się problemami pierwszej rangi przy próbach przeniesienia procesu do skali przemysłowej. Stąd wynika m.in. konieczność stopniowego gromadzenia doświadczeń w skalach ułamkowych.

Sądzi się na ogół, że do realizacji przemysłowej dochodzi się głównie na drodze doświadczalnej, budując instalacje coraz większe, od instalacji laboratoryjnej począwszy, poprzez instalację ćwierćtechniczną, półtechniczną i na zakładzie doświadczalnym (pilotowym) kończąc. Praca w każdej z tych skal nastrocza szereg właściwych sobie problemów, które kolejno należy rozwiązywać. Postępowanie takie ma jednak wiele istotnych niedogodności:

- wieloetapowy program badań jest kosztowny i czasochłonny, co często powoduje "zestarzenie się" nowej technologii zanim jeszcze doczeka się ona realizacji przemysłowej,

- koncepcja procesu ustalona zostaje na początku badań, a praktycznie przed ich wykonaniem, a potem możliwość zmian maleje, w wyniku czego przy realizacji przemysłowej sami twórcy "zrobiliby to jeszcze raz ale inaczej",

- rozwiązania techniczne stosowane z powodzeniem w skali mniejszej, w której gromadzono doświadczenia, okazują się często mniej skuteczne w pełnej skali przemysłowej,

- optymalizacja poszczególnych operacji i procesów technologicznych nie daje gwarancji, że zakład przemysłowy w skład którego one wejdą będzie pracował optymalnie.

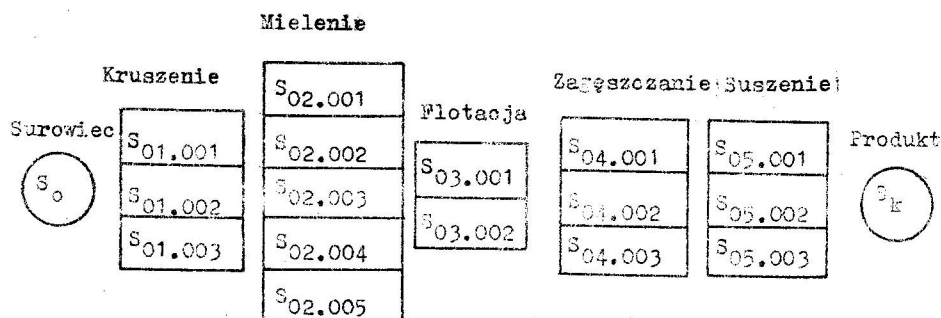
Ponadto, tendencje do skracania drogi "od pomysłu do przemysłu" wzmagane są przez optymistyczne informacje o sukcesach metod modelowania matematycznego pozwalających na projektowanie z pominięciem niektórych etapów badań oraz przez informacje o udanych realizacjach przemysłowych, w których udział badań był minimalny.

Skądinąd wydaje się, że jedną z głównych przyczyn niepowodzeń jest złe programowanie badań i przedstawianie ich wyników w postaci nieprzydatnej dla projektantów.

PROGRAM BADAŃ

Ograniczymy się tu tylko do omówienia tego typu badań, których efektem jest opracowanie nowych metod produkcji. Pierwszą czynnością będzie zdefiniowanie problemu.

Na ogół znany jest stan fizyczny surowca, którym dysponujemy, oraz narzucona jest z góry ilość i jakość produktu, który należy otrzymać. Te zespoły parametrów określają obszar stanów wyjściowych i obszar stanów końcowych. Z reguły przejście od zespołu cech fizycznych opisujących obszar stanów wyjściowych S_0 , do zespołu stanów końcowych S_k , możliwe jest na kilka sposobów technicznych. Problem polega jednak nie tylko na podaniu rozwiązania technicznego, należy wybrać takie rozwiązanie, które zapewni przy tym utrzymanie minimum jednostkowych kosztów przerobu. To dodatkowe ograniczenie stanowi kryterium optymalizacji procesu.



Rys. 1.

Na rys. 1. przedstawiono blokowy schemat specjalnie uproszczonego procesu. Bloki oznaczają poszczególne operacje lub procesy jednostkowe w układzie następczym i alternatywnym. Każdą z tych operacji charakteryzuje pewien stan materiału, opisany zespołem wartości dyskretnych stanowiących funkcję stanu S_i , przy czym $i = 0, 1, 2, \dots$. Zmiana stanu fizycznego materiału wiąże się z koniecznością poniesienia określonych jednostkowych kosztów przerobu na danym etapie, dlatego też każdej funkcji stanu S_i przypisana jest określona funkcja kosztów d_i , tj. kosztów zmiany fizycznego stanu jednostki materiału przy przejściu ze stanu $S_{i-1} \rightarrow S_i$. Nie wszystkie alternatywnie równoległe rozwiązania techniczne korespondują ze sobą, np. gdy na etapie kruszenia uzyska się tylko uziarnienie końcowe 80% - 20 mm nie będzie można użyć młynów wymagających nadawy o ziarnach - 10 mm, lub też koszty mielenia będą większe.

Te, oraz inne informacje sformalizować należy w postaci stabilizowanych zbiorów wartości dyskretnych, których przykłady przedstawiono w tablicy 1 i 2. Przy wypełnianiu tablic okazuje się w praktyce, że brak jest szeregu informacji i schemat blokowy przedstawiony na rys. 1. stanowi de facto program badań. Dodatkowych badań wymaga często i surowiec, gdyż w zależności od proponowanej metody obróbki trzeba go opisać inną funkcją stanu (raz podaje się np. skład chemiczny, innym razem mineralny, zawartość niektórych substancji przeszkadzających albo też uzupełnienia wymaga np. sezonowy przedział zmian wilgotności nadawy, itp.).

Bez wątpienia w praktyce znaczną część informacji można uzyskać z literatury fachowej, z obserwacji pracy innych instalacji przemysłowych, z danych ofertowych itp. W rezultacie wykonać należy jedynie fragmentaryczne badania uzupełniające w skali laboratoryjnej, część badań wymaga skali ułamkowo-technicznej, a większość informacji czerpie się z możliwie starannie zaplanowanych doświadczeń w dużej skali. Naturalnie, jest tu miejsce na stosowanie metod modelowania matematycznego, jeżeli proces znany jest w dostatecznym stopniu, na statystyczne planowanie doświadczeń itp. W najkorzystniejszym z przypadków może się przy tym zdarzyć, że badania okażą się całkowicie zbędne. W ten sposób, bez badań, zaprojektowano i urochomiono w Polsce produkcję termicznego kwasu fosforowego [1].

TECHNOLOGIA I REŻIM TECHNOLOGICZNY

Po uzupełnieniu brakujących danych przystępuje się do ostatecznego rozwiązania problemu. Przebadanie wszystkich możliwych układów technologicznych zgodnie z zasadami kombinatoryki już w stosunkowo

Tablica 1

Kruszenie rudy. Blok nr 01

Nr pozycji	Nr pozycji korespondującej	Nazwa urządzenia, producent, typ, ilość sztuk dla przepustowości 15 t/godz.	Koszt amortyzacji na 1 t produkcji	Jednostkowy koszt eksploatacyjny	Jednostkowy koszt prod. ogółem, d	Oziarnienie, S		Załoga
						na wejściu	na wyjściu	
1	2	3	zł/t	zł/t	zł/t	mm	mm	osób
01.001	02.001 02.003 02.004 02.005	Kruszarka stożkowa GIANT-2, 3 szt. po 5 t/godz.	0,002	0,030	0,032	100% -1000	80% -15	2
01.002	02.001 02.002 02.003 02.004 02.005	Kruszarka szczękowa KRAFT-A, 2 szt. 2 x 8 t/godz.	0,001	0,027	0,028	100% -1000	80% -10	2
01.003	02.003 02.004 02.005	Kruszarka stożkowa URAL-18, 1 szt. 1 x 18 t/godz.	0,001	0,031	0,032	100% -1000	80% -20	1

T a b l i c a 2

Mielenie rudy. Blok nr 02
(oznaczenia rubryk jak w tabelicy 1)

1	2	3	4	5	6=5+4	7	8	9
02.001	03.001	Młyn MAKRUM-Q 2 szt. x 8 t/godz.	0,008	0,012	0,020	80% -15	85% -0,2	1
02.002	03.002	Młyn GRIND-II 5 szt. x 3 t/godz.	0,007	0,012	0,019	80% -10	90% -0,15	3
02.003	03.002	Młyn ROBUST-F 3 szt. x 5 t/godz.	0,006	0,014	0,020	80% -20	80% -0,2	1
02.004	03.002	Młyn X-70 1 szt. x 15 t/godz.	0,004	0,012	0,016	80% -20	85% -20	2
02.005	03.001	Młyn X-70 2 szt. x 8 t/godz.	0,005	0,024	0,029	80% -20	95% -0,1	2

- Opisuje się model fizyczny procesu dla danego etapu przerobu materiału.

- Wartości zmiennych decyzyjnych i zmiennych stanu przedstawia się w postaci wartości dyskretnych aby nie wprowadzać nieskończonej ilości kombinacji dopuszczalnych wartości zmiennych.

Wybór optymalnych wartości S_i i d_i dla każdego etapu przeróbki przebiega następująco [3]:

1) Zaczynając od stopnia N konstruuje się kolejno tablice możliwych wartości S_i , d_i dla każdego S_{i+1} (przykład tabl. 1 i 2).

2) Tworzy się listę minimalnych wartości skumulowanej funkcji celu uzyskanych w poprzednich stopniach, od $i+1$ do N, dla wszystkich wartości d_{i+1} . Jest to lista obejmująca sumę minimalnych kosztów przerobu materiału od etapu $i+1$ aż do uzyskania produktu końcowego.

3) Tworzy się listę funkcji celu dla wszystkich możliwych wartości S_i i d_i dla tego etapu przerobu materiału (są to jednostkowe koszty przerobu surowca od etapu i włącznie).

4) Dodaje się te funkcje celu (p.3) do skumulowanych funkcji celu (p.2) uzyskanych poprzednio aby uzyskać w rezultacie tabelarycznie ujęte sumy kosztów przerobu.

5) Przeszukuje się tę tablicę wybierając minimalne koszty dla każdego z możliwych S_i .

6) Powtarza się kroki 1-5 aż do uzyskania wartości funkcji S_0 i d_0 . Innymi słowy, postępowanie takie pozwala znaleźć minimalną wartość jednostkowych kosztów przerobu surowca opisanego funkcją stanu S_0 (przypomnijmy, że funkcja ta to zbiór wartości dyskretnych opisujących stan fizyczny surowca, jego uziarnienie, skład procentowy, wilgotność itp.), do stanu fizycznego opisanego funkcją S_N ; koszty te wynoszą d_0 .

Z kolei przeprowadza się technologiczną analizę układu N-etapowej przeróbki, zaczynając tym razem od operacji 1. Czynność tę można wykonać również przy pomocy maszyny uzyskując wydruk typów maszyn i urządzeń dla kolejnych etapów przeróbki według korespondujących ze sobą pozycji składających się na znalezione uprzednio minimum kosztów przerobu. W tablicy 1 i 2 będą to np. pozycje 01.002 - 02.002. Wydruk ten może zawierać również wiele innych niezbędnych do projektowania informacji, takich jak nazwę producenta, ilość sztuk urządzeń danego typu pracujących równolegle dla zapewnienia wymaganej mocy przerobowej, czas lub temperaturę ich pracy, ilość osób obsługi itp. W ten sposób otrzymuje się podstawowe dane do projektu tzw. "zamaszynowania", można ocenić ilość zakłogi, określić wielkość i rodzaj niezbędnych urządzeń towarzyszących, socjalnych, administracyjnych itp.,

dysponując ponadto podstawowymi parametrami, na których oparty będzie w przyszłości reżim technologiczny nowego zakładu.

Warto podkreślić, że w zasadzie wynikiem takiego projektowania powinien być zakład pilotowy. Pozostaje przecież jeszcze wiele innych problemów do rozwiązania, takich jak optymalizacja programu produkcji i optymalizacja jej wielkości. Rozwiązania tych problemów oczekuje się już od danych ruchowych.

Na zakończenie kilka uwag.

Metoda programowania dynamicznego pozwala określić optymalny z punktu widzenia całkowitych kosztów przerobu proces technologiczny. Nie oznacza to bynajmniej jednak, że wszystkie operacje z których ten proces będzie się składał muszą być prowadzone w sposób optymalny.

Metoda ta narzuca program badań naukowych, który stanowi z projektowaniem nierozdzielalną całość, decyduje o potrzebie przeprowadzenia badań literaturowych, patentowych, ofertowych i innych. Określa ponadto skalę w jakiej należy przeprowadzać te badania oraz formę przedstawienia wyników.

Programowanie dynamiczne daje jedyną w swoim rodzaju możliwość doboru rodzaju urządzeń, jak również ich typów i parametrów pracy właściwych dla danej wielkości produkcji. Zmiana wielkości produkcji może prowadzić do istotnych zmian koncepcji rozwiązań technologicznych na niektórych etapach przeróbki. Stąd wniosek, że zakład pilotowy powinien być w zasadzie ostateczną wersją pierwszego ciągu technologicznego przyszłego zakładu produkcyjnego.

LITERATURA

1. Synowiec, Organizacja prac badawczo-rozwojowych, Przemysł Chem. 1974, nr 4 (53), str. 181-185.
2. R.A. Bellman, Gen. Dreyfus, Programowanie dynamiczne, PWE, Warszawa 1967.
3. J. Goliński, Metody optymalizacyjne w projektowaniu technicznym, WNT 1974.