

Kazimierz Smoleński

## Podstawowe zasady technologii chemicznej.

(Streszczenie odczytu, wygłoszonego na posiedzeniu Polskiego Towarzystwa Chemicznego d. 25 października r. 1923)

Podstawowymi zasadami technologii chemicznej nazywam te, którym podporządkowane być winno wykonanie każdego procesu technologicznego: chemicznego, fizycznego, mechanicznego i t. d. Zasad tych poszukiwać należy na granicy, na skrzyżowaniu dwóch gałęzi wiedzy: *energetyki i ekonomiki*. Zadaniem technologii chemicznej, jako nauki, jest opracowanie takich sposobów i narzędzi przemysłowego wytwarzania potrzebnych ludzkości przetworów, które wymagają najmniejszego zużycia materji i energii na jednostkę produktu oraz zapewniają największą szybkość procesów<sup>1)</sup>

Z takiego pojmowania zadania technologii wypływają trzy pierwsze zasady technologii:

I) *Zasada największej wydajności produktu z surowca*. Zasada ta nie potrzebuje uzasadnienia. Wypływają z niej niektóre zasady wtórne, jako to: najmniejszego zużycia materiałów pomocniczych, regeneracji użytych materiałów, wyzyskania produktów ubocznych i odpadków fabrykacji i t. d.

II) *Zasada największego skutku użytecznego przemian energetycznych*. I ta zasada nie wymaga uzasadnienia. Chemika-technologa interesować tu mogą przedewszystkiem takie przemiany energetyczne, jak wymiana ciepła (ogrzewanie, oziębianie), przemiana energii cieplnej na ukrytą energję pa-

---

<sup>1)</sup> Technologia chemiczna jako nauka, Przemysł Chemiczny r. 1921.

rowania (przy destylacji, suszeniu i t. p.), wymiana energii stężenia (przy ługowaniu, wymywaniu, pochłanianiu), i t. p.

Z zasady tej wypływają też niektóre zasady wtórne, jako to: regeneracji energii, np. cieplnej, wyzyskania energii odpadkowej, zwykle też cieplnej i t. d.

Dwie pierwsze zasady są w gruncie rzeczy zawarte w zasadzie II-ej, którą możemy też nazwać zasadą największej wydajności przemian energetycznych, zaliczając do nich także przemiany chemiczne.

III) *Zasada największej szybkości procesów technologicznych.* Zasada ta zasługuje na wielką uwagę technologa, większą aniżeli to miało miejsce dotychczas. Zmuszają nas do tego dzisiejsze warunki ekonomiczne i konkurencja przemysłowa. Mało jest zrobić dobrze, trzeba jeszcze zrobić szybko. Szybkość  $v$  każdej przemiany energetycznej zależy przede wszystkim od siły bodźczej  $P$  oraz od siły oporów  $F$ :

$$v = \frac{dE}{d\tau} = \varphi(P, F),$$

gdzie  $E$  oznacza ilość energii, a  $\tau$  — czas, przyczem wiadomo, że

$$\frac{\partial v}{\partial P} > 0, \text{ a } \frac{\partial v}{\partial F} < 0.$$

Dla wielu przypadków przemian energetycznych, szczególnie fizycznych, mamy prostą zależność:

$$v = \frac{P}{f},$$

gdzie  $f$  jest współczynnikiem oporu.

Rozpatrzenie ruchu punktu materialnego, zachodzącego pod wpływem siły bodźczej,  $P$  i siły oporu  $F$ , czyli pod wpływem siły  $P - F$ , prowadzi do wniosku, że po pewnym czasie ruch ten zbliża się do ruchu ustalonego, o stałej szybkości, a to dlatego, że przyspieszenie ruchu stopniowo spada, zbliżając się do zera, w miarę jak szybkość wzrasta, ponieważ wraz ze wzrostem szybkości wzrasta siła oporu  $F$ .

Zależność siły  $F$  od szybkości  $v$  da się wyrazić ogólnym wzorem:



$$F = f_1 v + f_2 v^2 + f_3 v^3 + \dots$$

W przypadku, w którym

$$F = f_1 v,$$

przy ruchu ustalonym, dla którego

$$P - F = 0,$$

mamy zależność:

$$P - f_1 v = 0, \text{ czyli } P = f_1 v, \text{ skąd}$$

$$v = \frac{P}{f_1}$$

t. j. wskazaną wyżej prostą zależność.

Wzór ten może być zastosowany wtedy, kiedy: 1) szybkość ruchu ustala się bardzo prędko (momentalnie), a prócz tego 2) kiedy siła oporu  $F$  jest wprost proporcjonalna do pierwszej potęgi szybkości. Rozważania z mechaniki prowadzą do wniosku, że ruch ustali się tem prędzej, im mniejszą jest masa ciała  $m$  oraz im większa jest siła oporu  $F$  w stosunku do siły bodźczej  $P$ .

Co do tego, w jakim przypadku  $F = f v$ , to odpowiedź na to pytanie dają nowsze badania w dziedzinie hydrodynamiki, które pouczają nas, że zależność ta ma miejsce póty, póki liczba  $R$ , t. zw. liczba Reynolda,

$$R = \frac{v \cdot a}{\nu}$$

nie przekroczy pewnej wartości granicznej. We wzorze na  $R$  oznaczają:  $v$  — szybkość ruchu,  $a$  — wymiar ciała (np. średnicę kuli),  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$  lepkość t. zw. kinematyczną środowiska.

Zależność więc:  $F = f \cdot v$  będzie tem ściślej zachowana, im mniejsza jest szybkość ruchu, im mniejsze są wymiary (a więc i masa) ciała oraz im większą jest lepkość środowiska, tj. im większy jest współczynnik oporu.

Jako przykłady takiego ruchu można przytoczyć:

a) *szybkość przepływu cieczy przez włoskowate rurki*, kiedy możemy stosować wzór Poiseuille'a, według którego:

$$v = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2)}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Wzór ten da się zastosować do oznaczenia *szybkości cedzenia* przez warstwę osadu dostatecznie ścisłego (o wązkich kanalikach między cząsteczkami osadu):

$$v = k \frac{P}{f},$$

gdzie  $P$  — siła bodźcza, czyli ciśnienie na powierzchnię cedzącą, a  $f$  — współczynnik oporu.

b) *Szybkość przenoszenia ciepła*, która da się z dużym przybliżeniem wyznaczyć przez wzór:

$$v = \frac{T_1 - T_2}{\eta} = k (T_1 - T_2)$$

Przy reakcjach między dwiema masami o różnym stanie skupienia, dwiema fazami (przypadek, szczególnie ważny dla technologii), szybkość jest wprost proporcjonalna do powierzchni rozdziału:  $v = k \cdot S$ . Taka powierzchnia rozdziału może też być sztucznie wprowadzona między dwiema masami o jednokowym stanie skupienia, jako t. zw. przepona.

Dla technologii poważną rolę odgrywa *szybkość przeciętna*  $v_s$ , z jaką dany proces zachodzi. Oczywiście że

$$v_s = \frac{E}{\tau},$$

gdzie  $E$  — całkowita ilość energii, która uległa przemianie, a  $\tau$  — czas trwania przemiany. Dla przypadku, kiedy możemy stosować wzór:  $v = k \cdot (P_1 - P_2) = k \cdot \pi$ , w którym  $\pi$  oznacza siłę bodźczą, jako różnicę napięć energetycznych  $P_1$  i  $P_2$ , możemy wprowadzić:  $v_s = k \cdot \pi_s$ , a dla  $\pi_s$  znajdujemy wtedy zależność:

$$\pi_s = \frac{\pi_p - \pi_k}{\ln \frac{\pi_p}{\pi_k}},$$

gdzie  $\pi_p$  i  $\pi_k$  oznaczają początkową i końcową różnicę napięć. Wzory te pozwalają rozwiązać cały szereg zadań technologicznych.

IV) Dalsze rozważania nad wskazanymi trzema zasadami technologicznymi prowadzą do wniosku, że są one konieczne do zachowania, ale nie wystarczające do celowego rozwiązywania zagadnień technologicznych.



Praktyka technologiczna oraz elementarne rozważania prowadzą do wniosku, że wydajność procesu wzrasta w miarę przedłużania czasu jego trwania, t. j. w miarę zmniejszania przeciętnej jego szybkości. Mamy więc tu sprzeczność między dwoma wymogami, z których każdy technologicznie jest słuszny. Praktyka technologiczna godzi tego rodzaju sprzeczności w ten sposób, że ustępuje nieco z jednej lub drugiej zasady lub z obydwuch, zawiera pewnego rodzaju kompromis. Podstawą kryterjum do wyznaczania granic tego kompromisu jest *kalkulacja przemysłowa*. Przy pewnej wydajności procesu i pewnej przeciętnej szybkości znajdujemy *najniższe koszty produkcji*.

Rozważania te prowadzą nas do nowej zasady technologicznej, którą ośmielam się nazwać *zasadą umiaru technologicznego*. Zasadzie tej możemy nadać wyraz matematyczny, a to w następujący sposób.

Koszty produkcji  $B$  możemy w najprostszym przypadku przedstawić jak następuje:

$$B = S \cdot b + \tau \cdot c,$$

gdzie  $S$  — oznacza ilość potrzebnego surowca,  $b$  — cenę jego jednostki,  $\tau$  — czas zużyty na produkcję,  $c$  — koszt jednostki czasu, a więc np. koszt robocizny, amortyzację, koszty ogólne i t. p.

Ponieważ ilość surowca jest funkcją wydajności  $K$ , ta zaś ostatnia funkcją czasu:  $K = \varphi(\tau)$ , [która teoretycznie lub empirycznie może być ustalona], a więc i  $S = \varphi_1(\tau)$ , mamy:

$$B = b \cdot \varphi_1(\tau) + c \cdot \tau = \psi(\tau)$$

Ażeby znaleźć wielkość  $\tau$ , odpowiadającą zasadzie umiaru technologicznego, wystarczy znaleźć pierwszą pochodną funkcji  $\psi(\tau)$  i przyrównać ją do zera:

$$\psi(\tau) = 0.$$

Rozwiązanie tego równania daje nam czas trwania procesu  $\tau$ , odpowiadający najniższym kosztom produkcji, oraz odpowiadającą mu wydajność  $K$ .

Rozwiązanie tego zadania dla najprostszej reakcji  $A \rightleftharpoons B$ , prowadzi do wzorów:

$$B = \frac{100 \cdot \mu}{K} \cdot b + 100 \cdot \frac{\mu}{K} \cdot \frac{C}{A} \cdot \tau = 100 \cdot \frac{\mu}{K} \left( b + \frac{C}{A} \cdot \tau \right)$$

uwzględniając zaś:

$$K = 100 \frac{c^{k\tau} - 1}{e^{k\tau} - 1}$$

$$\text{mamy: } B = \mu \frac{e^{k\tau}}{e^{k\tau} - 1} \left( b + \frac{C}{A} \tau \right) = \psi(\tau),$$

$$\text{skąd: } \psi'(\tau) = \mu \frac{e^{k\tau}}{e^{k\tau} - 1} \left[ \frac{C}{A} - \frac{b + \frac{C}{A} \tau}{e^{k\tau} - 1} \right] = 0.$$

Przez pewne uproszczenia w założeniach możemy zamiast tego transcendentalnego równania otrzymać równanie drugiego stopnia, którego rozwiązanie daje odpowiedź praktyczną.

Analiza tego równania, które tu pomijamy, prowadzi do ciekawych wniosków co do wyboru  $\tau$  i  $K$  w zależności od ceny  $b$  surowca, od współczynnika szybkości reakcji  $k$ , współczynnika teoretycznej ilości surowca  $\mu$ , ceny „czasu” —  $C$  i t. d. Zależność między  $B$  i  $\tau$  może być też przedstawiona graficznie, mamy wtedy krzywą, która dla pewnej wartości  $\tau$  posiada minimum  $B$ .

W podobny sposób daje się rozwiązać cały szereg zagadnień technologicznych.

Wskazane cztery zasady wyczerpują podstawy technologii chemicznej, a właściwie technologii wogóle. Inne zasady i metody, choćby jeszcze bardzo ogólne, np. takie jak: zasada ciągłości wykonania procesów technologicznych, zasada rozwinięcia powierzchni reagujących mas, zasada wyrównania napięć reakcyjnych i inne, muszą już być podporządkowane tym zasadom naczelnym, są bowiem logicznym skutkiem chęci zadośćuczynienia podstawowym zasadom.

Warszawa, Maj 1924 r.

Politechnika.

