

Evoluția ingineriei chimice bazate pe paradigme

Alexandru Woinaroschy*

Paradigma este o construcție mentală larg acceptată, care oferă unei comunități pe perioadă îndelungată o bază pentru crearea unei identități de sine și ce va fi implicată în rezolvarea unor probleme.

Creierul este asemenea unui burete care absoarbe informațiile din jurul lui. Fără paradigmă, creierul nu ar putea controla fluxul continuu de informații pe care le are la dispoziție. El nu se poate descurca cu dimensiunea și complexitatea cantităților uriașe de informații pe care să le folosească în mod eficient. De aici rolul paradimelor în organizarea și prelucrarea informațiilor. În domeniul ingineriei chimice specifice (în sens restrâns al noțiunii) s-au impus trei paradigme unanim recunoscute. Voi face o prezentare restrânsă a acestora, o abordare mai detaliată fiind adresată specialiștilor domeniului. Explozia aplicațiilor (fabricațiilor) industriei chimice de la sfârșitul secolului al 19-lea și începutul secolului 20 a necesitat o sistematizare a cunoașterii proceselor în detaliu. A apărut noțiunea de **operație unitară**, care constituie prima paradigmă a ingineriei chimice. Astfel, zecile de mii de procese industriale chimice sunt constituite dintr-un număr mult mai mic (aproximativ 80) de operații unitare.

Fiecare operație unitară este definită prin:

- principiile teoretice fundamentale necesare formulării ecuațiilor fenomenelor implicate;
- metodele experimentale la scară de laborator sau pilot necesare ecuațiilor care nu pot fi formulate teoretic;
- căile pentru ridicarea de la scară de laborator sau pilot la scară industrială.

Pentru atingerea rezultatelor cerute de cercetarea, proiectarea și operarea proceselor, paradigma operațiilor unitare utilizează următoarele principii teoretice generale:

- ecuațiile de bilanț de moment, energie și masă;
- relațiile de echilibru termodinamic de fază;
- relațiile cinetice de moment, energie și masă (ecuațiile de transfer);
- condițiile financiare și ecuațiile corespunzătoare.

În acest mod, dacă proprietățile fizice ale materialelor precum și restricțiile tehnologice și economice sunt definite, este posibil să se obțină o soluție cantitativă pentru fiecare proces industrial chimic. Se poate afirma că, dacă chimistul gândește în reacții chimice, inginerul chimist gândește în operații unitare. Paradigma operațiilor unitare, dovedită excelentă pentru practica proiectării și exploatării proceselor, este săracă sub aspectul studierii la scară intimă a acestora. Drept urmare, la sfârșitul anilor '50 a fost creată o a doua paradigmă a ingineriei chimice, cea a **fenomenelor de transport**. Autorii acesteia (cu precădere Bird) au considerat importanța înțelegerii principiilor fizice ale proceselor decât folosirea oarbă a empirismului. S-a statuat că subiectul fenomenelor de transport trebuie să fie integrat în termodinamică, mecanică și electromagnetism ca una dintre „științele ingineresti-cheie”. Paradigma fenomenelor de transport abordează cele trei procese fizice elementare, care au loc în orice fel de operație unitară: transportul de impuls, energie și masă. Astfel, operațiile unitare pot fi considerate ca aplicații specifice acestor trei

processe fundamentale. Întrucât combinațiile de operații unitare generează tehnologii, combinațiile de procese de transport dau operațiuni unitare. Se atinge un grad de sintetizare și mai avansat: de la 80 de operații unitare, la trei fenomene de transport. Paradigma proceselor de transport focalizează mecanismele acestor procese, respectiv fenomenele care au loc în vecinătatea graniței a două faze fizice. Scopul paradigmei constă în înțelegerea profundă a cauzelor și efectelor elementare care explică caracteristicile și aplicațiile fiecărei operațiuni unitare. Nașterea celei de-a doua paradigme a fost, așadar, consecința necesității unei cunoașteri științifice profunde a fenomenelor care explică ceea ce se întâmplă în cadrul operațiilor unitare. Pentru completarea cunoștințelor incomplete, ingineria, în ultimă analiză, depinde în mare măsură de euristică. Fenomenele de transport se pot dovedi extrem de utile prin furnizarea de aproximări, începând cu estimări de ordin de mărime și mergând succesiv la aproximări mai precise, cum ar fi cele furnizate de teoria stratului limită. Prin analogia ecuațiilor cele trei fenomene de transport pot fi înlocuite cu unul singur, transportul de proprietate. Chiar dacă nu se introdusesse denumirea de paradigmă, profesorul Bratu a fost un maestru cu precădere al operațiilor unitare, dar și al fenomenelor de transport. Mărturie sunt excelențele tratate de operații unitare, după care au învățat ingineria chimică generații de studenți și doctoranzi.

În a doua parte a secolului XX, diversitatea produselor industriale (în multe cazuri cu proprietăți apropiate și cu aceeași utilizare) are o creștere uriașă și, în consecință, a evoluat concurența pe piață foarte puternică între companiile producătoare. Același lucru s-a întâmplat și cu produsele chimice. Importanța proprietăților și a calităților produselor chimice a devenit esențială. Până de curând, scopul principal al ingineriei chimice a fost realizarea procesului cu cel mai mic cost. Chiar și problemele legate de proces, cum ar fi fiabilitatea, puritatea produsului, controlul poluării etc., au fost în cele din urmă traduse în costuri care trebuie reduse la minimum. În schimb, proiectarea produselor chimice încearcă să obțină cea mai mare valoare adăugată pentru un produs prin proprietăți îmbunătățite ale produsului. Aceasta este o sarcină mai complexă decât un tratament matematic pentru a maximiza profitul. Profitul depinde într-un fel

neidentificat de setul complex de proprietăți ale produsului. Prin urmare, problemele de inginerie a produselor nu pot fi rezolvate prin abordări tradiționale de inginerie chimică. Soluționarea lor necesită o a treia paradigmă a ingineriei chimice, așa cum a sugerat prima dată în 1988 Comitetul pentru frontierele ingineriei chimice, respectiv **ingineria chimică de produs**. Aceasta a fost impusă de lupta pentru performanța tehnică și economică a produselor generată de un mediu de piață competitiv puternic. Noi produse chimice au fost create prin combinarea cunoștințelor ample despre produsele chimice existente cu o cantitate mare de experimentare științifică. O explozie combinată de opțiuni de produs va limita toate tehnicile experimentale. Prin urmare, este de dorit să se minimizeze experimentarea printr-o luare în considerare sistematică a formulării produsului înainte de experimentare. Tehnicile de inginerie de produs se bazează în mare măsură pe euristică atunci când datele sunt limitate, urmate de calcule detaliate atunci când datele devin disponibile, aceasta fiind esența celei de-a treia paradigme. În principiu, a fost propus un algoritm în patru pași: identificarea nevoilor clienților, generarea de idei pentru a satisface aceste nevoi, selectarea dintre idei și fabricarea produsului. Pasul 4 al proiectării produselor chimice conține toate următoarele patru etape ale proiectării procesului chimic: batch vs. proces continuu, intrări și ieșiri, reactor și reciclări și separări și integrare în proces. Autorii admit că acest algoritm în patru pași este o simplificare majoră care afectează eficacitatea în cazuri specifice. Dar, această procedură poate fi un excelent punct de plecare, foarte util pentru extinderea fiecărui caz specific. Datorită schimbărilor majore din industria chimică, rolul și meritele ingineriei de produs sunt în continuă creștere, dar acesta nu este un argument că proiectarea procesului ar trebui să dispară. Designul produsului și proiectarea procesului trebuie utilizate împreună, în acord cu evoluția ingineriei chimice. Pe parcursul evoluției ingineriei chimice, fiecare nouă paradigmă a fost un pas înainte care a extins multitudinea de sarcini care pot fi rezolvate. Nicio paradigmă nu este abandonată. De fapt, aproape toate paradigmele trebuie folosite împreună pentru a rezolva problemele complexe de inginerie chimică. Desigur, discuția despre paradigmele ingineriei chimice nu poate evita subiectivitatea. Unele idei personale ale autorului sunt, fără îndoială, discutabile.