

# MODELAREA MATEMATICĂ IERARHIZATĂ A PROCESELOR TEHNOLOGICE ÎN CONSTRUCȚII DE MAȘINI

Drd. Mat. MOISE MARIA

Institutul de Cercetări în Informatică

**Rezumat:** Eficiența punerii în funcțiune și exploatarea sistemelor de proiectare asistată de calculator a proceselor tehnologice în diferite ramuri industriale, depinde în mare măsură de respectarea principiilor unității de sistem, a extinderii, a compatibilității și standardizării subsistemelor și componentelor. Aceste deziderate pot fi respectate prin utilizarea "modelării matematice ierarhizate" în elaborarea software-ului matematic, lingvistic și metodologic de proiectare.

Modelarea matematică ierarhizată propusă în lucrare se bazează pe o triadă constituită dintr-o mulțime de elemente "A", o mulțime de relații "R" și o mulțime de caracteristici ("contururi") "C". Această triadă va permite elaborarea de modele matematice și algoritmi, necesari generării asistate de calculator a tehnologiilor de fabricație a pieselor mecanice.

Fundamentarea conceptelor prezentate se face cu ajutorul teoriei mulțimilor, a teoriei relațiilor și a teoriei grafurilor.

Elaborarea într-un tot unitar a metodologiei de proiectare asistată de calculator constituie un element de noutate și reprezintă un instrument necesar pentru proiectanții, realizatorii și utilizatorii sistemelor de proiectare asistată de calculator, în speță a proiectării proceselor tehnologice de prelucrare mecanică.

**Cuvinte cheie:** Modelare ierarhizată, nivele de abstractizare, nivele de unificare, modele de permutare, modele de tip rețea, modele tabelare, grade de abstractizare, profunzime structură, legături teoretico-multiple, legături logice și cantitative, relații binare, suprafețe contigue.

## 1. Introducere

Tendențele de realizare a fabricației automatizate necesită cercetări privind elaborarea unui software unitar matematic, lingvistic și informațional în domeniul proiectării asistate de calculator, care să permită eficientizarea proiectării, folosirii și dezvoltării sistemelor CAD/CAM.

Lucrarea de cercetare "Modelarea matematică ierarhizată a proceselor tehnologice în construcții de mașini" va propune concepte, metode și tehnici de realizare a sistemelor de proiectare folosind modelarea matematică ierarhizată.

Obiectivele lucrării sînt:

- elaborarea conceptelor teoretice care stau la baza unui sistem ierarhizat de modelare;
- generarea modelelor matematice ale obiectelor de proiectare eterogene;
- elaborarea structurilor pachetelor de programe de proiectare asistată privind generarea automată a tehnologiilor de fabricație (serie, grup, unicate).

Lucrarea va conține un exemplu concret din domeniul proiectării asistată de calculator a proceselor tehnologice din construcții de mașini. Elaborarea acestei lucrări va permite standardizarea în proiectarea și realizarea sistemelor CAD/CAM, prin aceea că sistemul unic ierarhizat de modelare matematică va asigura atât proiectarea algoritmilor tipizați ai proceselor tehnologice de grup, unicate și de serie, cât și a proceselor tehnologice în condițiile celulelor flexibile de fabricație. Mai mult, sistemul va permite realizarea unitară a software-ului de programe și a software-ului lingvistic.

Lucrarea va constitui un instrument util pentru proiectanții, utilizatorii și realizatorii sistemelor CAD/CAM, asigurînd posibilitatea de dezvoltare și unificare a componentelor software în acest domeniu.

Prin unificarea metodelor de proiectare și realizare propuse se crează un cadru corespunzător pentru standardizarea și eficientizarea în prelucrarea sistemelor, realizîndu-se performanțe legate de reducerea timpilor de proiectare și realizare, precum și de compatibilizarea diferitelor aplicații CAD/CAM.

În țara noastră, nu s-a realizat pînă în prezent un sistem unic de modelare a proiectării proceselor tehnologice. Există numeroase aplicații și produse program CAD/CAM care folosesc diferiți algoritmi euristici, iar soluțiile oferite sînt acceptabile, însă nu optime. De aceea, promovarea conceptelor și ideilor din această lucrare este o problemă absolut necesară.

## 2. Descrierea sistemului ierarhizat de modelare matematică

În prezent în ramurile industriale s-au întreprins pe scară largă lucrări de proiectare și punere în funcțiune a sistemelor de proiectare asistată de calculator, a căror eficiență depinde în mare parte de respectarea principiilor unității de sistem, principiilor extinderii, compatibilității și standardizării subsistemelor și componentelor de proiectare asistată de calculator. Aceste principii pot fi realizate prin utilizarea unui sistem ierarhic de modelare matematică a obiectelor de proiectare și crearea unui software de proiectare.

În sistemele de proiectare asistată de calculator, obiectele de proiectare pot fi: obiecte, sisteme cu diferite destinații și subsisteme și elemente componente ale acestora. Însuși sistemul de proiectare asistată de calculator poate fi considerat un obiect de proiectat, și deci constituie obiectul proiectării.

Pe baza unui sistem ierarhic de modelare matematică pot fi apoi elaborate modele matematice și algoritmi de proiectare. Acest sistem de modelare permite crearea unui sistem unic de modele matematice interconectate ale obiectelor și proceselor de proiectare eterogene, pe baza cărora se elaborează software-ul respectiv, conform principiului modular.

Modelele matematice tipizate și algoritmii

elaborați se utilizează pentru crearea programelor cu destinație tehnologică și de proiectare din întreprinderile și instituțiile de cercetare din domeniul construcțiilor de mașini.

În funcție de destinație, pot fi generate modele matematice tip de descriere a datelor sursă, modele matematice ale obiectelor de proiectare, ale proceselor de proiectare, modele matematice ale rezultatelor proiectării, care se referă la documentația de proiectare.

Pentru proiectarea unor produse complexe se utilizează nu numai un singur model, ci chiar mai multe modele matematice, care se deosebesc prin:

- nivelele de abstractizare folosite în descrierea obiectului;
- gradul de completitudine în reprezentarea datelor;
- nivelele de unificare a soluțiilor de proiectare.

Deosebirile dintre modelele care pot fi utilizate sînt condiționate de conținutul problemelor ce urmează a fi rezolvate în diferite etape de proiectare.

Din punct de vedere general, proiectarea unui produs complex include două etape de proiectare: **structurală și parametrică**. În prima etapă se stabilește structura obiectelor de proiectare, iar în a doua se efectuează calculul caracteristicilor, precum și al altor parametri referitori la nivelele respective.

Sinteza structurii obiectului permite rezolvarea unor probleme referitoare la alegerea unor variante de structuri posibile, de exemplu, determinarea schemei cinematice și determinarea structurilor componente ale unor mașini, precum și probleme referitoare la evaluarea variantelor și alegerea structurii optime a obiectului. Sinteza structurii se realizează pe baza unor modele **tabelare, de tip rețea și de permutare**.

Calculul indicatorilor tehnico-economici, cît și alte calcule referitoare la alegerea structurii optime, se efectuează conform unor modele cantitative.

Totalitatea modelelor folosite în sinteza structurii unui obiect reprezintă un sistem unic de modele intercorelate.

Caracteristicile tehnice ale celorlalți parametri ai procesului includ un mare număr de calcule asupra unor procese și fenomene eterogene din punct de vedere fizic. Astfel, pot fi folosite metode speciale complexe ca: metoda elementului finit, diferite metode de optimizare etc. Deoarece aceste calcule sînt legate de utilizarea diverselor metode de calcul, precum și de structura datelor neomogene, de regulă, modelele cantitative se construiesc pe diferite niveluri de abstractizare. Aceste modele folosesc, pe lîngă relațiile cantitative, modele tabelare, de rețea și de permutare, care reflectă, atît structura relațiilor, cît și raporturile dintre acestea.

Sistemul modelelor de proiectare se caracterizează prin:

- posedă o structură generală;
- în componența sa intră și modele proprii de proiectare;

- imprimă o standardizare a procesului de proiectare.

Modelele matematice de proiectare prezintă unele aspecte legate de obiectivul proiectării. Astfel, cu cît obiectul de proiectat este mai complex, cu atît un număr mai mare de modele proprii se utilizează pentru descrierea obiectului respectiv.

Forma și conținutul acestor modele matematice sînt cu atît mai diversificate, cu cît obiectul este mai complex. Totodată, principiile proiectării asistate permit rezolvarea complexă a tuturor problemelor proiectării ca un tot unitar. De aceea, toate modelele proprii ale obiectelor proiectării trebuie să fie prezentate sub forma unui sistem unic, în care particularitățile eterogene și părțile respective ale obiectului să poată fi comparate, iar modelele matematice generate să fie compatibile și corelate.

În sistemul ierarhic de modelare matematică această corelare este asigurată, iar modelele matematice sînt reprezentate sub formă de sistem ierarhic de modele, în care se regăsește interacțiunea diverselor aspecte ale descrierii obiectului proiectării și care asigură gradul de legătură dintre elemente și particularități, în toate stadiile procesului de proiectare.

Pentru rezolvarea diferitelor probleme de proiectare se utilizează modele de calcul privind proiectarea, care includ un minim de date necesare și suficiente pentru rezolvarea unei probleme concrete, avînd în vedere și gradul de exactitate în rezolvarea acesteia. Pentru elaborarea unui model de calcul se vor lua în considerație numai particularitățile care pot influența asupra rezolvării unei probleme concrete.

## 2.1. Principiile de construire a unui sistem de modelare matematică și destinația lui

Software-ul matematic al sistemului de proiectare asistată de calculator conține metode, algoritmi și modele matematice folosite în proiectare. Caracteristicile software-ului matematic se referă la principalii factori care determină particularitățile software-ului informațional, lingvistic și metodologic de proiectare.

Se propune ca sistemele de proiectare automatizată să fie create și dezvoltate pe baza principiilor generate de sistemul ierarhic de modelare matematică. Acest sistem va asigura următoarele:

- crearea de modele intercorelate pentru obiectele eterogene de proiectare (produse, procese tehnologice, dotare cu utilaje, scule și dispozitive etc.);
- construirea de modele intercorelate care să corespundă unui nivel diferit de informații și de completitudine în reprezentarea datelor;
- adaptabilitatea modelelor matematice pentru diferite tipuri de calculatoare (mari, medii, micro etc.);
- posibilitatea de includere și a altor metode de

modelare, modele, algoritmi prin adaptarea acestora la sistemul de modelare propus.

Cerințele menționate mai sus vor fi satisfăcute de sistemul propus, care va fi un sistem ierarhic de modelare matematică pe diverse niveluri de abstractizare. Acest sistem este luat ca bază în crearea modelelor matematice structurale, care să reflecte caracteristicile teoretice și logice ale obiectelor în curs de modelare.

În acest sistem, orice obiect de proiectare care se poate referi la construcția produsului, dotarea tehnologică sau procesul de proiectare se modelează prin mijloace de același fel. Astfel, un obiect "A" studiat pe orice nivel de abstractizare, din punct de vedere matematic, are un singur model de descriere A, corespunzător unui obiect real.

În aceste modele se disting trei tipuri de date și anume:

- date cu privire la elementele obiectului propriu-zis;
- date privind particularitățile respective;
- date privind legăturile dintre elemente și particularitățile obiectului respectiv.

Structurile acestor date pot fi reprezentate sub forma unei mulțimi de elemente ale obiectului propriu-zis "A", a unei mulțimi "C" a "conturilor" (particularități, însușiri, parametri etc.), și a unei mulțimi R de legături dintre elemente, dintre contururi și dintre elemente și contururi.

În modelarea obiectului proiectat se realizează o abstractizare în două direcții și anume:

- după profunzimea structurii;
- după gradul de abstractizare a elementelor și conturilor obiectului, cât și a relațiilor dintre ele.

Din punct de vedere al profunzimii structurii, un obiect complex poate fi considerat ca:

- obiect nestructurat A;
- sistem de elemente intercorelate în cadrul unui singur nivel;
- sistem ierarhic pe mai multe niveluri.

După gradul de abstractizare, un obiect poate fi modelat pe niveluri cu ajutorul caracteristicilor acestuia și cu legături teoretico-multiple bazate pe metodele teoriei mulțimilor și teoriei grafurilor, cu legături logice bazate pe metode de logică matematică și cu legături cantitative.

Trecerea de la un nivel de descriere la altul se realizează prin anumite procedee reglementate de legăturile internivel, prin indicarea limitelor și condițiilor de transfer ale unor mărimi în altele. Trecerea de la o mărime cantitativă "a<sub>i</sub><sup>N</sup>" la o mărime logică "a<sub>i</sub><sup>L</sup>" este determinată de relația "R<sub>i</sub><sup>NL</sup>"; trecerea de la o mărime cantitativă "a<sub>i</sub><sup>N</sup>" la o mărime teoretico-multiplă "a<sub>i</sub><sup>S</sup>" este determinată de relația "R<sub>i</sub><sup>NS</sup>"; trecerea de la o mărime logică "a<sub>i</sub><sup>L</sup>" la o mărime teoretico-multiplă "a<sub>i</sub><sup>S</sup>" este

determinată de relația "R<sub>i</sub><sup>LS</sup>".

Prin procedee similare se realizează și descrierile conturilor pe diverse niveluri de abstractizare.

În rezolvarea unor probleme concrete, apartenența datelor la nivelul teoretico-multiplu, logic sau cantitativ, reiese clar din contextul problemelor. De aceea, indicii N, L, S din cadrul mărimilor de mai sus pot fi omiși.

Prin reglementarea tehnicilor de descriere a trecerilor unor mărimi în altele, se crează posibilitatea interacțiunii descrierilor diverselor proprietăți și legături teoretico-multiple, logice și cantitative pentru obiectele de proiectare din sistem. În cadrul trecerii la un nivel de abstractizare mai înalt, se face "comprimarea" sau contractia datelor, iar la trecerea la un nivel de descriere detaliat se realizează "desfășurarea" acestor date.

## 2.2. Modelarea proprietăților și legăturilor teoretico-multiple, logice și cantitative

La nivelul teoretico-multiplu se modelează următoarele:

- structura elementelor unui obiect sub forma unei mulțimi neordonate  $A = \{a_k, a_5, \dots, a_1\}$  sau sub forma unei mulțimi ordonate  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ;
- structura conturilor elementelor acestui obiect  $C(A) = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ ;
- legăturile teoretico-multiple dintre elemente și contururi care se referă la:
  - relațiile binare de subordonare ierarhică;
  - relațiile de ordine;
  - relațiile de contiguitate;
  - relațiile de conexiune;
  - relațiile privind legăturile funcționale etc.

Relațiile binare dintre conturile obiectului A sînt reprezentate ca o submulțime  $[C(A) \times C(A)]$  a produsului cartezian  $C(A) \times C(A)$  sau sub forma unei matrici booleene:

$$\| c_{ij} \|_{F(A)} = \begin{vmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_m \\ c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mm} \end{vmatrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_m \end{matrix} \quad (2.2.1)$$

în care,

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{dacă între } C_i \text{ și } C_j \text{ există relația binară} \\ 0 & \text{caz contrar} \end{cases}$$

Matricea (2.2.1) poate fi privită ca o matrice de contiguitate a nodurilor unui graf  $G = (F(A), C)$  ale cărui arce  $c_{ij}$  sînt echivalente elementelor  $c_{ij} = 1$  din matricea 2.2.1.

Fiecare linie "i", respectiv coloană "j" a matricii 2.2.1. este considerată drept reprezentare binară dintre C<sub>i</sub> și conturile C<sub>j1</sub>, C<sub>j2</sub>, ..., C<sub>jm</sub>, pentru care elementele unei linii (coloane) ale matricii sînt egale cu 1.

Relațiile binare dintre conturile elementului "a<sub>i</sub>" sînt descrise în mod analog sub forma unei matrici booleene,

$$\| c_{ij} \|_{C(a_i)} = [C(a_i) \times C(a_i)]$$

sau sub forma unui graf  $G = (C(a_i), C)$ . De exemplu, grafurile suprafețelor contigue și grafurile legăturilor dimensionale ale suprafețelor pieselor constituie relații binare dintre contururi. În figura 1 sînt prezentate cîteva relații binare dintre suprafețele unei piese.

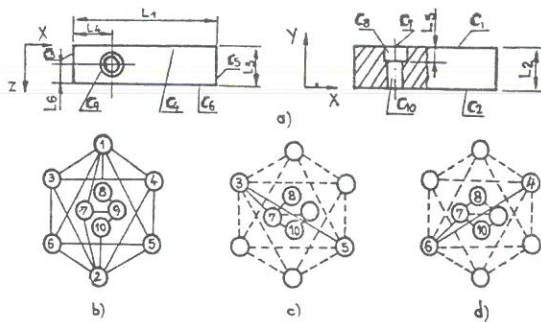


Figura 1. Relații binare între suprafețele unei piese

- a) piesa
- b) grafurile suprafețelor contigue ale piesei
- c) grafurile legăturilor dimensionale paralele cu Ox ale suprafețelor
- d) grafurile legăturilor dimensionale paralele cu Oz ale suprafețelor.

Relațiile binare de apartenență a conturilor la diverse elemente ale obiectului A pot fi organizate sub formă de matrice booleană:

$$\| c_{ij} \|_{A,C(A)} = \begin{array}{c|cccc|c} & C_1 & C_2 & \dots & C_m & \\ \hline C_1 & c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} & C_1 \\ C_2 & c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} & C_2 \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_m & c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mm} & C_m \end{array} \quad (2.2.2)$$

în care,

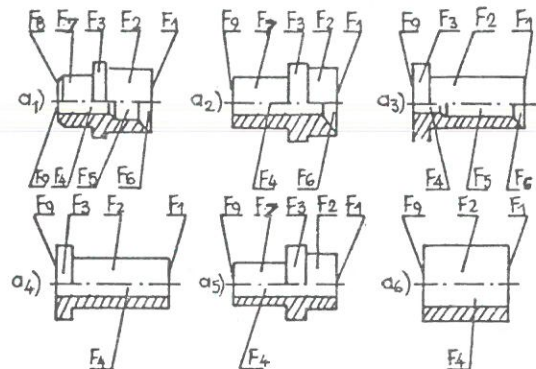
$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{dacă } C_j \text{ este inclus în structura } (C(a_i)) \\ & \text{de contururi ale elementelor "a_i"} \\ 0 & \text{în caz contrar} \end{cases}$$

De exemplu, o matrice de acest gen este următoarea:

$$[AxC(A)] = \begin{array}{cccccccc|c} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 & C_8 & C_9 & \\ \hline a_1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & a_1 \\ a_2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & a_2 \\ a_3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & a_3 \\ a_4 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & a_4 \\ a_5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & a_5 \\ a_6 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & a_6 \end{array}$$

Aceasta este matricea grupului de piese  $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$ , care vor fi prelucrate după un singur proces tehnologic de grup (figura 2a.).

Această matrice poate fi reprezentată grafic printr-un dreptunghi, împărțit în căsuțe care corespund elementelor matricei de mai sus. Pentru elementele  $c_{ij}=1$  din matrice, în căsuțele dreptunghiului apar cerceuțe negre, iar pentru elementele  $c_{ij} = 0$  din matrice, în dreptunghi apar căsuțe goale (fig. 2 b.)



	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>
a <sub>1</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●
a <sub>2</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●
a <sub>3</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●
a <sub>4</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●
a <sub>5</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●
a <sub>6</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Figura 2. Grupa de piese care se prelucraază după un singur proces tehnologic

- a) piese
- b) matricea  $AxC(A)$

Relațiile binare dintre elementele A sînt reprezentate ca submulțime a produsului cartezian  $AxA$  sau sub forma unei matrici booleane:

$$\| c_{ij} \| = [AxA] = \begin{array}{cccc|c} & a_1 & a_2 & \dots & a_m & \\ \hline C_1 & c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} & a_1 \\ C_2 & c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} & a_2 \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_n & c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nm} & a_n \end{array} \quad (2.2.3)$$

Această matrice este considerată matricea de continguitate a nodurilor grafului  $G = (A,C)$ , ale cărui arce  $c_{ij}$  corespund elementelor  $c_{ij} = 1$  ale matricii 2.2.3.

În fig.3. sînt prezentate astfel de grafuri care corespund dispozitivelor de prindere pentru operațiile de strunjire.

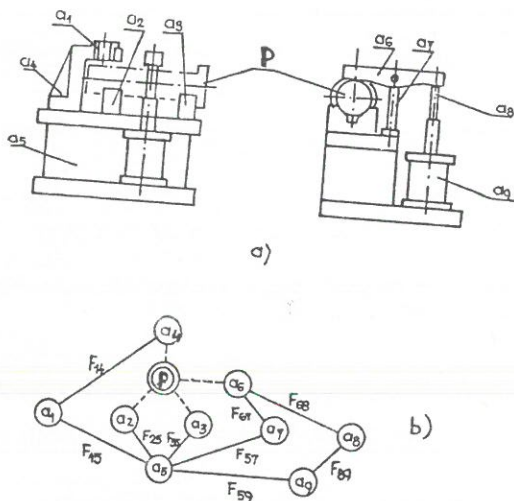


Figura 3. a,b Structura modelului dispozitivului de strunjire

- a) schema constructivă a dispozitivului
- b) graful de legături ale elementelor constructive ale dispozitivului de strunjire

Legăturile ierarhice dintre elemente și contururi sînt descrise prin grafuri cu structură arborescentă, ale unei structuri ierarhice.

Mulțimea Q de elemente ale matricei booleene sau ale arcelor unui graf este considerată ca un obiect cu structură de contururi C (C). Între mulțimea C de elemente și contururile C(C) sînt posibile, de asemenea, legături binare.

La nivelul logic, fiecărei mulțimi, matrice booleene sau graf le corespund seturi de relații logice dintre elementele incluse în acestea și reprezentate sub formă de variabile logice.

La nivelul cantitativ fiecărui element al unei mulțimi, al matricei booleene sau variabilei logice îi corespunde o variabilă algebrică sau alte variabile cantitative. În cazul unor calcule concrete se atribuie mărimi numerice, iar relațiile logice trec din relații cantitative în expresii și relații algebrice etc.

Elementele obiectelor în curs de modelare posedă proprietăți eterogene, care interacționează din punct de vedere organic. Aceste legături se deosebesc după rolul destinației și funcționării obiectului, după tip, după nivelul de abstractizare în modelarea matematică.

Principalele legături sînt:

- structurale
- cauzale

Aceste legături nu țin seama de factorii care acționează asupra obiectelor de proiectare. Dacă se ține seama și de acești factori, atunci legăturile se clasifică în :

- funcționale;
- materiale;
- energetice;

- spațiale;
- informaționale etc.

Legăturile structurale sînt condiționate de relațiile de apartenență a obiectelor, elementelor și proprietăților la anumite mulțimi, de relațiile de subordonare ierarhică, precum și de relațiile de incidență, contiguitate și ordine.

Legăturile cauzale reflectă ordinea modificării obiectului ținînd seama de starea celorlalte obiecte, care nu trebuie să fie neapărat contigue cu acesta. Aceste legături se descriu în mod analog ca legăturile structurale.

Legăturile de incidență și contiguitate ale elementelor sînt descrise la nivel teoretico-multiplu prin intermediul elementelor corespunzătoare sau prin metode de teoria grafurilor.

Relațiile de ordine dintre elementele unui obiect la nivel teoretico-multiplu sînt date de descrierea condițiilor în care se realizează aceste relații. Astfel, mulțimea A va fi ordonată dacă se realizează condiția:

$$\forall a_k \in A \left[ \exists B_i(a_k) (B_i(a_k)) \subseteq A_k^0 \right] \quad (2.2.4)$$

$$\forall a_k \in A \left[ \forall W_j(a_k) (W_j(a_k)) \subseteq A_k^0 \right] \quad (2.2.5)$$

în care,

$B_i(a_k)$  - reprezintă totalitatea elementelor datorită cărora este posibilă existența lui "a<sub>k</sub>" pe locul respectiv, în mulțimea ordonată "A";

$W_j(a_k)$  - totalitatea elementelor datorită cărora existența lui "a<sub>k</sub>" pe locul respectiv este imposibilă;

$A_k^0$  - submulțimea elementelor care preced pe "a<sub>k</sub>" în mulțimea ordonată A.

La nivelul logic condițiile (2.2.4 - 2.2.5) se transformă în condiții de tipul:

$$\forall a_k \in A (B_i(a_k)) = 1 \quad (2.2.6)$$

$$\forall a_k \in A (W_j(a_k)) = 0 \quad (2.2.7)$$

La nivelul logic B(a<sub>k</sub>) fiecărui set B<sub>i</sub>(a<sub>k</sub>) din condiția (2.2.4) îi corespunde un set de elemente  $a_k \in B(a_k)$ , considerate ca variabile logice și unite prin conjuncție; seturile propriu-zise sînt unite printr-o disjuncție; o construcție analoagă au și ecuațiile W(a<sub>k</sub>). În ecuațiile B(a<sub>k</sub>) și W(a<sub>k</sub>) variabilele logice "a<sub>i</sub> = 1" dacă  $a_i \in A_k$  și "a<sub>i</sub> = 0" în caz contrar. În mod analog se descriu condițiile de ordonare a mulțimii C(A).

Legăturile funcționale stabilesc legăturile reciproce dintre elementele și proprietățile unui obiect, condiționate de funcțiile care pot fi executate în etapa respectivă a ciclului de viață a obiectului.

Toate funcțiile și proprietățile unui obiect sînt descrise prin intermediul noțiunii de contur,

folosindu-se același concept și pentru descrierea părților componente ale obiectelor, de exemplu, ale unei părți din piesa respectivă, în cazul în care aceste părți nu sînt considerate părți de sine stătătoare ale obiectului.

La nivelul cantitativ conturul  $C_i$  este caracterizat de mulțimea  $M_i$  a parametrilor și a altor mărimi cantitative avînd anumite valori numerice.

La nivelul logic conturul  $C_i$  este reprezentat sub forma unei variabile logice:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{dacă } \forall m_j \in M_i (\omega_j \subseteq \Delta_j) \\ 0 & \text{dacă } \exists m_j \in M_i (\omega_j \setminus \Delta_j = \phi) \end{cases} \quad (2.2.8.)$$

în care,

$\omega_j$  – cîmpul de dispersie al erorilor mărimii  $m_j$ ,  
 $\Delta_j$  – cîmpul de toleranță la eroare a mărimii  $m_j$ .

Dacă valoarea logică a conturului este  $C_i = 1$ , se spune că acest contur este “realizat” sau există legătura reciprocă a conturilor  $C(A)$ , conform condițiilor de existență a acestora la nivelul teoretico-multiplu a matricei din 2.2.1, în care:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{dacă } C_i \text{ influențează asupra} \\ & \text{existenței lui } C_j \\ 0 & \text{în caz contrar.} \end{cases}$$

Prin urmare, dacă existența lui  $C_j$  depinde numai de  $C_i$ , atunci:

$$C_j = C_i \wedge c_{ij} \quad (2.2.9.)$$

Dacă existența lui  $C_j$  depinde de mai multe contururi, această legătură este deschisă pe nivelul logic al sistemului printr-o relație corespunzătoare coloanei “j” a matricei (2.2.1). Ținînd seamă de (2.2.9) această relație va deveni:

$$C_j(A) = R_k^L ((C_1 \wedge c_{1j}), (C_2 \wedge c_{2j}), \dots, (C_m \wedge c_{mj})) \quad (2.2.10)$$

Dacă structura conturilor din partea dreaptă a relației (2.2.10) este deja cunoscută, elementele  $c_{ij}$  pot fi omise. În mod analog, este descrisă interacțiunea conform condițiilor de existență a conturilor diverselor obiecte sau elemente ale acestora.

Influența condițiilor de existență a conturilor  $C(a_j)$  asupra lui  $C_j(A)$  este descrisă sub forma unei relații corespunzătoare coloanei j a matricei (2.2.2).

Luînd în considerație (2.2.9) această relație va avea forma următoare:

$$C_j(A) = R_k^L (C_j(a_1) \wedge c_{1j}), \dots, (C_j(a_n) \wedge c_{nj}) \quad (2.2.11)$$

Contururile  $C(a_j)$  joacă aici rolul conturilor de ordin inferior comparativ cu  $C_j(A)$  din structura ierarhică a conturilor obiectului.

Caracterul legăturii reciproce a conturului  $C_j$  de ordin superior cu mulțimea conturilor  $\{C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jn}\}$  de ordin inferior este diferit pentru *contururile aditive și neaditive*. Dacă

contururile sînt *aditive*

$$C_j = \bigwedge_k^n C_{jk} \quad (2.2.12)$$

$$m_j = \sum_k^n m_{jk} \quad (2.2.13)$$

în care

$m_j, m_{jk}$  – reprezintă valori numerice ale parametrilor  $C_j$  și  $C_{jk} \in C_j$

*Contururile aditive* se referă la contururile de masă, volumul materialului, volumul de muncă din etapele de pregătire a fabricației etc.

Dacă contururile nu posedă proprietate de contururi aditive, fiecare contur  $C_{jk}$  este reprezentat ca fiind compus din două părți:

- dintr-un contur propriu  $C_{jk}^P$  care-l caracterizează pe  $C_{jk}$ , ca un obiect luat în considerație independent față de celelalte contururi;
- dintr-un contur unitar  $C_{jk}^U$ , care caracterizează proprietățile lui  $C_{jk}$  diferite față de  $C_{jk}^P$ . De aceea, pentru contururile *neaditive*, în loc de (2.2.12) are loc relația:

$$C_j = \bigwedge_k^n (C_{jk}^P \wedge C_{jk}^U) \quad (2.2.14)$$

iar în loc de (2.2.13) are loc o relație mai complexă decît suma valorilor  $m_{jk}$ .

*Contururile neaditive* se referă de exemplu la contururile de centrare, la momente de inerție la contururile geometrice ale obiectelor.

Într-un contur geometric  $C_j$  conturul propriu  $C_{jk}$  se numește “*conturul formei obiectului*” în sistemul propriu de coordonate  $C_j$ , iar conturul unitar  $C_j^U$  se numește “*conturul dispunerii*” lui  $C_j^U$  în raport cu sistemul de coordonate de nivel superior.

*Legăturile funcționale* dintre elementele  $A$  sînt determinate prin intermediul legăturilor funcționale ale conturilor lor descrise prin matrice booleene de tipul (2.2.1) și (2.2.2) și ținînd seamă de condițiile de existență a conturilor intercorelate. Astfel, conturul  $C_j(A)$  poate fi considerat un contur abstract, iar structura elementelor:

$$\mathfrak{Z}_j(A) = \{a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jm}\} \subseteq A \quad (2.2.15)$$

ale căror proprietăți influențează asupra existenței lui  $C_j(A)$ , ca și scopul constructiv de contur  $C_j(A)$ .

Elementele  $a_{jk} \in \mathfrak{Z}_j(A)$  se numesc “*verigi*” ale corpului conturului. În acest caz verigile care corespund liniilor matricei (2.2.2), în care  $a_{ij} = 1$  se numesc “*verigi executive*”, iar verigile care vor fi determinate prin intermediul elementelor  $a_{ij} = 1$  ale coloanei matricei (2.2.1) se numesc “*verigi interioare*” ale corpului conturului  $C_j(A)$ .

De exemplu, în dispozitivul din fig. 3 corpul conturului  $C_j(A)$  al bazei de instalare include elementele  $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ . Prin urmare “*verigile executive*” vor fi numai  $\{a_2, a_3\}$ , iar celelalte elemente

sînt "verigi interioare". Dimpotrivă, în corpul unui contur dinamic C3, care percepe forța în timpul operației de găurire, toate elementele dispozitivului sînt verigi executive.

Referitor la *contururile geometrice*, corpul constructiv  $\mathfrak{S}_j(A)$  reprezintă totalitatea elementelor de construcție, ale căror suprafețe intră în conturul  $C_j(A)$  și a elementelor de construcție, ale căror proprietăți influențează asupra proprietăților conturului geometric  $C_j(A)$ . Părțile elementelor de construcție ale căror suprafețe intră în structura suprafețelor  $C_j(A)$  vor fi verigi executive, iar toate celelalte, verigi interioare  $\mathfrak{S}_j(A)$ .

Contururile unui obiect se împart în:

- *contururi principale;*
- *contururi auxiliare.*

*Contururile principale* (de bază) stabilesc implicit funcțiile obiectului A.

*Contururile auxiliare* asigură existența contururilor de bază în cazul execuției concrete a obiectului. Conform acestor împărțiri, elementele A se împart în "principale" și "auxiliare".

Condițiile de existență a obiectului A și a elementelor acestuia "a<sub>i</sub>A" sînt stabilite prin intermediul condițiilor de existență a contururilor cuprinse în C(A) și C(a<sub>i</sub>).

Ținînd seama de (2.2.8), condiția de existență a tuturor contururilor elementelor a<sub>i</sub> este reprezentată sub forma unei relații:

$$C(a_i) = \bigwedge_{j=1}^m C_j(a_i) = 1 \quad (2.2.16)$$

Dacă în structura C(a<sub>i</sub>) sînt incluse și contururile neaditive, relația de mai sus are forma:

$$C(a_i) = \bigwedge_j^{m-n} C_j(a_i) \wedge \left[ \bigwedge_{j''=1}^n (C_{j''}^P(a_i) \wedge C_{j''}^U(a_i)) \right] \quad (2.2.17)$$

Condiția de existență a tuturor contururilor obiectului A este determinată de relația:

$$C(A) = \bigwedge_{j=1}^m C_j(A) = 1 \quad (2.2.18)$$

iar în cazul în care există și contururi aditive și neaditive, prin relația:

$$C(A) = \left( \bigwedge_j^{m-n} C_j \right) \wedge \left( \bigwedge_{j''=1}^n (C_{j''}^P \wedge C_{j''}^U) \right) = 1 \quad (2.2.19)$$

Din relațiile (2.2.16) și (2.2.17) rezultă posibilitatea reprezentării lui "a<sub>i</sub>" ca o variabilă logică:

$$\forall a_i (\text{dacă } C(a_i) = 1) \Rightarrow a_i = 1 \quad (2.2.20)$$

ceea ce înseamnă că elementele a<sub>i</sub> ∈ A corespund tuturor cerințelor date.

Dacă "a<sub>i</sub>" este elementul de construcție a produsului, îndeplinirea condiției (2.2.20) înseamnă că fabricația lui "a<sub>i</sub>" s-a încheiat, respectîndu-se toate cerințele față de contururile acestuia.

În mod analog se reprezintă obiectul A.

$$\text{Dacă } C(A) = 1 \text{ atunci } A = 1 \quad (2.2.21)$$

Ținînd seama de relația (2.2.20), condiția (2.2.21) poate fi reprezentată astfel:

$$A = 1, \text{ dacă } \forall \in A (a_i = 1) \quad (2.2.22)$$

sau sub formă de relație logică

$$A = \bigwedge_{i=1}^n a_i = 1 \quad (2.2.22)$$

Îndeplinirea condițiilor (2.2.21) sau (2.2.22) înseamnă că fabricația lui "A" s-a încheiat și toate contururile sale corespund cerințelor date.

*Legăturile "materiale"* sînt condiționate atît de proprietățile fizice și chimice, cît și de relațiile dintre ele în procesul de funcționare a obiectului.

*Legăturile "energetice"* caracterizează latura energetică a funcționării obiectului. Intercorelarea spațială a elementelor obiectului caracterizează dispunerea lor reciprocă, prezența legăturilor mecanice și tipul mișcărilor posibile privind sistemele de calcul.

*Legăturile "informaționale"* reflectă aspecte informaționale ale funcționării obiectului. Toate aceste legături reflectă proprietățile concrete ale obiectului respectiv, destinația funcțională a acestuia, principiile de acțiune, caracterul fizic al proprietăților etc.

## Concluzii

La început, în proiectarea asistată de calculator a proceselor de proiectare, se crează modelul de generare, care include sinteza obiectelor de proiectare. Acest model conține date privind domeniul în sine, căruia îi aparține obiectul, structurile existente sau în curs de elaborare, relațiile și legăturile cunoscute sau în curs de elaborare, relațiile și legăturile cunoscute sau previzibile dintre elemente și proprietățile obiectului cu mediul extern. Pe baza acestor date se elaborează modelul matematic, care va include acele date care pot fi formalizate și reprezentate prin intermediul sistemului de modelare.

Așa cum s-a menționat anterior, oricărui obiect de proiectare "A", îi corespunde un model matematic M(A), care este o triadă de forma:

$$M(A) = \{A, C, R\}$$

în care:

- A - reprezintă mulțimea elementelor obiectului A
- C - este mulțimea contururilor
- R - reprezintă mulțimea relațiilor dintre elemente și contururi

Fiecare model "M(A)" conține structura A a elementelor incluse în obiectele de proiectat A, a matricii contururilor de tipul 2.2.2, relațiile teoretico-multiple, logice sau cantitative dintre elemente și contururile A, care stabilesc structura și toate proprietățile obiectelor de proiectare A.

Pe baza conceptelor enunțate în această lucrare, pentru proiectarea proceselor tehnologice în construcții de mașini este necesar să se genereze următoarele modele: modelul produsului M (P);

modelul operatorilor tehnologici  $M(T)$ ; modelul mijloacelor de dotare cu  $M(T1)$ .

Aceste modele pot fi de tip **tabelar**, de tip **rețea**, sau **combinatorii** (permutare).

Într-un *model tabelar* fiecărui set de contururi  $C(A)$  îi corespunde o singură variantă a obiectului  $A$ . Aceste modele se recomandă să se folosească în alegerea deciziilor privind variantele de proiect.

Modelele de tip rețea pot conține mai multe variante pentru obiectele de proiectare  $A$ , însă, în toate variantele relațiile de ordine dintre elementele componente se păstrează neschimbate. Structura elementelor unui astfel de model se reprezintă sub forma unui graf orientat  $G(A,C)$ , care nu conține cicluri orientate. Modelele de *permutare* conțin variante ale obiectelor " $A$ " proiectate, care se deosebesc după ordinea elementelor sale componente. Relațiile de ordine în modelele de permutare sînt date de un graf  $G(A,C)$ , care conține cicluri orientate, sau de relațiile 2.2.4 - 2.2.7.

### Bibliografie

1. BELLEVEAUX, C., CRESTIN, J.P. - Cu privire la calculele geometrice pentru CAD în ingineria mecanică. In: PROLAMAT '79, Michigan.
2. BONITZ, P. - Proiectarea suprafețelor cu ajutorul geometriei diferențiale. In: PROLAMAT '79, Michigan.
3. ENCĂRNAÇÃO, J, STRASSER, W. - Calculatoare grafice și portabilitate, Stuttgart, 1981.
4. HINDS, J. K., KUAN, L. P. - Abordarea unitară a suprafețelor tehnologice cu ajutorul geometriei. In: PROLAMAT '79, Michigan.
5. HORVATH, M. - Planificarea procesului tehnologic semigenerativ. In: PROLAMAT '79, Michigan.
6. KOCHAN, D. - Aplicarea modelelor de optimizare și a metodelor digital-grafice pentru evaluarea utilajelor, a sculelor și dispozitivelor. In: PROLAMAT '79, Michigan.
7. MOISE, M., FLORESCU, G. - Mathematical Models in Knowledge Representation and Knowledge Base in Technology. In: Preprints of the 11-th Conference on Information Theory Statistical Decision Function Processes, Prague, 1990.
8. MOISE, M., FLORESCU, G. - Mathematical Modelling in Decision Making and Choice of Strategy in Technological Processes Design. In: Preprints of the 11-th Conference on Information Theory Statistical Decision Function Processes, Prague, 1990.
9. MOISE, M. - Modelarea matematică ierarhizată a proceselor tehnologice în construcții de mașini. In: Workshop "Modelare și simulare", RO - AMSE, București, 1991.
10. OKINŌ, N., KAKAZU, Y., KUBO, H., HASHIMOTO, N. - Baza de date geometrică pentru subansamble în sistemele CAD/CAM. In: PROLAMAT '79, Michigan.
11. OZKARAHAN, E. - Mașini pentru baze de date și gestiunea bazelor de date, Arizona, Prentice Hall, 1986.
12. SPUR, G., KRAUSE, F. L. - Modul pentru procesarea pieselor geometrice. In: PROLAMAT '79, Michigan.
13. SPUR, G., KRAUSE, F. L. - Automatizarea proiectării în construcții de mașini, Verlag München Wien, 1984.
14. TOTH, A. s.a. - Sistemul TAUPROG, Budapesta, 1975.
15. TVETKOV, V. D. - Modelarea sistemo-structurală și automatizarea proceselor tehnologice, Minsk, 1979.
16. \* Proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare mecanică cu ajutorul modelelor matematice, Moscova, 1984.
17. \* Alegerea mașinilor, sculelor și dispozitivelor cu ajutorul modelelor matematice, Moscova, 1985.

\* Apărute sub egida Comitetului de Stat pentru Standardizare