



ISSN 0201-7164

საქართველოს მეცნიერების აკადემია

# შრომები

№ 1 (417)

თბილისი

1998

ISSN 0201-7164

სამართაველთა ტექნიკური უნივერსიტეტი  
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY  
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

შ რ მ ე ე ბ ი  
TRANSACTIONS  
Т Р У Д Ы  
№ 1 (417)

თბილისი — TBILISI — ТБИЛИСИ  
1998

3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974.- 932 с.

მანქანათა ნაწილებისა და  
ამწესატრანსპორტო მანქანების კათედრა

რედაქციაში შემოვიდა  
09.09.1996

УДК 621.9: 658. 512. 011. 56

ა. შარმაზანაშვილი

### ინტეგრირებული CAD/CAM სისტემების განვითარების ტენდენციები

CAD/Cam (computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) წარმოადგენს ინტეგრირებული კომპიუტერული დაპროექტება — წარმოების სისტემას.

ტრადიციულად CAD სისტემის ამოცანას შეადგენს დეტალების კონსტრუირება და ნახაზების მომზადება, ხოლო CAM სისტემებით ხორციელდება წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების დაგეგმარება და რიცხვითი პროგრამული მართვის (რპმ) ჩარხებისთვის მმართველი პროგრამების მომზადება.

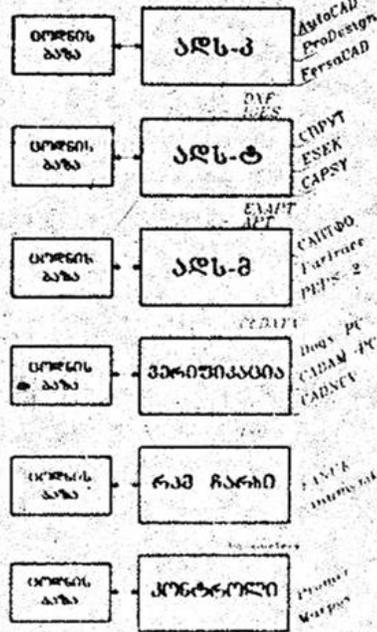
თავდაპირველად ეს სისტემები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ვითარდებოდნენ, რაც აწვევდა მათ ერთობლივ ექსპლუატაციას, იმის გამო, რომ აუცილებელი იყო სხვადასხვა ფორმატში წარმოდგენილი შესასვლელი და გამოსასვლელი ინფორმაციის შეთავსება, დეტალის შესახებ გრაფიკული ინფორმაციის მრავალჯერადი შეყვანა და სსვ.

სისტემების განვითარების ლოგიკური შედეგი, მათი ინტეგრაცია და კონსტრუირებიდან დანერგული რპმ ჩარხებისათვის მმართველი პროგრამების შედგენით დაბრუნებული დაპროექტების ე.წ. გამჭოლი არხების შექმნა იყო.

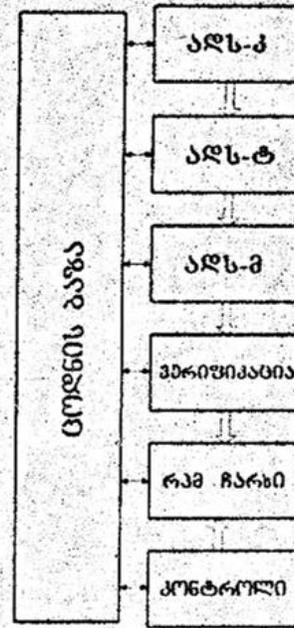
დღესდღეობით, მსოფლიოში 100-ზე მეტი მსხვილი ფირმა არსებობს, რომელიც ამუშავებს CAD/CAM-ის სისტემებს. მათგან შესაძლებელია გამოიყოს რამოდენიმე - Parametric Technology Co., Camax, Autodesk, Intergraph, Computervision, Dassault Systems და Cadkey, რომლებიც CAD/CAM სისტემების განვითარების ტენდენციებს განსაზღვრავენ.

ინტეგრაციის პრინციპიდან გამომდინარე, არსებობს დაპროექტების გამჭოლი არხის შექმნის ორი კონცეფცია:

1) ინტეგრაცია სტანდარტული ინტერფეისების შექმნის ბაზაზე, რომელიც საშუალებას იძლევა განხორციელდეს გამჭოლი დაპროექტება ცალკეული ავტონომიური სისტემების დაკავშირებითა (ნაბ. 1). ასეთი მიდგომა შედარებით მარტივია, მაგრამ, სამაგიეროდ,



ნახ.1



ნახ.2

დაპროექტების ამოცანების ურთიერთდაკავშირებული გადაწყვეტის საშუალებას არ იძლევა, ვინაიდან თითოეულ ავტონომიურ სისტემას გააჩნია გადაწყვეტილების მიღების ლოკალური მოდელი, რის გამოც ერთ ავტონომიურ სისტემაში მიღებული შედეგები მომდევნო სისტემის ამოცანებს ვერ ითვალისწინებს.

2) ინტეგრაცია გადაწყვეტილების მიღების მოდელების საერთოობის პრინციპით, როდესაც დაპროექტების გამჭოლი არხი შექმნილია ერთი სისტემის ფარგლებში, რაც დაპროექტების ამოცანების ურთიერთდაკავშირებული გადაწყვეტის შესაძლებლობას იძლევა (ნახ.2).

**ფორმების მოკლე მიმოხილვა და განვითარების ტენდენციები**

Parametric Technology Co. - ამუშავებს სისტემას Pro/Engineering, რომელიც 28 მოდულისაგან შედგება. ამჟამად რეგისტრირებულია სისტემის 5 600 მომხმარებელი და განხორციელებულია 8 200 CopyRight. სისტემის ბოლო ვერსიებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ცუხში ნამოჭრილი ამცანების გადაწყვეტის შესაძლებლობას - მმართველი პროგრამების გამართვა; სწრაფი პროტოტიპის მიღება. *აი, აი, აი !!!*

Computervision - ამუშავებს პროგრამულ პაკეტს CADD5. ამჟამად, დამუშავებულია ორი დამატებითი პაკეტი CADD5-თვის.

CV Design Engineering, ღირებულებით \$ 25 000 გამოიყენება თავისუფალი გეომეტრიული ფორმების დაპროექტებისათვის.

CV Production Modeling, ღირებულებით \$9 900 - საბოლოო ნაკეთობის მოდელირების და პროტოტიპის ღირებულების ანალიზისათვის.

აღნიშნული პროგრამული პაკეტების კომერციული ტირაჟირებით ევროპის ქვეყნების აეროკოსმოსურ ინდუსტრიაში, ფირმამ მხოლოდ ერთი წლის განმავლობაში მიიღო \$ 21 000 000.

Dassault System - ამუშავებს პროგრამას CATIA/CADAM, რომლის 7 000-მდე რეგისტრირებული მომხმარებელია აღრიცხული. ამჟამად, განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი სტანდარტული DXF, DWG, IGES, STEP ინტერფეისების შექმნას.

CAMAX - ამუშავებს პროგრამულ პაკეტს CAMAND, რომელიც შედგება 30 მოდულისაგან და რომლის 60 000 რეგისტრირებული მომხმარებელია აღრიცხული. პროგრამის კომერციული ტირაჟირებით მიღებულმა შემოსავალმა 1995 წლის განმავლობაში \$ 20 000 000 შეადგინა. ამჟამად ამუშავებს პაკეტს SmartCAM, ღირებულებით \$ 12 795, რომელშიც გაფართოებულია ინსტრუმენტის გადაადგილების შემონგებისა და ოპტიმიზაციის ფუნქციები. ასევე, განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა სტანდარტული ინტერფეისების შექმნას.

AutoDESK - ამუშავებს პროგრამულ პაკეტს AutoCAD, რომლისთვისაც ახლახან დამუშავებულ იქნა პარამეტრული რედაქტორი ღირებულებით \$487 და მექანიკური დამუშავების დეტალების ბიბლიოთეკა, ღირებულებით \$ 495. ბიბლიოთეკაში თავმოყრილია 32 წამყვანი ამერიკელი მწარმოებლისაგან მიღებული 300 000 ტიპური დეტალი.

InterGRAPH - ამუშავებს პროგრამულ პაკეტს SolidEDGE ღირებულებით \$ 5 995, რომელიც განკუთვნილია მექანიკური დამუშავების დეტალების კონსტრუირებისა და მოდელირებისათვის.

ამჟამად, განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა სტანდარტული ინტერფეისების შექმნას, რისთვისაც ფირმა თანამშრომლობს ფირმასთან ITI, მისი ბიბლიოთეკის PDE/Lib - Product Data Exchange, ინტეგრირებისათვის პაკეტში SolidEDGE.

Cadkey Inc. - ამუშავებს სისტემას CADKEY მექანიკური დამუშავების დეტალების კონსტრუირებისა და მოდელირებისათვის. ავითარებს ე.წ. ღია არქიტექტურის COD-Cadkey Object Developer კონცეფციას, როცა მომხმარებელს შეუძლია ნებისმიერი კონფიგურაციის მქონე სისტემის შექმნა.

აღინიშნება აგრეთვე ცალკეული ფირმებისა და მათი პროდუქტების ინტეგრაციის ტენდენციები. ასე, მაგალითად, ფირმამ Centra 2000 დაამუშავა ინტერაქტიული ინტერფეისი AutoCAD-სა და Pro/Engineering-ს შორის. Computervision-ის მიერ დამუშავებულ იქნა პაკეტი Optega TDM, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს პაკეტებს CADDs, AutoCAD, Pro/Engineering და Medusa. AutoDESK და ფირმა ANSYS თანამშრომლობენ AutoCAD-ში მექანიკური დამუშავების დეტალების კონსტრუქციის წინასწარი შეფასების ფუნქციის შექმნისათვის და სხვ.

შანქანათმშენებლობის ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაციის №381 ლაბორატორიასთან ჩამოყალიბებულია სამეცნიერო-კვლევითი ჯგუფი ParametricCAD, რომელ-

მიც 1992 წლიდან მიმდინარეობს სამუშაოები CAD/CAM სისტემის ორიგინალური მეთოდოლოგიით შექმნაზე.

ახალი მეთოდოლოგიის დამუშავება განაპირობა მოთხოვნილებამ შექმნილიყო ისეთი CAD/CAM სისტემა, რომელიც შესაძლებელს გახდიდა გადაწყვეტილიყო ავტომატიზებული სანარმოში არსებული რამ ჩარხების მმართველი პროგრამების საიმედოობის პრობლემა და უზრუნველყოფილიყო დამუშავების პროცესების მაღალი ხარისხი.

როგორც წესი, რამ ჩარხების მმართველი პროგრამები შეიცავს რიგ უზუსტობებს, რომელთა გასწორება ხდება დამუშავების წინ, მეტწილად უშუალოდ ცეხში. ეს პროცედურები ხანგრძლივია და მნიშვნელოვნად ამცირებს დამუშავების ეკონომიურ ეფექტურობას. ასე, მაგალითად, სტატისტიკური ფირმის Dun & Bread გამოკვლევის თანახმად [1] ამერიკელი მწარმოებლები მმართველ პროგრამებში შეცდომების პოვნაზე და მათ გასწორებაზე წელიწადში საშუალოდ 2 მილიარდ დოლარს ხარჯავენ და ამისათვის იყენებენ ათასობით დოლარის ღირებულების მონყობილობებს და კვალიფიციურ მუშახელს; გერმანიის 4 სხვადასხვა სანარმოში ჩატარებული 800-მდე პროცესის სტატისტიკური გამოკვლევების თანახმად [2] დადასტურდა, რომ მმართველი პროგრამების გამართვა ჩარხების ყველაზე ხანგრძლივ მოცდენებს იწვევს.

დღესდღეობით, ამ პრობლემის გადასაწყვეტად მრავალი ფირმა იყენებს სხვადასხვა მოდელირების პროგრამულ პაკეტს. ასე, მაგალითად, Chrysler, Boeing, McDonnell Douglas და Ingersoll Milling Machines Co. დანერგულია ე.წ. NC ვერიფიკაციის პაკეტები ინსტრუმენტის გადაადგილების ტრაექტორიისა და ნამეტების მოხსნის მოდელირებისათვის; Black & Decker Co. გამოყენებულია პაკეტი VERICUT, რომელიც ასახავს ინსტრუმენტის გადაადგილებას და ცვეთას; ასევე ცნობილია პაკეტები, რომლებიც ახორციელებენ დამუშავების ზონის რეალისტურ მოდელირებასა და CLDATA-ს ინსტრუქციების ინტერპრეტაციას და სხვ. ასეთი მიდგომით პრობლემის საბოლოო გადაწყვეტა ნაკლებად სავარაუდოა, ვინაიდან შემონიშნება ხდება მას შემდეგ, რაც მმართველ პროგრამაში შეცდომები უკვე დაშვებულია, ხოლო თუ გავითვალისწინებთ იმასაც, რომ ყველა სახის უზუსტობის აღმოჩენა პრინციპულად ვერ ხერხდება, ბუნებრივია, მმართველი პროგრამების გამართვის აუცილებლობა ამ გზით ვერ მოიხსნება.

ავტომატიზებული წარმოების მეორე, ტრადიციულად არსებულ პრობლემას წარმოადგენს რამ ჩარხებზე დამუშავების პროცესის მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფა.

ჩვეულებრივ, დამუშავების პროცესის ავარიული დარღვევების (ინსტრუმენტის მსხვრევა და სხვ.) თავიდან აცილების მიზნით და დეტალის ზედაპირებისადმი წაყენებული მოთხოვნების გარანტირებული მიღებისათვის, ტექნოლოგიური პარამეტრები წინასწარ გამიზნულადაა შერჩეული დიდი მიახლოებებით. ასე, მაგალითად, ჭრის რეჟიმებს, როგორც წესი, ამცირებენ 2-3-ჯერ, ხოლო ინსტრუმენტის გადაადგილების ტრაექტორიას ანგარიშობენ ნაშნადის მაქსიმალური გეომეტრიისათვის და სხვ. შედეგად, მნიშვნელოვ-

ნად მცირდება რამ ჩარხების გამოყენების ეკონომიური ეფექტურობა. ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია:

1) ინსტრუმენტის, ჩარხისა და ნაშაადის პარამეტრების სტაბილიზირებით, რაც ეკონომიურად გამართლებული შეიძლება იყოს მხოლოდ სერიული წარმოებისთვის და ისიც არა ყოველთვის, როგორც ეს ნაჩვენებია აკადემიკოს თ. ლოლაძის ნაშრომში [4].

2) ადაპტიური მართვის სისტემების გამოყენებით. ამჟამად, ამ სისტემებს გააჩნია კომპენსაციის ძალზედ მცირე დიაპაზონი, რომლის გაფართოებაც ჯერჯერობით საკმაოდ პრობლემატურია [3], ვინაიდან უკუკავშირის რეალურ დროში უზრუნველყოფა მოითხოვს კონტროლორებს მძლავრი გამოთვლითი რესურსებით.

3) ოპტიმიზაციის სტატისტიკური მოდელების გამოყენება, რომელიც მიზანშეწონილია მხოლოდ „ხანგრძლივი მოქმედების“ არასტაბილურობის შემთხვევაში.

აღნიშნული პრობლემების ძირითადი მიზეზია მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის სტოქასტიკური ხასიათი, მაშინ როდესაც გადაწყვეტილებათა მიღება წარმოების ტექნოლოგიური მომზადების ეტაპზე, უმრავლეს შემთხვევაში დეტერმინირებული მოდელების ბაზაზე ხორციელდება.

პროცესის სტოქასტიკურობა განპირობებულია იმით, რომ ზოგიერთი ტექნოლოგიური გადაწყვეტა მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია ისეთი პარამეტრების არასტაბილურ მნიშვნელობაზე, როგორცაა მჭრელი ინსტრუმენტის გეომეტრიული, ფიზიკური და ქიმიური თვისებები და სხვ. ფუნდამენტური კვლევა ამ მიმართულებით წარმოდგენილია ნაშრომში [5]. შედეგად, ეს გარემოება განაპირობებს არაადეკვატური გადაწყვეტილებების მიღებას წარმოების ტექნოლოგიური მომზადების ეტაპზე და ვინაიდან ყველა უზუსტობა, საბოლოო ჯამში, თავს იყრის რამ ჩარხის მმართველ პროგრამებში, ეს იწვევს ამ უკანასკნელის რეალურ საწარმოო პირობებთან ადაპტირების აუცილებლობას.

სინთეზის პროცედურებში დეტერმინირებული მოდელების გამოყენებას აზრი აქვს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც შესაძლებელია არასტაბილური პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობების განსაზღვრა. ეს კი, თავის მხრივ, შესაძლებელია წარმოების ეტაპზე ავტომატიზებული კონტროლის სისტემის (Computer Aided Quality Control - CAQC) საშუალებით, კონტროლის ორი მეთოდის რეალურ დროში და შესასვლელი კონტროლის გამოყენებით. მაშასადამე, უმჯობესია სინთეზის ზოგიერთი ამოცანის და შესაბამისი დეტერმინირებული მოდელის გადატანა წარმოების ტექნოლოგიური მომზადების ეტაპიდან წარმოების ეტაპზე, რაც იმის საშუალებას იძლევა, რომ ტექნოლოგიური მომზადების ეტაპზე განხორციელდეს ტექნოლოგიური პროცესის დაპროექტება მაკროდონტზე, შესაბამისი მაკრომმართველი პროგრამების მიღებით, რომლებიც დამოკიდებული არ იქნებიან საწარმოო პროცესის სტოქასტიკურობაზე, ხოლო ტექნოლოგიური პროცესის სრული სინთეზი მოხდეს წარმოების ეტაპზე CNC ტიპის რამ ჩარხების და CAQC სისტემების გამოყენებით. ასეთი მიდგომა მნიშვნელოვნად ამარტივებს

მმართველი პროგრამების ადაპტაციას რეალურ სანარმოო პირობებთან.

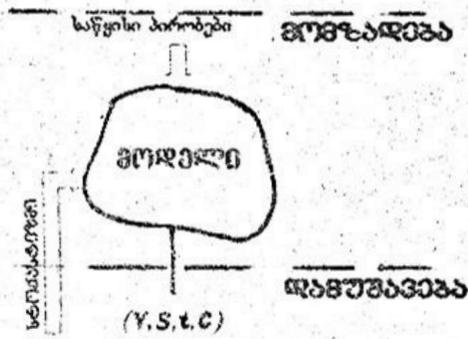
სინთეზის პროცესის ორ ეტაპად გაყოფა ნიშნავს ტექნოლოგიური პროცესის დაყოფას, ერთის მხრივ, ისეთ სტრუქტურულ ელემენტებად, რომლებიც დისკრეტულ დამოკიდებულებაშია სტოქასტიზმთან, რაც იმას ნიშნავს, რომ შემთხვევითი პარამეტრის ფართო დიაპაზონში ცვლილება მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს მათზე, და სტრუქტურულ ელემენტებად, რომლებიც უწყვეტ კავშირშია სტოქასტიზმთან, ანუ ძლიერ არიან დამოკიდებულნი შემთხვევით სიდიდეზე.

ჩვენი გამოკვლევების თანახმად, შემთხვევითი სიდიდეები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ისეთ ელემენტებზე, როგორცაა ჭრის რეჟიმები და ინსტრუმენტის გადაადგილების ტრაექტორიის გეომეტრიული პარამეტრები. ჭრის რეჟიმები შეიცავს სამ პარამეტრს:  $V$  ჭრის სიჩქარეს,  $S$  - მიწოდების სიჩქარესა და  $t$  - ჭრის სიღრმეს. ინსტრუმენტის გადაადგილების ტრაექტორიის გეომეტრიული პარამეტრები კი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს  $G$  ვექტორის სახით, რომელიც შეიცავს საყრდენი წერტილების მიმდევრობას და მათ კოორდინატებს ჩარხის კოორდინატთა სისტემაში. რაოდენობრივმა ანალიზმა ცხადყო, რომ ნამზადის სისალის 30%-ით ცვლილება განაპირობებს მიწოდების სიჩქარის 80% და ჭრის სიჩქარის 25%-ით ცვლილებას. ნამზადის გეომეტრიის 30%-ით ცვლილება ცვლის მიწოდების სიჩქარეს 60%, ხოლო ჭრის სიჩქარეს - 30%-ით. დადასტურებულია [6], რომ ინსტრუმენტის გადაადგილების ტრაექტორიის გეომეტრიული პარამეტრების კორექცია ნამზადის რეალური გეომეტრიის მიხედვით აფართოებს ადაპტური მართვის სისტემების დიაპაზონს.

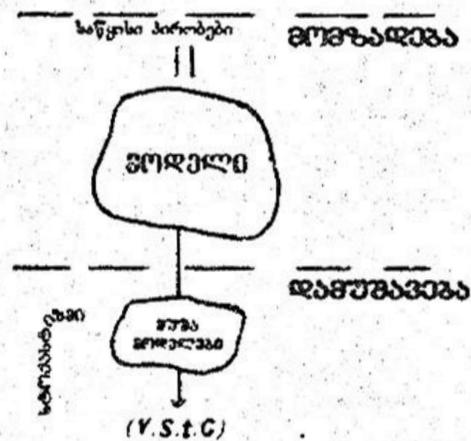
მაშასადამე, წარმოების ეტაპზე გადატანილი უნდა იქნეს ჭრის რეჟიმებისა და გადაადგილების ტრაექტორიის გეომეტრიული პარამეტრების გამოსათვლელი პროცედურები. ამასთანავე, მიზანშეწონილი არ არის მთლიანი მოდელის გადატანა (ნახ.3), უნაიდან ეს მოითხოვს სპეციალურ ტექნიკურ უზრუნველყოფას CNC სისტემებისათვის და, ამას გარდა, ეს აუცილებელი არც არის. შესაძლებელია მთლიანი მოდელიდან შედარებით მარტივი, ე.წ. მუშა მოდელების გამოყოფა. კერძოდ, ტექნოლოგიური მომზადების ეტაპზე განხორციელდება მუშა მოდელების შერჩევა, ხოლო შემდგომ, უკვე წარმოების ეტაპზე, მათი საშუალებით CNC-ში მოხდება ( $V$ ,  $S$ ,  $t$ ,  $G$ ) პარამეტრების გამოთვლა (ნახ.4).

მუშა მოდელების მისაღებად აუცილებელია სპეციალური მოდულების შექმნა, რომლებიც უნდა შეიცავდნენ ( $V, S, t, G$ ) პარამეტრების გამოსათვლელ ტიპურ გადანაცვლებს და ასევე მმართველი მაკროპროგრამების ტექსტის მომზადების მოდელებსა და კონტროლის სარეალიზაციო პროცედურებს.

ჭრის რეჟიმების გამოსათვლელი მუშა მოდელები მიღებულ იქნა ოპტიმიზაციის ზოგადი მოდელიდან, რომელიც აღწერილია პროფესორ მ.მ. ტვერსკოის შრომაში [7]. ეს მოდელი ითვალისწინებს დღესდღეობით მანქანათმშენებლობის ტექნოლოგიაში არსებულ ოპტიმიზაციის ყველაზე უფრო ფართოდ გავრცელებულ კანონებს და



ნახ.3



ნახ.4

წარმოადგენს ბაზისს სამეცნიერო სკოლების უმრავლესობისათვის ამ დარგში.

მოძელები აგებულია ტეილორის ემპირიული დამოკიდებულების საფუძველზე ცნობილია, რომ ამ დროს ოპტიმალური  $V$  და  $S$  რეჟიმების გამოსათვლელად, ყოველი ფიქსირებული  $t$ -თვის, აუცილებელია ერთდროულად ორი ოპტიმიზაციის პირობის  $[H] = const$  და  $[F] = const$  დაკმაყოფილება. მაშასადამე, მუშა მოძელები უნდა შეიცავდნენ ორ ფუნქციურ დამოკიდებულებას ოპტიმიზაციის პირობასა და ჭრის რეჟიმებს შორის. ზოგადად, ეს შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი სისტემების სახით:

$$H = C_h V^{a_h} S^{b_h} t^{c_h} \quad (1)$$

$$F = C_f V^{a_f} S^{b_f} t^{c_f}$$

სადაც  $C_h, C_f, a_h, b_h, c_h, a_f, b_f, c_f$  დამუშავების პირობებზე დამოკიდებული კოეფიციენტებია.

ცნობილია, რომ ტეილორის ემპირიული დამოკიდებულების შემთხვევაში, ერთ-ერთი ოპტიმიზაციის პირობა წარმოადგენს სასაზღვრო პირობას, ვინაიდან მიზნის ფუნქციას გააჩნია მხოლოდ პირობითი ოპტიმუმი. მეორე ოპტიმიზაციის პირობა შეიცავს ან სასაზღვრო პირობას, ან ოპტიმალური მედეგობის პირობას  $[T] = const$

$$T = (\mu - 1)(\tau + Q1/Q2) \quad (2)$$

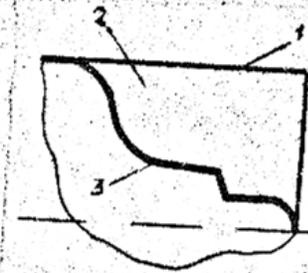
სადაც  $\mu$  ტეილორის ემპირიულ დამოკიდებულებაში შემავალი კოეფიციენტი;  $\tau$  - ინსტრუმენტის შეცვლაზე დახარჯული დრო;  $Q1$  - ინსტრუმენტის ღირებულება;  $Q2$  - ჩარხ-წუთის ღირებულება.

გამოკვლევების შედეგად გამოიკვია, რომ (1) სისტემაში პირველი ოპტიმიზაციის პირობას  $[H] = Const$  ახასიათებს შემდეგი სახის შეზღუდვები:  $[V]$  - ჭრის სიჩქარის დასაშვები მნიშვნელობა;  $[N]$  - შპინდელის სიმძლავრე და  $[T]$  - მედეგობის ოპტიმალური მნიშვნელობა, ხოლო მეორე ოპტიმიზაციის პირობა  $[F] = Con$ .

შეიცავს შეზღუდვებს  $-[P]$  - ჭრის ძალაზე,  $[M]$  - შპინდელის მომენტზე და  $[S]$  - მინოდების სიჩქარის დასაშვებ მნიშვნელობაზე.

მაშასადამე, მიღებულ იქნა ჭრის რეჟიმების გამოსათვლელი შემდეგი მუშა მოდელები:  $[PV], [SV], [ST], [PT], [SN], [PN], [MN], [MV], [MT]$ , აღნიშნული 9 მუშა მოდელი გამოხატავს მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის ყველაზე ფართოდ გავრცელებულ შემთხვევებს.

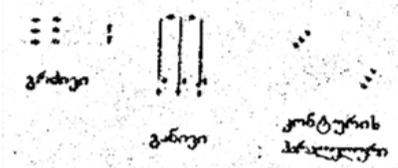
ინსტრუმენტის გადაადგილების ტრაექტორიის გამოთვლა ხორციელდება განსაზღვრული ნამეტის, ინსტრუმენტისა და გადაადგილების სქემისათვის. ნამეტი, ერთის მხრივ, შემოსაზღვრულია დეტალის კონტურით, ხოლო, მეორეს მხრივ, ნამზადის კონტურით. მე-5 ნახ-ზე მოცემულია ნამეტი სახარატო დამუშავებისათვის. გადაადგილების სქემა განსაზღვრავს ინსტრუმენტის მოძრაობის სტრატეგიას, მაგალითად, გრძივი, განივი, ან კონტურის პარალელური გადაადგილებები (ნახ. 6).



ნახ. 5.

1-ნამზადის კონტური, 2-ნამეტი, 3-დეტალის კონტური

ამრიგად, ინსტრუმენტის ტრაექტორიის გეომეტრიული პარამეტრების გამოსათვლელი მუშა მოდელების შესაქმნელად საჭიროა ნამეტის, ანუ, კერძო შემთხვევაში, დამუშავების ზონის და შესაბამისი ინსტრუმენტისა და გადაადგილების სქემის ფორმალურ სახეში დაკავშირება, ანუ ე.წ. ტიპური გადაწყვეტილების ფორმალიზება. ზოგადად, ტიპურ გადაწყვეტაში შეიძლება ორი ნაწილის გამოყოფა: საკონსტრუქტორო — შეიცავს ნამეტის გეომეტრიის ფორმალურ (უფრო ხშირად, პარამეტრულ სახეში) აღწერას და ტექნოლოგიური - გულისხმობს ინსტრუმენტისა და



ნახ. 6. ინსტრუმენტის გადაადგილების სქემა

გადაადგილების სქემის კომბინაციას. ამასთანავე, ერთი და იგივე ნამეტისათვის, როგორც ნესი, არსებობს დამუშავების რამდენიმე ვარიანტი - სხვადასხვა ინსტრუმენტებითა და გადაადგილების სქემებით, ამიტომ ტექნოლოგიური ნაწილი ტიპურ გადაწყვეტაში შეიძლება შეიცავდეს რამდენიმე ალტერნატიულ გადაწყვეტას. თავის მხრივ, ტექნოლოგიური ნაწილის დაკავშირება ჭრის რეჟიმების გამოსათვლელ მუშა მოდელებთან ინსტრუმენტული ტექნოლოგიური გადასვლის ფორმალურ აღწერას იძლევა.

ამრიგად, ჩვენს მიერ მიღებულ იქნა ფორმალიზმი, ე.წ. საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური მოდული (სტმ), რომელიც საკონსტრუქტორო ელემენტებს საინსტრუმენტო-ტექნოლოგიური გადასვლის სხვადასხვა ალტერნატიულ ვარიანტებთან აკავშირებს. გარდა ამისა, სტმ შეიცავს CNC ტიპის რამ ჩარხის ქვეპროგრამების შესაბამის მაკრობრძანებებსა და კონტროლის სარეალიზაციო ტიპურ გადაწყვეტებს. მე-7 ნახ-ზე წარმოდგენილია სახარატო დამუშავების საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური მოდულის

კონსტრუქცია	საინსტრუმენტო გადასვლა			მარტივი პრეპროგრამა			კონტროლი	
	ინსტრუმენტი	სიმა	ა. ვრდობა				ფორმა	პარამეტრი
			[PV] [SN] [PT] [ST]	N R01... R02 R03 R04 R05 R06 R07 R08 R09 R10 R11 L71	შესახვ: L93 Marpos ნაღვრ. დონმა Promec	B3, HB P, P <sub>2</sub> , N		
			[PV] [SV] [PT] [ST]	N R01 R02 R03 R04 R05 R06 R07 R08 R09 R10 R11 L72	შესახვ: L93 Marpos ნაღვრ. დონმა Promec	B3, HB P, P <sub>2</sub> , N		
			[PV] [ST] [SV]	N R01 R02 R03 R04 R05 R06 R07 R08 R09 R10 R11 P12 P13 L71	შესახვ: L93 Marpos ნაღვრ. დონმა Promec	B3, HB P, P <sub>2</sub>		
			[PT] [ST]	N R01 R02 R03 R04 R05 R06 R07 R08 R09 R10 R11 L81	ნაღვრ. დონმა Promec	HB P <sub>2</sub>		
			[PN] [MT] [ST]	N R01 R02 R03 R04 R05 R06 R07 R08 R09 R10 R11 R12 L82	ნაღვრ. დონმა Promec	HB P, P <sub>2</sub> , N		

ნახ. 7. საკონსტრუქციო-ტექნოლოგიური მოდულები (CNC - Sinumerik 3T).

მაგალითი. ზოგიერთ შემთხვევაში სტმ შეიძლება შეიცავდეს ინსტრუმენტული გადასვლების ტიპურ მიმდევრობასაც. სინთეზის ამოცანების გადანყვეტა სტმ ბიბლიოთეკის ბაზაზე საშუალებას იძლევა:

განხორციელდეს CAD სისტემებში დეტალის ტექნოლოგიური კონსტრუქციის მიღება;

მოხდეს CAM სისტემებში მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური ოპერაციის ოპტიმალური სტრუქტურისა და რამ ჩარხებისათვის საიმედო მმართველი მაკროპროგრამების გენერირება;

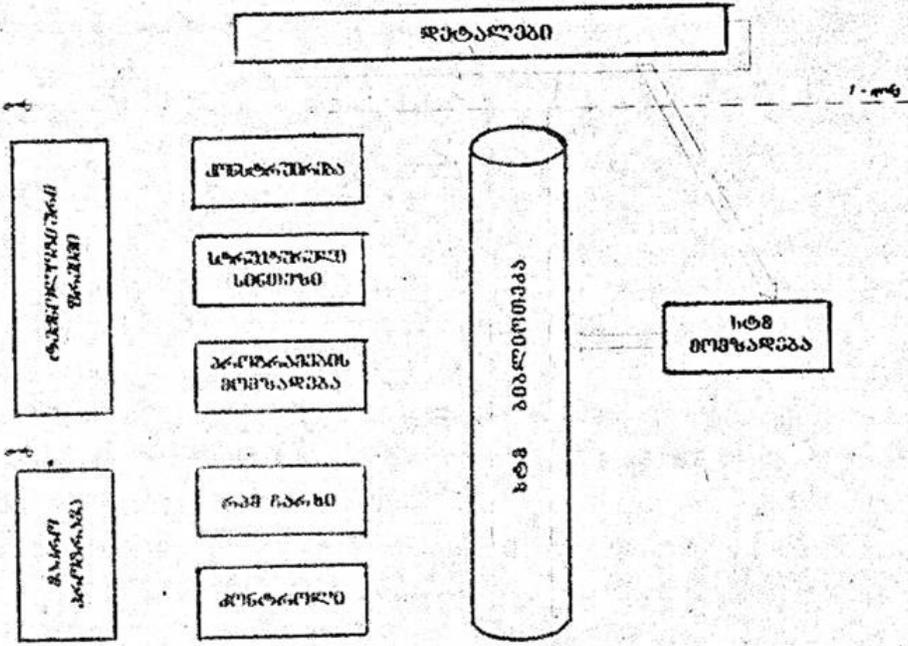
შესრულდეს მმართველი მაკროპროგრამების სწრაფი და ადვილი ადაპტაცია რეალურ საწარმოო პირობებთან CNC და კონტროლის (CAQC) სისტემებით.

ამასთან, ზოგადად შეიძლება გამოიყოს სინთეზის სამი ეტაპი:

1. დეტალების ანალიზი და შესაბამის სტმ ბიბლიოთეკის ფორმირება;
2. დეტალების კონსტრუირება და ტექნოლოგიური ოპერაციის სტრუქტურული სინთეზი;
3. ტექნოლოგიური ოპერაციის პარამეტრული სინთეზი.

პირველი და მეორე ეტაპი სრულდება წარმოების ტექნოლოგიური მომზადების სტადიაზე, ხოლო მესამე - დამუშავების სტადიაზე.

ამრიგად, სტმ ბიბლიოთეკა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც CAD, CAM, NC და CAQC სისტემების საერთო ცოდნის ბაზა, რომელიც განკუთვნილია სინთეზის როცედურების შესასრულებლად. CAD-CAM-CNC-CAQC ინფორმაციული ინტერფეისი, ამ შემთხვევაში, შედგება რამდენიმე ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დონებისაგან, რომლებიც ნაჩვენებია მე-8 ნახ-ზე.



ნახ. 8

I დონე - შეესაბამება დეტალების ანალიზისა და სტმ ბიბლიოთეკის შევსების ეტაპს. ჰორიზონტალური კავშირები ხორციელდება სტმ ბიბლიოთეკის საშუალებით.

II დონე - შეესაბამება დეტალების კონსტრუირებისა და ტექნოლოგიური ოპერაციის სტრუქტურული სინთეზის ეტაპს. ჰორიზონტალური კავშირები დამყარებულია ტექნოლოგიური ფრეიმის საშუალებით.

III დონე - შეესაბამება ტექნოლოგიური ოპერაციის პარამეტრული სინთეზის ეტაპს. ჰორიზონტალური კავშირები უზრუნველყოფილია მმართველი მაკროპროგრამის საშუალებით.

რუსეთის ზოგიერთი სამხედრო დანიშნულების ორგანიზაციაში, ბრუნვითი ტანის ტიპური დეტალებისთვის განხორციელდა მეთოდოლოგიის ნაწილობრივი დანერგვა და აპრობაცია. მოსკოვის ორგანიზაცია „ტემპ“-ში დამუშავდა სპეციალური სტმ ბიბლიოთეკა, რომელიც აღწერილია ნაშრომში [8]. ბიბლიოთეკა დაინერგა დამამუშავებელ ცენტრზე STR-25, ახალი თაობის CNC მართვის სისტემით - MC2106. მიღებულ იქნა შემდეგი მოსალოდნელი შედეგები: ინსტრუმენტის ტრაექტორიის გამართვის პროცედურა

რები შემცირდა 70%-ით, რამაც განაპირობა ეკონომიური მახასიათებლის გაუმჯობესება 28%-ით; ტრის რეჟიმების გამართვის პროცედურები შემცირდა 73%-ით; რის შედეგადაც 72%-ით გაუმჯობესდა ეკონომიური მახასიათებელი.

აღწერილი მეთოდოლოგიის საფუძველზე ParametricCAD ჯგუფში დამუშავდა კომერციული პროგრამული პაკეტი Turbo T, რომელიც მზადაა ტირაჟირებისათვის. შემუშავდა ცალკეული პროგრამული მოდულები: დეტალის კონტურის გარდაქმნისა და მექანიკური დამუშავების ზონების გამოყოფის პროცესორი (მაგისტრი, ლ. შონია), კონტურების იდენტიფიკაციის ექსპერტული სისტემის ცოდნის ბაზის ინტერპრეტატორი (მაგისტრი დ. ხაბაზაშვილი), უნიფიცირებული ინტერფეისის DXF პროცესორი (ი. სლობოდინი). შესრულდა 4 სამაგისტრო დისერტაცია. მზადდება 8 სამაგისტრო და 1 საკანდიდატო დისერტაციები.

### ლიტერატურა - ЛИТЕРАТУРА - REFERENCES

1. Stovichek Donald R. Verifying Toolpaths /Automation, 1991, June. -pp.32-35.
2. Fruhwald C. Forstzeiten in der spanabhebenden fertigung /Werkstattstechnik, 1988, no.78- pp. 499-502.
3. Koelsch James R. Practical Adaptive Control /Manufacturing Engineering, vol.110, iss:5, May, 1993. -pp.61-63 ISSN:0361-0853
4. ლოლადზე Т.Н. Основные вопросы оптимизации технологии машиностроительного производства //Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1987. - с.248.
5. Шармазанашвили А.Н. К вопросу исследования зависимости оптимальных режимов обработки от технологических возмущений //Труды ГТУ, 1994, № 1.
6. Шармазанашвили А.Н. Метод оптимизации черновых проходов при адаптивном управлении //Труды ГТУ, 1994, № 2.
7. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках, /М.: Машиностроение, 1982. - 208 с.
8. Шармазанашвили А.Н., Доронкин Б.И., Мауцин Г.В., Дружинина Н.М. Унификация конструкторско-технологических решений для макропрограммирования операционной технологии //Передовой производственный опыт, № 5, 1991.

მანქანათმშენებლობის  
ტექნოლოგიის კათედრა

რედაქციაში შემოვიდა  
19. 06. 1997