

# CAD/CAM-ის ჯგუფში ჩატარებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მიმოხილვა

ჯგუფის ხელმძღვანელი, ტ.მ.კ., დოც. ალ.შარმაზანაშვილი

CAD/CAM-ის ჯგუფი შეიქმნა 1992 წელს, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, მექანიკა-მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტზე არსებულ №381, სამანქანათმშენებლო წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაციის ლაბორატორიაში. ჯგუფის სამუშაო ბირთვს ძირითადად ასპირანტები და მაგისტრები შეადგენენ.

ჯგუფში მიმდინარეობს საკვლევ-სამეცნიერო სამუშაოები მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზებული დაპროექტების სისტემების შექმნაზე. ამასთან დაკავშირებით სამუშაოები ხორციელდება შემდეგი ძირითადი მიმართულებებით:

- 1) ტექნოლოგიური ოპერაციების სტრუქტურული სინთეზი, ასპირანტი ა.მამათავრიშვილი, მაგისტრები - დ.ხაბაზაშვილი, ლ.შონია, ზ.კაჭარავა, ისლობოდინი. დამუშავდა 4 სამაგისტრო და 1 საკანდიდატო დისერტაციები.
- 2) ტექნოლოგიური პროცესების ადს-ის არქიტექტურის კვლევა, ასპირანტები ლ.მეგრელიშვილი და ნ.დოლიძე, მაგისტრები - გ.მუჩიძე და თ.ნასყიდაშვილი. დამუშავებულია 2 სამაგისტრო დისერტაცია.

გარდა ამისა მიმდინარეობს ცალკეული სამუშაოები - ნამზადების შერჩევის სისტემის (მაგისტრი ე.გარიშვილი); მჭრელი ინსტრუმენტის დაპროექტების სისტემის (მაგისტრი ე.რაზმაძე); პარამეტრული ოპტიმიზაციის ევრისტიკული მოდელის (მაგისტრი ი.ხარაძე), შექმნაზე.

მიმდინარე წელს წარჩინებით იქნა დაცული ორი სამაგისტრო დისერტაცია: სიხისტის პარამეტრების გამოკვლევისა (ხელმძღვანელი დოც. გ.შანშიაშვილი, მაგისტრი თ.წიკლაური) და სახარატო ზონების სინთეზის მეთოდის დამუშავების (ხელმძღვანელი დოც. ალ.შარმაზანაშვილი, მაგისტრი ზ.კაჭარავა), შესახებ.

მიმდინარე წელს, განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია ორი მოვლენა, რომელსაც ადგილი ჰქონდა ჯგუფის სამეცნიერო ცხოვრებაში.

პირველი დაკავშირებულია ჯგუფის წევრების მონაწილეობასთან ქ.მანჩესტერში, ინგლისი, ჩატარებულ საერთაშორისო სიმპოზიუმში - Tools and Methods of Concurrent Engineering - TMCE, რომელზეც მოხდა ჩატარებულ საკვლევ-სამეცნიერო სამუშაოთა შედეგების

გატანა და აპრობაცია მსოფლიო სამეცნიერო საზოგადოების სამსჯავროზე. სიმპოზიუმში მონაწილეობას იღებდნენ მეცნიერები დასავლეთ ევროპის, ამერიკის და იაპონიის 30 უნივერსიტეტიდან.

მეორე მოვლენა კი ეხება ჯგუფის მონაწილეობას პროგრამული სისტემების პირველ რესპუბლიკურ კონფერენცია-გამოფენაში, SofTEC'99, რომელიც ჩატარდა სტუ-ში, ქ.თბილისი. გამოფენაზე წარმოდგენილი იყო ჯგუფში დამუშავებული პროგრამული პაკეტების კომპლექსი და ჟიურის გადაწყვეტილებით ამ ნაშრომს მიენიჭა გამოფენის პირველი ხარისხის დიპლომი.



## დ ი კ ლ ო მ ი

რესპუბლიკური სამეცნიერო-ტექნიკური  
კონფერენცია-გამოფენა SofTEC'99-ის  
საორგანიზაციო კომიტეტი

აჯილდოებს

### პირველი ხარისხის პრიზით

კონფერენცია-გამოფენის კონკურსში გამარჯვებული, საქართველოს  
ტექნიკური უნივერსიტეტის, CAD/CAM-ის ფგუფში შექმნილი

პროგრამული პაკეტების

- სახარატო ოპერაციების პროგრამირების სისტემა Turbo T
- სახარატო ოპერაციების ოპიშუბო-ომინტირებული პროგრამირების სისტემა
- სახარატო ზონების სინთეზის მასპროტული სისტემა

ავტორებს: ა. შარმაზანაშვილს (ხელმძღვანელი),  
ა. მამათაყარიშვილს, ლ. მეგრელიშვილს, ნ. დოლიძეს, დ. საბაზაშვილს,  
ე. სლობოდინს, დ. შონიას, ზ. კაჭარავას

საორგანიზაციო კომიტეტის  
სახელით

პროფ. რამაზ ხუროზე

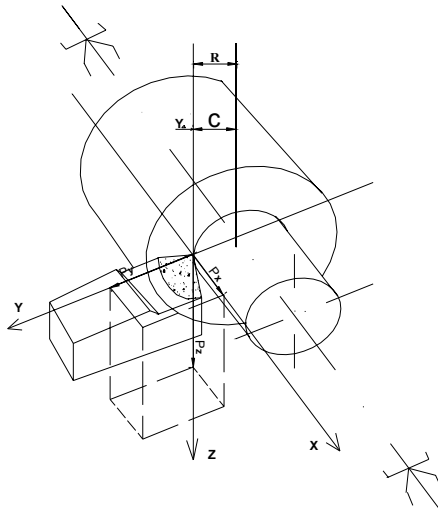
# ჭრის ძალის მოდების წერტილში ტექნოლოგიური სისტემის (ჩსიდ) სისხისტის განსაზღვრის მეთოდების ანალიზი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
 მექანიკა-მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი, №20 კათედრა  
 დოც. გ.შანშიაშვილი, მაგისტრი თ.წიკლაური

ლითონსაჭრელ ჩარხზე ნამზადის დამუშავებული ზედაპირის გეომეტრიული ფორმისა და სიზუსტის განმსაზღვრელი მიმდინარე ზომა  $R$  (ნახ.1) შეიძლება გაიყოს ორ ნაწილად და წარმოდგენილი იქნეს (1) ტოლობის სახით.

$$R = C + Y\Delta \quad (1)$$

ამ ტოლობაში  $C$  ტექნოლოგიური სისტემის ჩსიდ (ჩარხი-სამარჯვებ-იარაღი-დეტალი), ე.წ. სტატიკური გაწყობის ზომაა, ხოლო  $Y\Delta$  ჭრის ძალის  $P$ , ან მისი სამივე  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  მდგენელის ერთდროული მოქმედებით, ძალების მოდების წერტილში წარმოქმნილი იარაღისა და ნამზადის ჯამური დრეკადი გადაადგილება დასამუშავებელი ზედაპირის ნორმალური  $Y$  დერძის მიმართულებაზე.



ნახ.1. ჭრის პროცესის კოორდინატა სტატიკური სისტემა (xyz), მჭრელ იარაღზე მოქმედი ძალები და მიმდინარე ზომის  $R$  წარმოქმნის სქემა (სქემაზე არ არის აღნიშნული ნამზადზე მოქმედი  $P_x, P_y, P_z$ -ის ტოლი და საწინააღმდეგო მიმართულების ძალები).

დეტალეობას მაღალმწარმოებლური რეჟიმებით, მაგალითად, ჩარხის ვიბრომდგრადობის და სიმძლავრის მიხედვით დასაშვები მაქსიმალური ჭრის სიღრმით დამუშავების პროცესს თან ახლავს დრეკადი გადაადგილებისას  $Y_{\Delta}$ , როგორც ცვლილების სიჩქარის, ისე სიდიდის მიხედვით სხვა ცვლილებებთან შედარებით დიდ ფარგლებში ცვალებადი შემთხვევითი ხასიათის გადახრები.

ამიტომ, დამუშავების პროცესში შემდეგი პირობების დაცვით

$$Y_{\Delta} \rightarrow 0 \quad (2)$$

$$Y_{\Delta} \rightarrow \text{const} \quad (3)$$

არა მარტო უშუალოდ იზრდება მიმდინარე ზომის  $R$  სიზუსტე, არამედ არსებითად მარტივდება დეტალეობის პარტიის დამუშავების პროცესში ტემპერატურული დეფორმაციებით და იარაღის გაცვეთით გამოწვეული ჯამური სისტემატიური ცდომილების კონტროლი და კომპენსაციაც სტატიკური გაწყობის ზომის სათანადო კორექტირებით.

დამუშავების შედეგად მიღწეული მიმდინარე ზომის ფაქტიური სიზუსტის გაანგარიშებით განსაზღვრისა და (2) ან (3) პირობის დაცვის დიდმა პრაქტიკულმა მნიშვნელობამ განაპირობა ჩარხების (ტერმინი “ჩარხის” ქვეშ იგულისხმება ტექნოლოგიური სისტემა – ჩსიდ) სიხისტის პრობლემისადმი მიძღვნილი მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები და მონოგრაფიები [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 და ა.შ.].

შედარებით ადრე შესრულებულ გამოკვლევებში და კერძოდ ნაშრომში [1] ფაქტიურად გაკეთებულია დაშვება, რომ ჭრის ძალის მოდების წერტილში და ნამზადის დასამუშავებელი ზედაპირის ნორმალური მიმართულებით ჩარხის დრეკადი სისტემა შეიძლება განხილული იქნეს როგორც ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე წრფივი დრეკადი სისტემა. აქედან გამომდინარე, იგივე ნაშრომში ჩარხის სიხისტის გაზომვისა და შეფასებისათვის არსებითად გამოყენებული და რეკომენდირებულია შემდეგი მეთოდი:

დინამომეტრული მოწყობილობის საშუალებით ჩარხზე დაყენებული ნამზადიც და იარაღიც იტვირთება დასამუშავებელი ზედაპირის ნორმალური მიმართულებით, ანუ  $Y$  ღერძის (ნახ.1) გასწვრივ მოქმედი მხოლოდ  $PY$  ძალით; იზომება იგივე მიმართულებით წარმოქმნილი იარაღის ნამზადის მიმართ დრეკადი გადაადგილება  $y$ ; ძალის წინასწარ შერჩეული დიაპაზონიდან ( $P = P_{\min} \div P_{\max}$ ) სხვადასხვა სიდიდის ძალით დატვირთვა (განტვირთვა) და შესაბამისი დრეკადი გადაადგილების  $y$  გაზომვა მეორდება იმდენჯერ, რომ გაზომვის შედეგად მიღებული მონაცემების გამოყენებით პრაქტიკულად საკმარისი სიზუსტით აგებული იქნეს ფუნქციის  $y = f(PY)$  გრაფიკი; ძალის სიდიდის მთელ ან ორ დიაპაზონში ( $PY = 0 \div P_1$ ;  $PY = P_1 \div P_{\max}$ ) ფუნქციის  $y = f(PY)$  გაწვრივების შემდეგ განისაზღვრება ჩარხის დრეკადი სისტემის სიხისტის

დამახასიათებელი მუდმივი რიცხვი  $j$ , ანუ სიხისტის კოეფიციენტი ფარდობით

$$j = \Delta Py / \Delta y \quad (4)$$

სადაც  $\Delta Py$  და  $\Delta y$  – ფუნქციის  $y = f(Py)$  გაწვრთვებულ ნაწილში ძალის  $Py$  და დრეკადი გადაადგილების  $y$  ნაზრდება შესაბამისად. ზოგჯერ მოხერხებულია განისაზღვროს სიხისტის კოეფიციენტის შებრუნებული სიდიდე  $k = 1/j = \Delta y / \Delta Py$ , რომელსაც იგივე დრეკადი სისტემის დამყოლობის კოეფიციენტს უწოდებენ.

პროფ. ა.პ.სოკოლოვსკი თავის ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებსა და მონოგრაფიაში [3] მივიდა დასკვნამდე, რომ უშუალოდ ნამზადის დამუშავების პროცესში მოქმედი ჩარხის დრეკადი სისტემის სიხისტის და დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  განსაზღვრისათვის გატვალისწინებული უნდა იქნას ჭრის ძალის სამივე მდგენელის ( $P_x, P_y, P_z$ ) გავლენა. მანვე არსებითად გამოთქვა მოსაზრება, რომ ჭრის ძალის სამივე მდგენელით დატვირთვისას ჩარხის დრეკადი თვისებები შეიძლება დახასიათდეს სიხისტის ნორმალური ( $j_{yy}$ ) და ორთოგონალური ( $j_{yz}, j_{yx}$ ) კოეფიციენტებით

$$j_{yy} = Py / y_{Py}; \quad j_{yz} = Pz / y_{Pz}; \quad j_{yx} = Px / y_{Px} \quad (5)$$

სადაც  $y_{Py}, y_{Pz}, y_{Px}$  – ჯამური დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  შემდგენი ნაწილებია ( $Y_{\Delta} = y_{Py} + y_{Pz} + y_{Px}$ ), რომლებიც წარმოიქმნებიან შესაბამისად  $P_x, P_y, P_z$  ძალების გავლენით ჩარხზე მათი ერთდროული მოქმედების პროცესში (ნახ.1).

სიხისტის კოეფიციენტებთან მდგომი ინდექსებიდან პირველი მიუთითებს ღერძს, რა მიმართულებითაც იზომება დრეკადი გადაადგილება, ხოლო მეორე ინდექსი – ჭრის ძალის იმ მდგენელის მიმართულებას, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება სიხისტის შესაბამისი კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

მაგრამ ა.პ.სოკოლოვსკიმ, შეიძლება ითქვას, არასაკმარისი დასაბუთებით უარყო ჩარხის სიხისტის ზემოთნახსენები კოეფიციენტების ცნებათა შემოტანა და კვლავ მიზანშეწონილად და შესაძლებლად მიიჩნია ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის სიხისტის ერთი რიცხვითი სიდიდით დახასიათება. მანვე წამოაყენა იდეა ჩარხის სიხისტის დამახასიათებელი ეს ერთი რიცხვითი სიდიდე განისაზღვროს: ჭრის ძალის სამივე მდგენელით ერთდროული დატვირთვით, მხოლოდ ჯამური დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$ -ს გაზომვით და შემდეგი ფარდობის გამოთვლით:

$$j_c = Py / Y_{\Delta} \quad (6)$$

რაც შედარებით უფრო დეტალური ფორმით შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახითაც:

$$j_c = Py / (y_{Py} + y_{Pz} + y_{Px}) \quad (7)$$

ჩარხის სიხისტის გაზომვისა და შეფასების ა.პ.სოკოლოვსკის მიერ წამოყენებული მეთოდის არსიდან ჩანს, რომ ჩარხის სულ მცირე სამი (როგორც ეს ნაჩვენებია ნაშრომებში [7,8,10], სინამდვილეში გაცილებით მეტი) თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემა იცვლება ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემით. თუ რა შედეგები მოიტანა ასეთმა შეცვლამ, შეგვიძლია დავადგინოთ არც თუ რთული ანალიზით. დავუშვათ, რომ ჩარხს გააჩნია იდეალურად წრფივი სივრცითი სისტემა და მისი სიხისტის ნორმალურ ( $J_{yy}$ ) და ორთოგონალური ( $J_{yz}, J_{yx}$ ) კოეფიციენტები ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დრეკადი თვისებების ამსახველი არსებითად მუდმივი რიცხვითი სიდიდეებია. თუ ასეთი პირობებისათვის მე-6 ან მე-7 გამოსახულებაში დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  შემდეგ ნაწილებს ( $Y_{Py}, Y_{Pz}, Y_{Px}$ ) მე-5 ფარდობათა გამოყენებით გამოვსახავთ ჩარხის სიხისტის ნორმალური და ორთოგონალური კოეფიციენტების საშუალებით, მიღებული გამოსახულების მცირეოდენი გარდაქმნით მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას

$$J_c = (1/J_{yy} + Pz/Py J_{yz} + Px/Py J_{yx})^{-1} \quad (8)$$

ამ გამოსახულებაში სიხისტის ყველა კოეფიციენტი შეეცვალოთ დამყოლოების კოეფიციენტებით :

$$K_c = 1/J_c, \quad K_{yy} = 1/J_{yy}, \quad K_{yz} = 1/J_{yz}, \quad K_{yx} = 1/J_{yx}$$

და მივიღებთ უფრო მარტივ გამოსახულებას

$$K_c = K_{yy} + k_{yz} P_z / P_y + K_{yx} P_x / P_y \quad (9)$$

მე-8 და მე-9 დამოკიდებულებებიდან აშკარად ჩანს, რომ მაშინაც კი როცა ნორმალური და ორთოგონალური სიხისტის (დამყოლოების) კოეფიციენტები მუდმივი რიცხვითი სიდიდეებია, მე-6 ფარდობით განსაზღვრული, ა.პ.სოკოლოვსკის მიერ ჩარხის სიხისტედ (ხოლო სხვა ავტორების ნაშრომებში [8,11] ტექნოლოგიურ სიხისტედ) წოდებული რიცხვითი სიდიდე არსებითად არის დამოკიდებული ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულებაზე.

თეორიული ანალიზით მიღებულ ამ დასკვნას ადასტურებს მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტალური გამოკვლევები [1,2,3,7], რომელთა მიხედვით მე-6 ფარდობით გამოთვლილი რიცხვითი სიდიდე ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულების პრაქტიკულად შესაძლო ფარგლებში ცვლილებისას დებულობს თვისებრივად განსხვავებულ მნიშვნელობებს – დადებით, უარყოფით და პრაქტიკულად უსასრულო მნიშვნელობასაც. აქედან კი თავის მხრივ ცხადი ხდება, რომ ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც უცნობია ჩარხის სიხისტის ნორმალური და ორთოგონალური კოეფიციენტების მნიშვნელობები, მე-6 ფარდობის მიხედვით ჩარხის სიხისტის დასადგენად საჭიროა ჭრის ძალის სამივე მდგენელით ერთდროული დატვირთვისას და ჯამური დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$

გაზომვის მიზნით იმდენი ექსპერიმენტის ჩატარება და ჩარხის სიხისტის იმდენი მახასიათებლის განსაზღვრა , რამდენი მიმართულებაც შეიძლება მიიღოს ჭრის ძალის ვექტორმა მოცემულ ჩარხზე დეტალების დამუშავების პროცესში. ქსპერიმენტების და ჩარხის სიხისტის მახასიათებლების ეს რაოდენობა რომ თეორიულად უსასრულოა და პრაქტიკულად კი საკმაოდ დიდი, ვფიქრობთ არ საჭიროებს დასაბუთებას.

მაშასადამე, ჭრის ძალების მოდების წერტილში ჩარხის სიხისტის ნორმალური და ორთოგონალური კოეფიციენტების გამოყენებლობამ და სამი თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემის ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემით შეცვლამ, ჩარხის სიხისტის მახასიათებელთა რაოდენობა სინამდვილეში კი არ შეამცირა, არამედ პირიქით გაზარდა. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ფაქტიურად სწორედ აღნიშნულ ობიექტურ გარემოებათა გამო კვლავ გაგრძელდა კვლევა-ძიება ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის სიხისტის მახასიათებლის განსაზღვრის თეორიული და მეთოდური საფუძვლების შესამუშავებლად.

60-იან წლებში, თითქმის ერთდროულად გამოქვეყნდა გამოკვლევები [5,6,7,8,9], რომლებშიც გადმოცემულია ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის სიხისტის მახასიათებელთა განსაზღვრის ერთმანეთისაგან რამდენადმე განსხვავებული მიდგომები. ამასთანავე, ყველა მათგანში,პირდაპირ თუ არაპირდაპირ,გაკეთებულია დაშვება, რომ ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დრეკადი სისტემა(ან მისი თეორიული მოდელი) განხილული შეიძლება იქნეს, როგორც ორი, სამი ან მეტი თავისუფლების ხარისხის მქონე წრფივი დრეკადი სისტემა. ალიზი ცხადყოფს, რომ დასახელებული გამოკვლევებიდან, წინამდებარე ნაშრომში დასმული ამოცანიდან გამომდინარე, ინტერესს წარმოადგენს “მოსსტანკინში” პროფ. ბ.ს.ბალაკშინის ხელმძღვანელობით შესრულებული , დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  მართვის პრობლემისადმი მიძღვნილი გამოკვლევები [6,9], რომლებშიაც ნათლად არის გამოკვეთილი ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დამყოლობის ნორმალური ( $K_{yy}$ ) და ორთოგონალური ( $K_{yz}, K_{yx}$ ) კოეფიციენტების ცნებათა შემოტანა და გამოყენება. ამ კოეფიციენტების საშუალებით დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  ჭრის ძალის სამივე მდგენელისაგან დამოკიდებულება წარმოდგენილია შემდეგი გამოსახულებით:

$$Y_{\Delta} = K_{yy} Py + K_{yz} Pz + K_{yx} Px \quad (10)$$

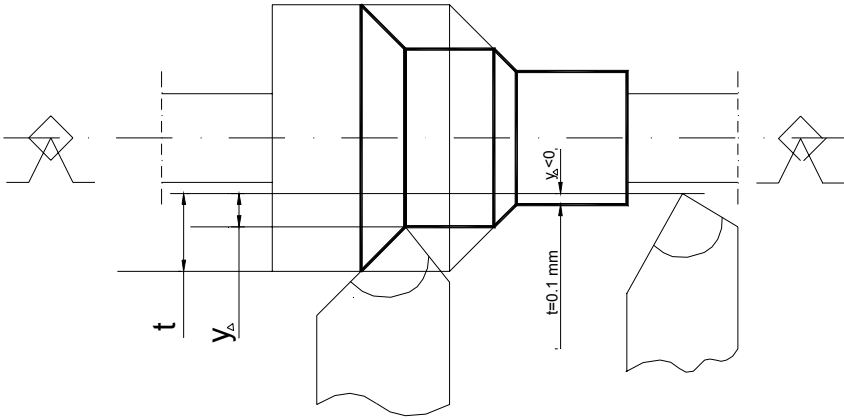
დამყოლობის კოეფიციენტებისათვის ხშირად იყენებენ უფრო მარტივ აღნიშვნებს ( $K_{yy} = a, K_{yz} = b, K_{yx} = c$ ) და მე-10 გამოსახულებას წერენ შემდეგი სახითაც

$$Y_{\Delta} = aPy + bPz + cPx \quad (11)$$

მე-10 ან მე-11 გამოსახულებაში დამყოლობის კოეფიციენტების  $a, b, c$  განსაზღვრისათვის იყენებენ არაპირდაპირ, არსებითად ექსპერიმენტულ-საანგარიშო მეთოდს, რომლის ძირითადი შინაარსი მდგომარეობს

შემდეგში:

მოცემულ ჩარხზე ირჩევენ დამუშავების რეჟიმების  $(t, s, v)$  და იარაღის გეომეტრიული პარამეტრების  $(\varphi, \gamma, r, \dots)$  ტიპურ, დაახლოებით  $n=10 \div 12$  ერთობლივობას. შერჩეულ პირობებში ერთი გავლით ამუშავებენ საფეხურიან ნამზადებს (იხ.ნახ.2) და ზომავენ დამუშავებულ ზედაპირზე ფიქსირებული დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  მნიშვნელობას. დამუშავების იგივე, პრაქტიკულად იდენტურ პირობებში, სამკომპონენტიანი დინამომეტრის გამოყენებით ზომავენ ჭრის ძალის სამივე  $P_x, P_y, P_z$  მდგენელს.



ნახ.2 ჩარხის ჭრის პროცესით დატვირთვისას დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  დამუშავებულ ზედაპირზე ფიქსირების სქემა აღნიშნულ ექსპერიმენტებსა და გაზომვებს ასრულებენ დამუშავების ყველა წინასწარ შერჩეულ ტიპურ პირობებში და მიღებული მონაცემების გამოყენებით ადგენენ  $n$  რაოდენობის, ე.წ. პირობით განტოლებათა სისტემას (12)

$$\begin{aligned} Y_{\Delta 1} &= aP_{y1} + bP_{z1} + cP_{x1} \\ Y_{\Delta 1} &= aP_{y2} + bP_{z2} + cP_{x2} \end{aligned} \quad (12)$$

$$Y_{\Delta 1} = aP_{yn} + bP_{zn} + cP_{xn}$$

სადაც  $a, b$  და  $c$  ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დამყოლობის კოეფიციენტების უცნობი რიცხვითი სიდიდეებია.

პირობით განტოლებათა სისტემას (12), უმცირეს კვადრატთა მეთოდის შესაბამისად გარდაქმნიან საშუალებიან, სამგანტოლებიან ე.წ. ნორმალურ განტოლებათა სისტემად, რომელსაც განსახილველ შემთხვევაში აქვს შემდეგი სახე:



$$\begin{aligned}
a \sum_{i=1}^n P_y^2 + b \sum_{i=1}^n P_{y_i} \cdot P_{z_i} + c \sum_{i=1}^n P_x \cdot P_{y_i} &= \sum_{i=1}^n Y_{\Delta_i} \cdot P_{y_i} \\
a \sum_{i=1}^n P_{y_i} \cdot P_{z_i} + b \sum_{i=1}^n P_z^2 + c \sum_{i=1}^n P_{x_i} \cdot P_{z_i} &= \sum_{i=1}^n Y_{\Delta_i} \cdot P_{z_i} \quad (13) \\
a \sum_{i=1}^n P_{x_i} \cdot P_{y_i} + b \sum_{i=1}^n P_{x_i} \cdot P_{z_i} + c \sum_{i=1}^n P_x^2 &= \sum_{i=1}^n Y_{\Delta_i} \cdot P_{x_i}
\end{aligned}$$

განტოლებათა სისტემის (13) ამოხსნით ღებულობენ ჭრის პროცესით ანუ ჭრის ძალის სამივე მდგენელით ერთდროული დატვირთვისას ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დამყოლობის ნორმალურ (a) და ორთოგონალურ (b,c) კოეფიციენტებს.

ნაშრომებში [6,9], სადაც წამოყენებული და (ან) გამოყენებულია დამყოლობის a,b და c კოეფიციენტების განსაზღვრის ზემოთ აღწერილი მეთოდი, არსებითად ღიად, ანუ გადაწყვეტის გარეშეა დატოვილი შემდეგი ამოცანა:

ექსპერიმენტებისა და გაზომვათა შერჩეულ პირობებში და ნორმალურ განტოლებათა სისტემის (13) ამოხსნის შედეგად როგორი სიზუსტით შეიძლება იქნენ მიღებულნი დამყოლობის a,b და c კოეფიციენტები, ანდა დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  და ჭრის ძალების ( $P_x, P_y, P_z$ ) გაზომვის როგორი სიზუსტეა საჭირო იმისათვის, რომ განტოლებათა სისტემაში (13) ამოხსნით მიღებული დამყოლობის კოეფიციენტები შეიცავდნენ პრაქტიკულად დასაშვებ ცდომილებებს.

ამ ამოცანის გადაწყვეტის გარეშე ცხადია შეუძლებელია დამყოლობის კოეფიციენტების აღწერილი მეთოდის საფუძვლად დადებული დაშვების (არსებითად ჰიპოტეზის) შემოწმებაც იმის შესახებ, რომ შესრულებულ ექსპერიმენტებში და გატოლებათა სისტემაში (13) ასახული ჭრის

ძალის ვექტორის  $P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$  მიმართულების ცვლილების მთელ დიაპაზონში დამყოლობის კოეფიციენტები (a,b,c) მუდმივი რიცხვითი სიდიდეებია და მასშალად, ჩარხის შესაბამისი დრეკადი სისტემა წრფივი.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით ვიყენებთ ცხრილ 1-ში ასახული ექსპერიმენტების მონაცემებს. მაგრამ, იმის გამო, რომ შესაბამის ნაშრომში [9] (საიდანაც ნახსენებია ცხრილ 1-ის მონაცემები) ჭრის ძალის მდგენელები ( $P_x, P_y, P_z$ ) და დრეკადი გადაადგილების ( $Y_{\Delta}$ ) გაზომვათა ფაქტიურ ცდომილებების შესახებ საიმედო და კონკრეტული მონაცემები არსებითად არაფერია მოტანილი, დამყოლობის კოეფიციენტების (a,b,c) და მათი სიზუსტის გამოკვლევისათვის ვიყენებთ მანქანური ინიტაციის მეთოდს. ამ მეთოდის საკვანძო უპირველეს ამოცანას

წარმოადგენს ე.წ. საკვლევი ობიექტის საწყისი მათემატიკური მოდელის ფორმირება. განსახილველ შემთხვევაში მის ქვეშ იგულისხმება ჭრის ძალის მოდების წერტილში დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  ჭრის ძალის მდგენელებისაგან დამოკიდებულება (11), რომელშიც დამყოლობის  $a, b$  და  $c$  კოეფიციენტები დადგენილი შეიძლება იყოს თუნდაც პირველი მიახლოებით (თუმცა ცხადია, რომ სასურველია ისინი განსაზღვრული იქნენ პრაქტიკულად რამდენადაც შესაძლებელია მაღალი სიზუსტით).  
ცხრილი 1

დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  ჭრის ძალის  $P_x, P_y, P_z$  მდგენელებისაგან დამოკიდებულების ექსპერიმენტალური გამოკვლევის შედეგები [9]  
 $\varphi=30^\circ; \gamma=10^\circ; \alpha=12^\circ; \lambda=0^\circ; r=1\text{მმ}$        $\varphi=45^\circ; \gamma=8^\circ; \alpha=12^\circ; \lambda=8^\circ; r=1\text{მმ}$

ა)

ჭრის N	Px	Py	Pz	$Y_{\Delta}$
	კგ.	კგ.	კგ.	მკმ
1	89	217	295	97
2	86	205	279	89
3	83	197	270	82
4	78	181	266	69
5	71	165	258	67
6	61	142	230	44
7	53	124	198	34
8	47	115	200	42
9	41	108	195	41
10	37	106	192	42

ბ)

ჭრის N	Px	Py	Pz	$Y_{\Delta}$
	კგ.	კგ.	კგ.	მკმ
1	73	113	228	20
2	71	108	218	16
3	72	111	222	17
4	70	108	214	17
5	68	102	208	15
6	61	82	193	15
7	54	85	175	15
8	49	87	185	22
9	42	81	183	20
10	35	81	185	1

$\varphi=90^\circ; \gamma=0^\circ; \alpha=0^\circ; \lambda=8^\circ; r=1\text{მმ}$

გ)

ჭრის N	Px	Py	Pz	$Y_{\Delta}$
	კგ.	კგ.	კგ.	მკმ
1	170	75	263	-22
2	161	72	240	-18
3	154	73	259	-21
4	148	69	248	-21
5	140	67	240	-17
6	134	81	238	-6
7	122	75	230	-10
8	118	89	219	8
9	104	83	210	1
10	102	92	226	12
11	101	105	222	25
12	75	117	215	40

$\varphi=110^\circ; \alpha=8^\circ; \gamma=0^\circ; \lambda=0^\circ; r=2\text{მმ}$

დ)

ჭრის N	Px	Py	Pz	$Y_{\Delta}$
	კგ.	კგ.	კგ.	მკმ
1	71	52	192	-5
2	63	57	186	5
3	66	59	190	4
4	59	57	184	5
5	56	55	180	10
6	59	68	183	10
7	57	66	180	5
8	56	72	172	16
9	46	68	162	15
10	42	79	153	21
11	36	86	146	28
12	26	100	135	40

გამოკვლევის ყველა სერიაში (ა, ბ, გ, დ) გამოყენებულია: ჩარხი-სასარატო 1620; ნამზადი  $\emptyset$  (50-70) x 250 ; ფლ.45; იარაღის მჭრელი ნაწილის მასალა T15K6 ; ყველა სერიაში ცდის რიგითი ნომრის მიხედვით ჭრის სიღრმე მცირდება  $t=4.8$  მმ-დან  $t=1.34$  მმ-მდე, მიწოდება იზრდება  $S=0.2$ მმ/ბრ-დან  $S=0.71$  მმ/ბრ-მდე ; ჭრის სიჩქარე  $V=90-130$  მ/წთ; (იარაღის გეომეტრიული პარამეტრები იხ.ცხრილის ა, ბ, გ, დ ნაწილები)

ნაშრომიდან [9] ნასესხები ექსპერიმენტალური მონაცემების(იხ. ცხრილი 1) გამოყენებით მრავალრიცხოვანმა გამოთვლებმა და ანალიზმა დაგვარწმუნა, რომ ნორმალური განტოლებათა სისტემიდან (13) პრაქტიკულად საკმარისი სიზუსტის ამონახსნების მისაღებად შესაბამისი პირობით განტოლებათა სისტემა (12) შედგენილი უნდა იქნეს რომ ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულების რაც შეიძლება ფართო დიაპაზონში ცვლილების პირობებისათვის. მაგრამ, თუ ვაკოთვალისწინებთ, ჭრის ძალის მიმართულების ცვლილების დიაპაზონის მნიშვნელოვან გაფართოებას თან სდევს ჩარხის დრეკადი სისტემის ელემენტების დატვირთვის გადანაწილება და ზემოთაღნიშნული დაშვების (დამყოლობის კოეფიციენტების ჭრის ძალის მიმართულებისაგან დამოუკიდებლობის) დაუცველობის შესაძლებლობის ზრდა, ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულების ცვლილების დიაპაზონი არ შეიძლება აღემატებოდეს  $15^{\circ}-20^{\circ}$ -ის ფარგლებს.

გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ აღნიშნულ მოთხოვნებს მთლიანად აკმაყოფილებს ცხრილი 1-ის (გ) სერიის ექსპერიმენტების მონაცემები და აგრეთვე (ა)და (ბ) სერიის ექსპერიმენტების მონაცემებიც, თუ კი გავერთიანებთ პირობით განტოლებათა ერთი სისტემის შესადგენად. ამიტომ, ცხრილი 1-ის მონაცემების გამოყენებით პირობითი (12) და ნორმალური (13) განტოლებათა სისტემები შევადგინეთ ორი შემთხვევისა და პირობებისათვის, კერძოდ (1), როდესაც ცხრილი 1-ის ექსპერიმენტების სერიების მიხედვით ძირითადი ცვლადი პარამეტრი-იარაღის მთავარი კუთხე გეგმაში იცვლება  $\phi=30^{\circ}-45^{\circ}$ -ს ფარგლებში და (2), როდესაც იგივე კუთხე ტოლია  $\phi=90^{\circ}$ .

ექსპერიმენტების აღნიშნული (1) და (2) პირობებისათვის შედგენილი ნორმალურ განტოლებათა სისტემების ამოხსნის შედეგად მიღებულმა დამყოლობის  $a, b$  და  $c$  კოეფიციენტებმა მიიღეს ცხრილი 2-ის მე-3 სვეტში ჩაწერილი მნიშვნელობები, ხოლო საძიებელმა საწყისმა მათემატიკურმა მოდელებმა, იგივე (პირველი და მეორე) პირობებისათვის შესაბამისად მიიღო (14) და (15) გამოსახლებათა სახე:

$$Y_{\Delta} = 0.87 P_Y - 0.15 P_Z - 0.6 P_X \quad (14)$$

$$Y_{\Delta} = 0.89 P_Y - 0.26 P_Z - 0.12 P_X \quad (15)$$

საწყისი მათემატიკური მოდელის ფორმირების შემდეგ, მექანიკური იმიტაციის მეთოდით კვლევის შემდეგი ეტაპია დრეკადი გადაადგილების ( $Y_{\Delta}$ ) და ჭრის ძალების ( $P_X, P_Y, P_Z$ ) გაზომვის ცდომილებათა პრაქტიკულად შესაძლო ზღვრულ მნიშვნელობათა სიმრავლის შერჩევა. ეს სიმრავლე მოტანილია ცხრილი 2-ის ზედა ნაწილში. მოკლედ იმის შესახებ, თუ რა მოსაზრებები უდევს საფუძვლად გაზომვის ზღვრულ ცდომილებათა შერჩეულ და ცხრილ 2-ში მოყვანილ მნიშვნელობებს. ცნობილია, რომ საკომპონენტური  $\dot{O}\ddot{A}$   $\dot{I}$  ტიპის დინამომეტრების საშუალებით (რომელიც გამოყენებული იქნა ცხრილ 1-ში ასახულ ექსპერიმენტებში  $P_X, P_Y, P_Z$  ძალების გასაზომად) ჭრის ძალების გაზომვის სიზუსტე არ აღემატება 3%-ს, თანაც ეს ძირითადად ეხება ჭრის ძალის  $P_Z$  მდგენელის გაზომვას.  $P_X$  და  $P_Y$  ძალების გაზომვისას კი მოსალოდნელია გაზომვის მნიშვნელოვნად (დაახლოებით 2-ჯერ) უფრო დაბალი სიზუსტე. ამიტომ  $P_Z$  ძალის ზღვრულ ცდომილებებზე შევირჩიეთ 3 და 5%, ხოლო  $P_X$  და  $P_Y$  ძალების ზღვრულ ცდომილებებზე 3, 5 და 10%.

საერთოდ ცნობილ სიძნელებებთან არის დაკავშირებული დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  საჭირო სიზუსტით გაზომვა არა მარტო უშუალოდ დამუშავების პროცესში, არამედ მისი დამუშავებულ ზედაპირზე ფიქსირების მეთოდის (იხ.ნახ 2) შემთხვევაშიც რომელიც გამოყენებულია ცხრილ 1-ში ასახულ ექსპერიმენტებში. ასეთ შემთხვევაში  $Y_{\Delta}$ -ს გაზომვის სიზუსტეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს: დამუშავებული ზედაპირის ხორკლიანობა და მისი არასტაბილურობა ზედაპირის, როგორც გრძივი, ისე განივ კვეთებში; ჩარხის დრეკად სისტემაში ჰისტერეზისული მოვლენის და დამუშავებული ზედაპირის განივ კვეთში  $Y_{\Delta}$ -ს არასტაბილურობა მაშინაც კი, როდესაც ჭრის სიღრმე და დამუშავების რეჟიმის სხვა პარამეტრებიც პრაქტიკულად არ იცვლებიან;  $Y_{\Delta}$ -ს გაზომვისათვის გამოყენებული მზომი იარაღის (კერძოდ ცხრილ 1-ში ასახულ ექსპერიმენტების გამოყენებული 2მკმ-ნი დანაყოფის ფასის მქონე ბერკეტული კავის) სიზუსტე და სხვ. ღნიშნულ გარემოებათა გათვალისწინებით  $Y_{\Delta}$ -ს გაზომვის ზღვრულ ცდომილებებზე შევირჩიეთ 5 და 10%.

ნახსენები ოთხივე სიდიდის ( $P_X, P_Y, P_Z, Y_{\Delta}$ ) გაზომვის ცდომილებები შემთხვევითი ხასიათის ცდომილებებია და შეუძლიათ მიიღონ როგორც დადებითი ასევე უარყოფითი ნიშანი. ჩვენს გამოკვლევაში (იხ.ცხრილი 2) ამ ნიშანთა ცვლილების 24 ვარიანტია შერჩეული. იმიტაციური კვლევის ყველა ცალკეულ “ექსპერიმენტში” ნახსენები ოთხივე სიდიდის %-ში გამოსახული გადახრები ჩაწერილია ცხრილი 2-ის ზედა ნაწილის სვეტებში.

გაზომვის აღნისნულ ცლომილებათა გათვალისწინებით და საწყისი მათემატიკური მოდელების (იხ.მე-14 და მე-15 გამოსახულებები) გამოყენები ზემოთნახსენები პირველი (როდესაც  $\varphi=30^{\circ}\div 45^{\circ}$ ) და მეორე (როდესაც  $\varphi=90^{\circ}$ ) პირობებისათვის: შევადგინოთ პირობითი განტოლებათა სისტემის 24 - 24 (სულ 48) ვარიანტი; სათანადო პროგრამების შერჩევითა და კომპიუტერის გამოყენებით შევასრულოთ პირობით განტოლებათა სისტემის ყველა ცალკეული ვარიანტის საშუალებით, სამგანტოლებიან ნორმალურ განტოლებათა სისტემად (13) გარდაქმნა და მათი ამოხსნა დამყოლობის  $a, b$ , და  $c$  კოეფიციენტების მნიშვნელობათა შესაბამისი სიმრავლის დადგენის მიზნით.

ასეთნაირად, არსებითად ჩარხის დრეკადი სისტემის საწყის მათემატიკურ მოდელებზე „ექსპერიმენტების“ (იმიტაციური კვლევის) შედეგად მივიღეთ დამყოლობის  $a, b$ , და  $c$  კოეფიციენტების მნიშვნელობათა სიმრავლე, „ექსპერიმენტში“ დაშვებული (სინამდვილეში შერჩეული) ჭრის  $p_x, p_y, p_z$  ძალების და დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  გაზომვების ზღვრული ცლომილებებისაგან დამოკიდებულებით. დამყოლობის კოეფიციენტების სწორედ ამ სიმრავლიდან ამორჩეული ზღვრული (მინიმალური და მაქსიმალური) მნიშვნელობებია ჩაწერილი ცხრილი 2-ის მე-4, მე-5, და მე-6 სვეტებში. მათთან ერთად ფრჩხილებში მითითებულა, თუ %-ში რა ნაწილს შეადგენენ შესაბამისი დამყოლობის კოეფიციენტების გაბნევის ველები  $\omega_a, \omega_b, \omega_c$  (ანუ დამყოლობის კოეფიციენტების მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობათა სხვაობები) საწყისი მოდელისათვის დადგენილი იგივე კოეფიციენტებთან (იხ. ცხრილი 2-ის მე-3 სვეტი) შედარებით.

ცხრილ 2-ში ასახული გამოკვლევის შედეგები საშუალებას გვაძლევს გამოვთქვათ შემდეგი დასკვნები და (ან) მოსაზრებები:

1. 1620 მოდელის სახარატო ჩარხზე ჭრის ძალის მოდების წერტილში და დამუშავებული ზედაპირის ნორმალური მიმართულებით დამყოლობის ერთის მხრივ ნორმალურ ( $\hat{a}$ ) და მეორეს მხრივ ორთოგონალურ კოეფიციენტებს ( $b, c$ ) აქვთ ერთმანეთის საწინააღმდეგო ნიშანი. დამყოლობის ორთოგონალური კოეფიციენტების უარყოფითი ნიშანი იმაზე კი არ მიუთითებს, რომ ჩარხის დრეკადი სისტემის დამყოლობის თვისებაა უარყოფითი, არამედ იმაზე, რომ ერთის მხრივ  $p_y$  ძალით და მეორეს მხრივ  $p_x$  და  $p_z$  ძალებით სხვადასხვა სიბრტყეში და მიმართულებით იტვირთებიან ჩარხის დრეკადი სისტემის სხვადასხვა ელემენტები და ძალების მოდების წერტილში შეუძლიათ გამოიწვიონ ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულების დრეკადი გადაადგილებები.
2. ჭრის  $p_x, p_y, p_z$  ძალების და დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  გაზომვების, შესაბამისად 3 და 5 % ის ცლომილების შემთხვევაში,



დამყოლობის კოეფიციენტების მნიშვნელობათა გაბნევის ველები არ აღემატებიან ჩარხის დრეკადი სისტემის საწყისი მოდელისათვის დამყოლობის კოეფიციენტების მე-5-დ ნაწილს (ანუ 20%-ს), ხოლო ძალების და დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  გაზომვების შესაბამისად 5 და 10%-ის ცდომილებების შემთხვევაში დამყოლობის კოეფიციენტების გაბნევის ველები შეადგენენ საწყისი მოდელის დამყოლობის კოეფიციენტების არა უმეტეს მესამედ ნაწილს (ანუ 33%-ს).

აღნიშნულიდან გამომდინარე, დამყოლობის **a, b**, და **C** კოეფიციენტების განსაზღვრის ზემოთ გადმოცემული ექსპერიმენტალურ-საანგარიშო მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში ჭრის  $p_x, p_y, p_z$  ძალების გაზომვის ცდომილებები არ უნდა აღემატებოდეს  $\pm 3\%$ -ს, ხოლო დრეკადი გადაადგილების  $Y_{\Delta}$  გაზომვის ცდომილებები  $\pm 5\%$ -ს.

დამყოლობის კოეფიციენტების პირველი მიახლოებით ანუ საორიენტაციო მნიშვნელობათა განსაზღვრის შემთხვევებში კი ჭრის  $p_x, p_y, p_z$  ძალების და დრეკადი გადაადგილების გაზომვათა ცდომილებები შესაბამისად არ უნდა აღემატებოდეს  $\pm 5$  და  $\pm 10\%$ -ს.

3. იარაღის გეგმაში მთავარი კუთხის  $\varphi=30^{\circ}\pm 45^{\circ}$ -დან  $\varphi=90^{\circ}$ -მდე გაზრდით და ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულების შესაბამის ფარგლებში ცვლილებით დამყოლობის ნორმალური კოეფიციენტი (**a**) პრაქტიკულად ინარჩუნებს მუდმივ ( $0,87-0,89$  მკმ/კგ.) მნიშვნელობას, მაშინ როდესაც დამყოლობის ორთოგონალური კოეფიციენტები მნიშვნელოვნად იცვლიან თავიანთ მნიშვნელობას.  $\varphi$  კუთხის აღნიშნულ ფარგლებში გაზრდით **b** კოეფიციენტით გამოხატული დრეკადი სისტემის დამყოლობა იზრდება თითქმის ორჯერ, ხოლო **C** კოეფიციენტით გამოხატული დამყოლობა მცირდება 5-ჯერ. საკითხი იმის შესახებ თუ რით არის გამოწვეული აღნიშნული მოვლენა სცილდება წინამდებარე ნაშრომის ჩარჩოებს, მაგრამ საჭიროდ მიგვაჩნია ავღნიშნოთ, რომ ექსპერიმენტალურ-საანგარიშო მეთოდით დადგენილი აღნიშნული მოვლენა ხარისხობრივად არ არის მოკლებული ობიექტურ (კანონზომიერ) საფუძვლებს.

4. ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დრეკადი სისტემის დამყოლობის **a, b**, და **C** კოეფიციენტების ზემოთ გადმოცემული არაპირდაპირი, ანუ ექსპერიმენტალურ-საანგარიშო მეთოდით განსაზღვრა საკმაოდ შრომატევადია და საჭიროებს დროისა და საშუალებათა მნიშვნელოვანი ხარჯების გაწევასაც. ზემოთ გადმოცემული მოთხოვნების დაცვით იგი შეიძლება გამოყენებული იქნეს ძირითად ჩარხების საცდელი ნიმუშების დრეკად სისტემათა დამყოლობის კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის. სერიულად





# საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტების სისტემური კვლევის საკითხისადმი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
მექანიკა-მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი, CAD/CAM-ის ჯგუფი  
დოც. ალ.შარმაზანაშვილი

საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტება წარმოადგენს დაპროექტების ერთერთ ნაირსახეობას, რომელიც სრულდება წარმოების ტექნოლოგიური მომზადების სტადიაზე. ამასთან დაპროექტების ობიექტს თავდაპირველად წარმოადგენს ნაკეთობა, ანუ სრულდება საკონსტრუქტორო დაპროექტება, ხოლო შემდგომ ხორციელდება ტექნოლოგიური დაპროექტება, რომელზეც ობიექტი ამ ნაკეთობის დასამზადებლად აუცილებელი წარმოების ტექნოლოგიური პროცესია.

თვისებების დეტალიზაციის დონის მიხედვით, დაპროექტების ობიექტს შეესაბამება იერარქიულად დაქვემდებარებული, მრავალდონიანი აღწერა. ამიტომ საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტება ხორციელდება ეტაპობრივად, თითოეულ ეტაპზე საშუალოდ საპროექტო გადაწყვეტების ფორმირებით. ობიექტის აღწერის თითოეულ დონეს შეესაბამება დაპროექტების გარკვეული ეტაპი, რომელიც აერთიანებს გადაწყვეტილების მიღების მოდელებს, ამოცანის დასმასა და საპროექტო პროცედურებს, დაპროექტების ენებსა და დოკუმენტირების ფორმებს. სისტემური თვალსაზრისით დაპროექტების თითოეული ეტაპი შესაძლებელია წარმოვიდგინოთ როგორც სისტემა, რომელსაც გააჩნია შესასვლელი მონაცემები -  $\Phi$ , გამოსასვლელი მონაცემები და გადაწყვეტილების მიღების მოდელი - , რომლებსაც გადაჰყავთ შესასვლელი მონაცემები გამოსასვლელ მონაცემებში

შედაგად, საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტების მთლიანი პროცესი ფორმალურად შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ შემდეგი სისტემის სახით:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_1 = [\{\Phi_1\}, \{\mathcal{G}_1\}, \{\mathcal{L}_1\}] \\ \dots \\ \psi_i = [\{\Phi_i\}, \{\mathcal{G}_i\}, \{\mathcal{L}_i\}] \end{array} \right.$$

სადაც,  $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_i$  - პროექტირების ეტაპებია;  $I \dots i$  - პროექტირების ობიექტის აღწერის იერარქიული დონეებია.

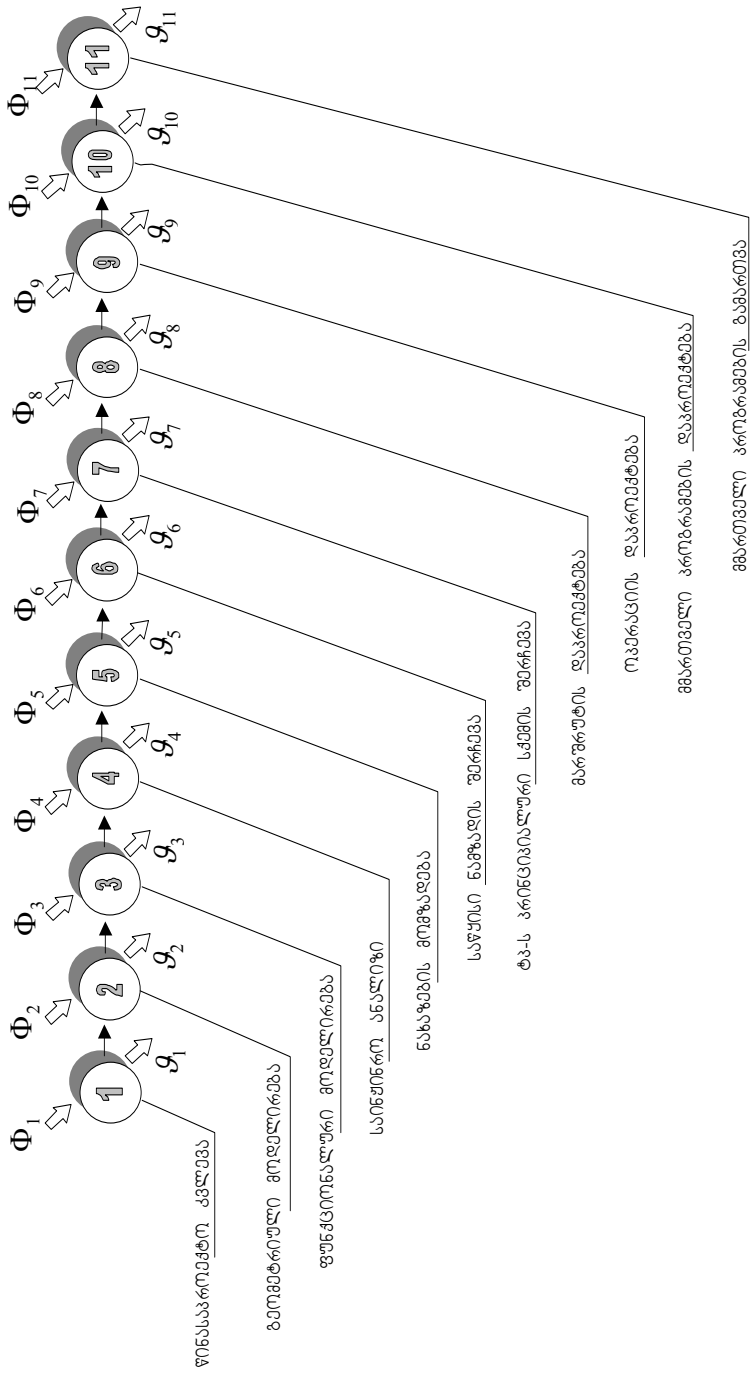
ამ იერარქიაში ფორმალურად შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ რომ გამოსასვლელი პარამეტრები ( $i-1$ ) დონიდან, შედგენენ  $i$  - ეტაპის შესასვლელ პარამეტრებს, ვინაიდან ( $i-1$ ) დონის გამოსასვლელი პარამეტრები აღწერენ დაპროექტების ობიექტს დეტალიზაციის  $i$  დონიდან. მაგრამ, მიუხედავად ამისა  $\Phi_i = \vartheta_{i-1}$  წარმოადგენს კერძო შემთხვევას, რადგან დაპროექტების თითოეულ ეტაპზე არსებობენ ე.წ. „დამოუკიდებელი“ შესასვლელი მონაცემები  $\{\alpha_i\}$ , რომლებიც არ არიან დამოკიდებული დაპროექტების წინა ეტაპებზე (მაგ. საცნობარო-ნორმატიული ინფორმაცია, უკუკავშირის ან კონტროლის მონაცემები და სხვ.) ამასთან ეტაპის შესასვლელ მონაცემებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამოსასვლელი მონაცემები არა მხოლოდ წინა ეტაპიდან, არამედ უფრო ადრინდელი ეტაპებიდანაც.

მაშასადამე, ზოგადად დაპროექტების  $i$  ეტაპის შესასვლელ მონაცემთა სიმრავლე შესაძლებელია ჩაწეროთ როგორც

$$\Phi_i = \{ (\vartheta_{i-1}, \vartheta_{i-2}, \dots, \vartheta_{i-3}, \alpha_i) \} .$$

დაპროექტების პროცესის სისტემატიზაციისადმი მიძღვნილია მრავალი ნაშრომი - ძირითადი დებულებები ჩამოყალიბებულია გ.ცვეტკოვის მიერ; ასევე ცნობილია კონცეფციები დამუშავებული გ.კომისაროვის, ნ.კაპუსტინის, თ.ლოლაძის, რ.გყიროვის, ტ.მოსტალიგინის, მ.გრუზინის მიერ. მაგრამ აღნიშნულ ნაშრომებში დაპროექტების პროცესი არ განიხილება ერთიანი, საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტების პროცესის პოზიციიდან, შედეგად აღნიშნული ავტორების მიერ დამუშავებული სისტემატიზაციები განეკუთვნება ცალკეულ ეტაპებს და არ ითვალისწინებს გამჭოლი დაპროექტების მოთხოვნებს.

საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური პროცესის სისტემატიზაციისათვის თავდაპირველად ლოგიკურად გვაეერთიანოთ პარამეტრები, რომლებიც შედიან დაპროექტების თითოეული ეტაპის შესასვლელ და გამოსასვლელ მონაცემებში. ამასთან პარამეტრები, რომლებიც აღწერენ დასაპროექტებელი ობიექტის სხვადასხვა თვისებას დეტალიზაციის ერთსა და იმავე დონეზე, გვაეერთიანოთ ლოგიკური ფუნქციით - 'Λ' (ლოგიკური „და“), ხოლო პარამეტრები, რომლებიც აღწერენ ობიექტის ერთსა



ნახ.1 საკონსტრუქციო-ტექნოლოგიური დაპროექტების ეტაპები

და იგივე თვისებას დეტალიზაციის მიღებულ დონეზე, გავერთიანოთ ლოგიკური დიზიუნქციით - 'V' (ლოგიკური „ან“).

ობიექტის დაყოფისა და დეტალიზაციის დონეების გამოყოფისათვის აუცილებელია სისტემური თვისებების ქონა, რომლებიც საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტების შემთხვევაში გვაქვს ორი სახის:

- 1) თვისება, რომელიც ახასიათებს ნაკეთობას მთლიანი მექანიზმის (აწყობის) შემადგენლობაში
- 2) თვისება, რომელიც ახასიათებს საწყისი ნამზადის მზა ნაკეთობაში გადაყვანის პროცესს.

აღნიშნული თვისებებისა და ლიტერატურული წყაროების მიმოხილვის საფუძველზე გამოყოფილ იქნა საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტების შემდეგი ეტაპები (ნახ. 1).

### I. წინასაპროექტო კვლევა

განეკუთვნება პირველ სისტემურ თვისებას და მის მიზანს შეადგენს დაპროექტებაზე დეტალური ტექნიკური დავალების შედგენა, რომელიც იწყება ახალი ნაკეთობის დამზადებაზე მოთხოვნილების ფაქტის დადგენით ( $\Phi_{1-1}$ ). აღნიშნული შეიძლება განპირობებული იყოს სამი ფაქტორით - საზოგადოებრივი მოთხოვნა ( $\Phi'_{1-1}$ ), საბაზრო მოთხოვნა ( $\Phi''_{1-1}$ ) ან ექსპლუატაციაში მყოფი მექანიზმის კონსტრუქციის გაუმჯობესება ( $\Phi'''_{1-1}$ ). გარდა ამისა ტექნიკური დავალების შედგენისას მხედველობაში მიიღება სამეცნიერო-ტექნიკური განვითარების დონე ( $\Phi_{1-2}$ ) და არსებული საწარმოო რესურსები ( $\Phi_{1-3}$ ).

ამრიგად, ეტაპის შესასვლელი მონაცემებისათვის გვექნება

$$\Phi_1 = \{ \Phi_{1-1} \wedge \Phi_{1-2} \wedge \Phi_{1-3} \}$$

სადაც  $\Phi_{1-1} \equiv \{ \Phi'_{1-1} \vee \Phi''_{1-1} \vee \Phi'''_{1-1} \}$

ტექნიკური დავალება შეიცავს დასაპროექტებელი ობიექტის დეტალურ აღწერას ( $\Phi_{1-1}$ ), მის პარამეტრებს ( $\Phi_{1-2}$ ), რომელიც თავის მხრივ იყოფა ფუნქციონალურ ( $\Phi'_{1-2}$ ), ფიზიკურ ( $\Phi''_{1-2}$ ) და საექსპლუატაციო ( $\Phi'''_{1-2}$ ). გარდა ამისა ტექნიკურ დავალებაში განსაზღვრულია იმ ქარხნის საწარმოო პარამეტრები ( $\Phi_{1-3}$ ), რომელშიც ნაგარაუდევია ნაკეთობის დამზადება.

ტექნიკური დავალების გარდა, აღნიშნულ ეტაპზე, სამეცნიერო-ტექნიკური მიღწევების საფუძველზე, ფორმირდება ტიპური გადაწყვეტები ( $\Phi_{1-4}$ ), რომლებიც გამოიყენება დაპროექტების შემდგომ ეტაპებზე, როგორც გადაწყვეტილების მიღების მოდელი. ამრიგად, გამოსასვლელი მონაცემებისათვის გვექნება:

$$\Phi_1 = \{ \Phi_{1-1} \wedge \Phi_{1-2} \wedge \Phi_{1-3} \wedge \Phi_{1-4} \}$$

2 სადაც  $\Phi_{1-2} = \{ \Phi'_{1-1} \wedge \Phi''_{1-1} \}$

## II. გეომეტრიული მოდელირება.

განეკუთვნება პირველ სისტემურ თვისებას და მის მიზანს წარმოადგენს დასაპროექტებელი ობიექტის გეომეტრიული მოდელის შედგენა. გეომეტრიული მოდელი მათემატიკური ფორმალიზაციის მეთოდებით ასახავს ობიექტის გეომეტრიულ თვისებებს.

გეომეტრიული მოდელის შესაქმნელად საჭირო მონაცემებს შეადგენენ - ობიექტის აღწერა ( $\Phi_{2-1}$ ), პარამეტრები ( $\Phi_{2-2}$ ) და გეომეტრიული პრიმიტივები ( $\Phi_{2-3}$ ), რომლებიც თავის მხრივ შეიძლება შეიცავდნენ სტანდარტულ გეომეტრიულ ელემენტებს ( $\Phi'_{2-3}$ ), როგორიცაა წერტილი, ხაზი, რკალი და სხვ., ან ტიპურ გეომეტრიულ პრიმიტივებს ( $\Phi''_{2-3}$ ) - ტიპური ზედაპირები, ზედაპირის კომპლექსები ან ტიპური კონტურები. მაშასადამე,

$$\Phi_2 = \{ \Phi_{2-1} \wedge \Phi_{2-2} \wedge \Phi_{2-3} \}$$

სადაც  $\Phi_{2-3} = \{ \Phi'_{2-3} \vee \Phi''_{2-3} \}$

თავის მხრივ, გეომეტრიული მოდელი შეიძლება იყოს სამი სხვადასხვა ტიპის: კარკასული ( $\Phi_{2-1}$ ), რომელშიც გამოყოფილია საყრდენი წერტილები და მათი შემაერთებელი ზედაპირები; CGS მოდელი ( $\Phi_{2-2}$ ), რომელიც იგება ცალკეული პრიმიტივებისაგან, რომელთა გეომეტრიული თვისებები მოცემულია ფორმალური პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობებით; B-მოდელი ( $\Phi_{2-3}$ ), რომელიც იგება სასაზღვრო ზედაპირებიდან.

2 ამრიგად,  $\Phi_{2-3} = \{ \Phi_{3-1} \vee \Phi_{2-2} \vee \Phi_{2-3} \}$

## III. ფუნქციონალური მოდელირება

განეკუთვნება პირველ სისტემურ თვისებას, რომლის მიზანიც ნაკეთობის ფუნქციონალური მოდელის დადგენაში მდგომარეობს. ფუნქციონალური მოდელი გამოხატავს თითოეული ზედაპირის დანიშნულებას, ხარისხობრივ და სიზუსტის პარამეტრებს. თითოეული ზედაპირის ფუნქციონალური დანიშნულების, ხარისხობრივი და სიზუსტის პარამეტრების დადგენაში მდგომარეობს.

ეტაპის შესასვლელ პარამეტრებს წარმოადგენენ, ნაკეთობის გეომეტრიული მოდელი ( $\Phi_{3-1}$ ) და წინასაპროექტო კვლევის სტადიაზე ფორმირებული ობიექტების პარამეტრები ( $\Phi_{3-2}$ )

$$\Phi_3 = \{ \Phi_{3-1} \wedge \Phi_{3-2} \}$$

გამოსასვლელი მონაცემების სიმრავლე შედგება - ზედაპირის სიმქისის პარამეტრებისაგან ( $\Phi_{3-1}$ ); სიზუსტის პარამეტრებისაგან - დასაშვები გადახრა ზომიდან ( $\Phi_{3-2}$ ) და ფორმიდან ( $\Phi_{3-3}$ ); ზედაპირის ფიზიკური მახასიათებლების აღმწერი პარამეტრები ( $\Phi_{3-3}$ ) და მასალისაგან ( $\Phi_{3-5}$ )

$$\Phi_3 = \{ \Phi_{3-1} \wedge \Phi_{3-2} \wedge \Phi_{3-3} \wedge \Phi_{3-4} \wedge \Phi_{3-5} \}$$

IV. კონსტრუქციის საინჟინრო ანალიზი

განეკუთვნება პირველ სისტემურ თვისებას და მის მიზანს წარმოადგენს კონსტრუქციის ანალიზი სიზუსტეზე და ტექნოლოგიურობაზე; ნაკეთობის მოდელირება მთლიანი აწყობის შემადგენლობაში და მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გამოკვლევა.

შესასვლელ მონაცემებს ასეთი ანალიზის ჩასატარებლად წარმოადგენენ გეომეტრიული მოდელი ( $\Phi_{4-1}$ ), საწარმოო პარამეტრები ( $\Phi_{4-2}$ ), ფუნქციონალური მოდელი ( $\Phi_{4-3}$ ) და მთლიანი აწყობის აღწერა ( $\Phi_{4-4}$ )

$$\Phi_4 = \{ \Phi_{4-1} \wedge \Phi_{4-2} \wedge \Phi_{4-3} \wedge \Phi_{4-4} \}$$

კონსტრუქციის ანალიზი სიზუსტეზე ( $\Phi_{4-1}$ ) უმრავლეს შემთხვევაში დაიწყება ზომათა ჯაჭვისა ( $\Phi'_{4-1}$ ) და ზედაპირების ურთიერთგანლაგების ( $\Phi''_{4-1}$ ) შემოწმებაზე.

ტექნოლოგიურობაზე ანალიზი ( $\Phi_{4-2}$ ) ტარდება ორი, აწყობისა ( $\Phi'_{4-2}$ ) და დამზადების ( $\Phi''_{4-2}$ ) ტექნოლოგიური

პროცესებისათვის.

ნაკეთობის ანალიზი მთლიან აწყობაში ( $\Phi_{4-3}$ ) ითვალისწინებს დასაყენებელი კვანძის ელემენტების ადგილმდებარეობის კონტროლს ( $\Phi'_{4-3}$ ) და კინემატიკურ ანალიზს ( $\Phi''_{4-3}$ ), რომლის დროსაც ხორციელდება მთლიან აწყობის, მუშაობის დინამიკის წარმოდგენა.

ნაკეთობის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ანალიზი სრულდება ორი მეთოდით - მას-ანალიზით ( $\Phi_{4-4}$ ), და სასრული ელემენტების მეთოდით ( $\Phi_{4-5}$ ). მას-ანალიზი საშუალებას იძლევა გამოკვლეულ იქნას ნაკეთობის ისეთი თვისებები, როგორცაა ზედაპირის ფართობი ( $\Phi'_{4-4}$ ), მასა ( $\Phi''_{4-4}$ ), სიმძიმის ცენტრი ( $\Phi'''_{4-4}$ ), მოცულობა ( $\Phi''''_{4-4}$ ) და ინერციის მომენტი ( $\Phi''''''_{4-4}$ ); ხოლო სასრული ელემენტების მეთოდით შესაძლებელია მექანიკური დაძაბულობების ( $\Phi'_{4-5}$ ), დაჭიმულობის ( $\Phi''_{4-5}$ ), სითბოსა და ველის გავრცელების ( $\Phi'''_{4-5}$ ) და დინამიური მახასიათებლების ( $\Phi''''_{4-5}$ ) გამოკვლევა.

ამრიგად,

$$\begin{aligned} \Phi_4 &= \{ \Phi_{4-1} \wedge \Phi_{4-2} \wedge \Phi_{4-3} \wedge \Phi_{4-4} \wedge \Phi_{4-5} \} \\ \text{სადაც} \quad \Phi_{4-1} &= \{ \Phi'_{4-1} \wedge \Phi''_4 \} \\ \Phi_{4-2} &= \{ \Phi'_{4-2} \wedge \Phi''_4 \} \\ \Phi_{4-3} &= \{ \Phi'_{4-3} \vee \Phi''_4 \} \\ \Phi_{4-4} &= \{ \Phi'_{4-4} \vee \Phi''_4 \vee \Phi'''_{4-4} \vee \Phi''''_{4-4} \vee \Phi''''''_{4-4} \} \\ \Phi_{4-5} &= \{ \Phi'_{4-5} \vee \Phi''_4 \vee \Phi'''_{4-5} \vee \Phi''''_{4-5} \} \end{aligned}$$

#### V. ნახაზების მომზადება

განეკუთვნება პირველ სისტემურ თვისებას და მისი მიზანია საკონსტრუქტორო ნახაზის მომზადება ( $\Phi_{5-1}$ ). რომელშიც გარკვეული წესით ფორმდება გეომეტრიული და ფუნქციონალური მოდელები. ამასთან ძირითადად სრულდება ისეთი პროცედურები როგორებიცაა ზომების განსაზღვრა, დაშტრიხვა, მასშტაბირება, პროექციის მიღება, იზომეტრიისა და პერსპექტივის აგება და სხვ.

ეტაპის შესასვლელ პარამეტრებს წარმოადგენენ, გეომეტრიული ( $\Phi_{5-1}$ ) და ფუნქციონალური მოდელები ( $\Phi_{5-2}$ )

$$\Phi_5 = \{ \Phi_{5-1} \wedge \Phi_{5-2} \}$$

ხოლო გამოსასვლელს

$$\Psi_5 = \{ \Psi_{5-1} \}$$

#### VI. საწყისი ნამზადის შერჩევა

განეკუთვნება მეორე სისტემურ თვისებას და მის მიზანს წარმოადგენს ნამზადის მიღების ოპტიმალური მეთოდის შერჩევა.

შესასვლელი მონაცემები შეიცავენ - გეომეტრიულ ( $\Phi_{6-1}$ ) და ფუნქციონალურ ( $\Phi_{6-2}$ ) მოდელებს, პარტიის სიდიდეს ( $\Phi_{6-3}$ ) და საწარმოს მჩვენებლებს ( $\Phi_{6-4}$ )

$$\Phi_6 = \{ \Phi_{6-1} \wedge \Phi_{6-2} \wedge \Phi_{6-3} \wedge \Phi_{6-4} \}$$

ტექნიკურ-ეკონომიური ანალიზის შედეგად დგინდება ნამზადის ტიპი ( $\Phi_{6-1}$ ), მიახლოებითი გეომეტრიული პარამეტრები ( $\Phi_{6-2}$ ), სიზუსტის კვალიტეტი ( $\Phi_{6-3}$ ) და ზედაპირების სისუფთავე ( $\Phi_{6-4}$ ).

ამრიგად,

$$\Psi_6 = \{ \Psi_{6-1} \wedge \Psi_{6-2} \wedge \Psi_{6-3} \wedge \Psi_{6-4} \}$$

#### VII. ტექნოლოგიური პროცესის პრინციპიალური სქემის შერჩევა

განეკუთვნება მეორე სისტემურ თვისებას. ტექნოლოგიური პროცესის პრინციპიალური სქემა შეიცავს ნამზადის დამუშავების ეტაპებს საბოლოო ნაკეთობის მისაღებად. დამუშავების ეტაპი თავის მხრივ წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესის ნაწილს, რომელიც მოიცავს ცალკეული ზედაპირებისა და მთლიანად დეტალის, ხასათითა და სიზუსტით ერთგვაროვან დამუშავებას.

შესასვლელ მონაცემებს ამ ეტაპის ამოცანებისათვის შეადგენენ, ნაკეთობის გეომეტრიული ( $\Phi_{7-1}$ ) და ფუნქციონალური ( $\Phi_{7-2}$ ) მოდელები, მონაცემები ნაკეთობის შესახებ ( $\Phi_{7-3}$ ), ნამზადის პარამეტრები ( $\Phi_{7-4}$ ), პარტიის სიდიდე ( $\Phi_{7-5}$ ), საწარმოს პარამეტრები ( $\Phi_{7-6}$ ) და ტიპური გადაწყვეტები ( $\Phi_{7-7}$ )



$$\Phi_7 = \{ \phi_{7-1} \wedge \phi_{7-2} \wedge \phi_{7-3} \wedge \phi_{7-4} \wedge \phi_{7-5} \wedge \phi_{7-6} \wedge \phi_{7-7} \}$$

გამოსასვლელ მონაცემებში შედიან, რაციონალურად შერჩეული დამუშავების ეტაპების ერთობლიობა ( $\phi_{7-1}$ ) და მათი შესრულების თანმიმდევრობა ( $\phi_{7-2}$ ), რომელიც აუცილებელი და საკმარისია ნაკეთობის საწყისი ნამზადის მდგომარეობიდან საბოლოო სახეში გადასაყვანად

$$\psi_7 = \{ \phi_{7-1} \wedge \phi_{7-2} \}$$

### VIII. ტექნოლოგიური მარშრუტის დაპროექტება

განეკუთვნება მეორე სისტემურ თვისებას და მის მიზანს შეადგენს ტექნოლოგიური ოპერაციების შემადგენლობისა და თანმიმდევრობის განსაზღვრა.

ეტაპის საწყის მონაცემებს შეადგენენ, ნაკეთობის გეომეტრიული ( $\phi_{8-1}$ ) და ფუნქციონალური ( $\phi_{8-2}$ ) მოდელები, ტექნოლოგიური პროცესის პრინციპიალური სქემა ( $\phi_{8-3}$ ), ნაკეთობის საკონსტრუქტორო ნახაზი ( $\phi_{8-4}$ ), ნამზადის პარამეტრები ( $\phi_{8-5}$ ), დანადგარებისა ( $\phi_{8-6}$ ) და სამარჯვებისა და ინსტრუმენტების კომპლექსის შემადგენლობა და ტექნიკური მახასიათებლები ( $\phi_{8-7}$ ), პარტიის სიდიდე ( $\phi_{8-8}$ ) და ტიპური გადაწყვეტები ( $\phi_{8-9}$ )

$$\Phi_8 = \{ \phi_{8-1} \wedge \phi_{8-2} \wedge \phi_{8-3} \wedge \phi_{8-4} \wedge \phi_{8-5} \wedge \phi_{8-6} \vee \phi_{8-7} \wedge \phi_{8-8} \wedge \phi_{8-9} \}$$

მარშრუტის დაპროექტებისას ხორციელდება ოპერაციების შემადგენლობისა ( $\phi_{8-1}$ ) და თანმიმდევრობის ( $\phi_{8-2}$ ) დადგენა; თითოეული ოპერაციისათვის ისაზღვრება გადასვლების სიმრავლე ( $\phi'_{8-1}$ ), დანადგარი ( $\phi''_{8-1}$ ), ნამზადისა ( $\phi'''_{8-1}$ ) და დეტალის ( $\phi''''_{8-1}$ ) ოპერაციათაშორისი ზომები, ნამზადისა ( $\phi''''_{8-1}$ ) და დეტალის ( $\phi''''''_{8-1}$ ) ზედაპირების სიზუსტის პარამეტრები

$$\psi_8 = \{ \phi_{8-1} \wedge \phi_{8-2} \}$$

სადაც  $\phi_{8-1} = \{ \phi'_{8-1} \wedge \phi''_{8-1} \wedge \phi'''_{8-1} \wedge \phi''''_{8-1} \wedge \phi''''''_{8-1} \wedge \phi''''''''_{8-1} \}$

### IX. ტექნოლოგიური ოპერაციის დაპროექტება

განეკუთვნება მეორე სისტემურ თვისებას. ეტაპის შესასვლელ მონაცემებს წარმოადგენენ, გადასვლების სიმრავლე ( $\Phi_{9-1}$ ) რომელიც სრულდება ოპერაციაში, ფორმა და ოპერაციათაშორისი ზომები ნამზადის ( $\Phi_{9-2}$ ) და დეტალის ( $\Phi_{9-3}$ ), ნამზადისა ( $\Phi_{9-4}$ ) და დეტალის ( $\Phi_{9-5}$ ) სიზუსტისა და ხარისხის პარამეტრები, დანადგარებისა ( $\Phi_{9-6}$ ) და სამარჯვების ( $\Phi_{9-7}$ ) შემადგენლობა და ტიპური გადაწყვეტები ( $\Phi_{9-8}$ ).

$\Phi_9 = \{ \Phi_{9-1} \wedge \Phi_{9-2} \wedge \Phi_{9-3} \wedge \Phi_{9-4} \wedge \Phi_{9-5} \wedge \Phi_{9-6} \wedge \Phi_{9-7} \wedge \Phi_{9-8} \}$   
დაპროექტების შედეგად, ხდება ნამეტების ანგარიში ( $\Phi_{9-1}$ ), ინიშნება დაყენებისა და ბაზირების სქემები ( $\Phi_{9-2}$ ), ირჩევა ჩარხი ( $\Phi_{9-3}$ ) და სამარჯვი ( $\Phi_{9-4}$ ), ფორმირდება ოპერაციის სტრუქტურა ( $\Phi_{9-5}$ ), დგინდება ინსტრუმენტი ( $\Phi_{9-6}$ ) და ჭრის რეჟიმები ( $\Phi_{9-7}$ ).

ამრიგად,

$$\Psi_9 = \{ \Phi_{9-1} \wedge \Phi_{9-2} \wedge \Phi_{9-3} \wedge \Phi_{9-4} \wedge \Phi_{9-5} \wedge \Phi_{9-6} \wedge \Phi_{9-7} \}$$

### X. მმართველი პროგრამების დაპროექტება

განეკუთვნება მეორე სისტემურ თვისებას. მმართველი პროგრამა წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესის, ჩარხის საშემსრულებლო ორგანოებისთვის საჭირო ელემენტარული ბრძანებების დონემდე დეტალიზებულ, აღწერას. ამასთან, ძირითადი ინფორმაცია მმართველ პროგრამაში შეიცავს, ინსტრუმენტის გადაადგილების ტრაექტორიას, რომელიც მოცემულია საყრდენი წერტილების კოორდინატთა თანმიმდევრობით და დამუშავების რეჟიმის პარამეტრებს.

შესასვლელი მონაცემები შეიცავს - დეტალის ( $\Phi_{10-1}$ ) და ნამზადის ( $\Phi_{10-2}$ ) გეომეტრიას, გადასვლების შემადგენლობასა და თანმიმდევრობას ( $\Phi_{10-3}$ ), ინსტრუმენტის პარამეტრებს ( $\Phi_{10-4}$ ), ჭრის რეჟიმებს ( $\Phi_{10-5}$ ), ჩარხის ტექნიკურ მახასიათებლებს ( $\Phi_{10-6}$ ) და ტიპურ გადაწყვეტებს ( $\Phi_{10-7}$ )

$$\Phi_{10} = \{ \Phi_{10-1} \wedge \Phi_{10-2} \wedge \Phi_{10-3} \wedge \Phi_{10-4} \wedge \Phi_{10-5} \wedge \Phi_{10-6} \wedge \Phi_{10-7} \}$$

ეტაპის გამოსასვლელ მონაცემებს შეადგენენ, ინსტრუმენტის გადაადგილების ტრაექტორიის გეომეტრიული პარამეტრები ( $\Phi_{10-1}$ ), ჭრის რეჟიმების შესწორებელი მნიშვნელობები ( $\Phi_{10-2}$ ) და მმართველი პროგრამის ლისტინგი ( $\Phi_{10-3}$ )

$$\Phi_{10} = \{ \Phi_{10-1} \wedge \Phi_{10-2} \wedge \Phi_{10-3} \}$$

#### XI. მმართველი პროგრამის ბაზარტვა

განეკუთვნება მეორე სისტემურ თვისებას და მის მიზანს წარმოადგენს მუშაუნარიანი, ანუ ისეთი მმართველი პროგრამის მიღება, რომელიც ვარგისიანი დეტალის მიღების საშუალებას იძლევა. გამართვის დროს ხდება მმართველ პროგრამაში შეცდომების გამოვლენა, რომლებიც დაკავშირებულია ინსტრუმენტის მუშაობის თანმიმდევრობასთან, გადაადგილების სქემასთან, დამატებითი ინსტრუმენტების რაოდენობასთან, ჭრის რეჟიმებთან, ინსტრუმენტის გავლებთან და გადარბენებთან. ამავე დროს ხორციელდება ამ უზუსტობების გასწორება.

ეტაპის შესასვლელ მონაცემებს წარმოადგენს, მმართველი პროგრამის ლისტინგი ( $\Phi_{11-1}$ ), სისტემის - ჩარხი-სამარჯვი-ინსტრუმენტი-დეტალი ფაქტიური პარამეტრები ( $\Phi_{11-2}$ )

$$\Phi_{11} = \{ \Phi_{11-1} \wedge \Phi_{11-2} \}$$

ხოლო გამოსასვლელ მონაცემებს შეადგენს გამართული მმართველი პროგრამა ( $\Phi_{11-1}$ )

$$\Phi_{11} = \{ \Phi_{11-1} \}$$

#### დასკვნები

1. საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტება წარმოადგენს რთულ, მრავალეტაპიან პროცესს, რომელშიც შესაძლებელია გამოიყოს 11 განზოგადოებული ეტაპი.
2. როგორც ცხადყო ანალიზმა, ცალკეული ეტაპის ამოცანები მჭიდროდ არიან დაკავშირებული ერთმანეთთან, ამიტომ მათ გადასაწყვეტად საჭიროა კომპლექსური მეთოდების დამუშავება.
3. დაპროექტების პროცესი, როგორც სისტემა განიცდის ღრმა უკუკავშირებს ცალკეულ ეტაპებს შორის.
4. ცალკეული ეტაპის ამოცანების კომპლექსური გადაწყვეტა და უკუკავშირების რეალიზაცია, წარმოადგენენ ძირითად მოთხოვნებს რომლებიც უნდა დააკმაყოფილოს საკონსტრუქტორო-

ტექნოლოგიური დაპროექტების ავტომატიზებული სისტემებმა.

### ლიტერატურა

1. Цв-тков В\Д\ Сист-ма автоматизации про-ктирования т-хнологич-ских проц-ссов4М\|Машиностроение\-';;\-/";c\ / Капустин Н\М\ Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ\-\М\|Машиностроение! ';;+\0/..c\ "\ Мосталыгин Г\П\! Толмачевский Н\Н\ Технология машиностроения\М\|Машиностроение\-';;?\0/.,c\ =\ Лоладзе Т\Н\ Основные вопросы оптимизации технологии машиностроительного производства\2Сабчота Сакартвело2! Тбилиси\-';;\-/=.c\ :\ Горнев В\Ф\! Савинов А\М\! Валиков В\Н\ Комплексные технологические процессы ГПС\ Гибкие производственные системы! промышленные роботы! робототехнические комплексы\-\М\|Высшая школа! ';;\-\кн\/\-'?.c\

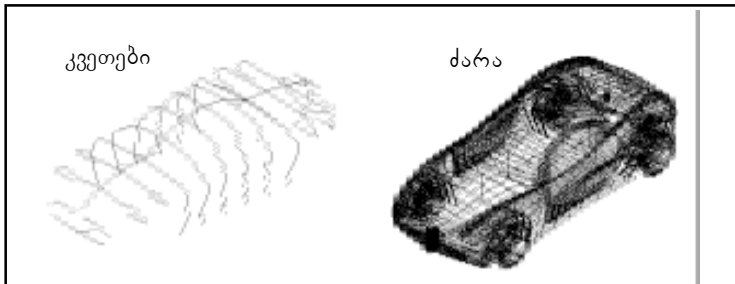
## “BUGATTI D’FACTOR” - 3 ბანზომილებიანი რთული ზედაპირების პროექტირება AutoCAD-ში

დამოუკიდებელი დიზაინერი ზ. ციკოლია

1997 წელში ქალაქ ფრანკფურტში საერთაშორისო ავტოსალონზე წარდგენილი იყო, „ციკოლია დიზაინი“-ს მიერ პირველად საქართველოდან ავტომობილის ისტორიაში ავტომობილის მოდელი მასშ. 1:1, რომელიც დაპროექტებული იყო AutoCAD-ში 18 დღეში.

როგორც მოგვხსენებათ ყოველი პროექტი მოითხოვს ზუსტი ნახაზის შესრულებას (ანუ 2D-ში მუშაობას), რაც საკმაოდ ზუსტად შეიძლება გაკეთებული იყოს AutoCAD-ში. იგი საკმაოდ ზუსტია და მოხერხებული ესეთი სამუშაოებისათვის, ადვილად შეიძლება მასშტაბირება, გრეხილებისა თუ სხვა სირთულის გეომეტრიული ფიგურების შექმნა. აქედან გამომდინარე ეს პროგრამა იდეალური იყო მანქანის ძარის საპროექტებლად.

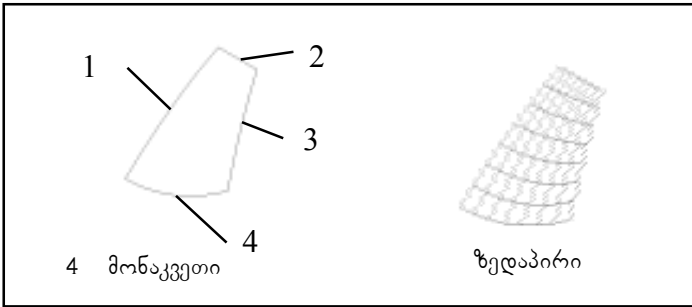
მანქანის ძარის დასაპროექტებლად საჭიროა ასევე 3D-ში პროექტირება, რასაც AutoCAD-ი ნაწილობრივ ამის საშუალებას გვაძლევს. ისეთი რთული ზედაპირი როგორც აქვს ავტომობილს, მოითხოვს განსაკუთრებულ მიდგომას, რაც გამოიხატება ძარის გრძივი და განივი კვეთების სიზუსტეში



იმისათვის, რომ დროში მოვიგოთ და შეცდომა გამოირიცხოს რეალურ მოდელთან მუშაობისას საჭიროა შევქმნათ ვირტუალური 3D მოდელი კომპიუტერში, სადაც შევძლებთ ყოველი მონაკვეთის შემოწმებას და რედაქტირებას. ვირტუალური მოდელი ისევე როგორც ნამდვილი მოდელი იმეორებს ყოველ დეტალს, რომელიც შემდგომში უნდა გაკეთდეს რეალურად. აქედან გამომდინარე იგი ასევე უნდა შედგებოდეს ზედაპირისა და ამა თუ იმ მკვრივსხეულიანი დეტალისაგან. AutoCAD-ი იყენებს სამი

ტიპის პრინციპს 3D სხეულების შესაქმნელად: თავისუფლად ძერწვად ანუ ზედაპირულს, მკვრივსხეულიან ანუ მოცულობითს და კარკასულს ანუ ჩონჩხისებურს. ჩვენ შემთხვევაში ძირითადად გამოყენებულია თავისუფლად ძერწვადი ზედაპირი.

ზედაპირი რომ იმეორებდეს მოცემული ნახაზის მიხედვით ფორმას, საჭიროა 4 მონაკვეთისაგან, ნახევარკალისაგან, ან გრეხილისაგან წარმოადგენდეს ერთმანეთთან ბოლოებით შეერთებულ ჩარჩოს, რაზედაც შემდეგ მოხდება ზედაპირის გადაკრა.

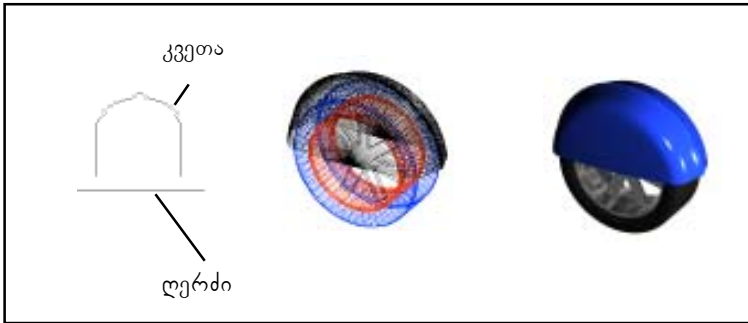


შემდეგ ამ მეთოდით ხდება ძარის დეტალების პროექტირება.

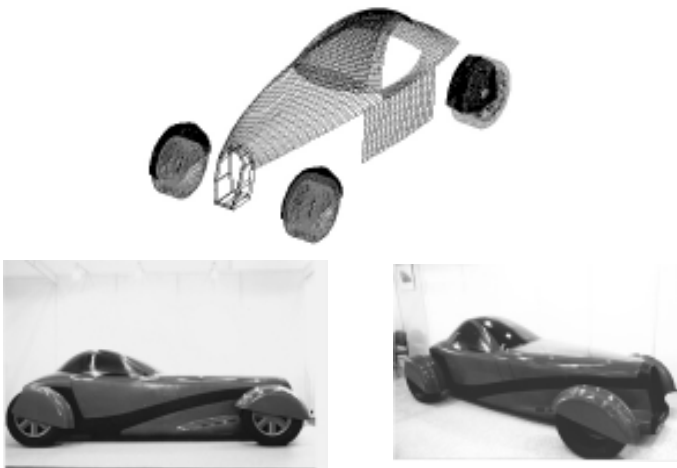
**AutoCAD**-ი გვაძლევს საშუალებას მივიღოთ დეტალის კვეთა, მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ იგი წარმოდგენილია როგორც მოცულობითი სხეული. წინააღმდეგ შემთხვევაში კვეთების მიღება შეუძლებელია, აქედან გამომდინარე პროექტირებამ მოითხოვა ჯერ კვეთების შექმნა და მათი კორექტირება სასურველი ზედაპირის მისაღებად. მაგ.

პროექტირების დროს ასევე წარმოიქმნა სხვა უამრავი წინააღმდეგობა, რაც გამოიხატება ერთი სხეულით მეორის ამოკვეთაში, და ორი სხეულის გაერთიანებაში ე.წ. **BOOLEAN**. ეს პროცესი საჭიროა როცა ვქმნით რთული ფორმის სხეულებს და შესაძლებელია როდესაც სხეულები წარმოადგენენ მოცულობით ობიექტებს, არც ზედაპირულში და არც ჩონჩხისებურ ობიექტების აგების დროს შესაძლებელი არ არის. ამან გამოიწვია ის, რომ თითოეული ძარის დეტალი მაგ. კარები რომელიც ამ შემთხვევაში მარტივი ფორმისაა, შედგებოდა რამოდენიმე დეტალისაგან, რაც იწვევს მანქანის დეტალების სფეციფიურ დანაწევრებას, რომ შევქმნათ სასურველი ზედაპირი. ამ პროცესმა საკმაოდ გაართულა პროექტირება და სიზუსტის დაცვა.

ისეთი დეტალი როგორცაა ბორბლის ფრთა, ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს რთულ ზედაპირად, მაგრამ მისი აგება მოხდა საკმაოდ მარტივად. აიგო მხოლოდ მისი კვეთა რომელიც შემდგომში იყო ღერძის გარშემო დატრიალებული 180°-ით.



საბოლოო ჯამში მანქანამ მიიღო ასეთი იერსახე.



მიუხედავად ამისა **AutoCAD**-ი საკმაოდ მოუხერხებელია რთული ზედაპირების ფორმების შესაქმნელად, იგი მაინც უფრო გამოსადეგია ზუსტი ნახაზის შესაქმნელად ვიდრე 3D ობიექტებისათვის.

## ვიბროდამცავი სახელურის ახალი კონსტრუქცია და კიდული საჩორტნ-სახეხი ჩარხის დინამიკური ანალიზი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
№43 კათედრა

მად. ა. დიასამიძე, პროფ. თ. მჭედლიშვილი, ასპირ.  
დ.სულამანიძე, დოც. ნ. სულამანიძე

თანამედროვე ტექნიკის განვითარების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მიმართულებას წარმოადგენს ხელის მექანიზირებული ინსტრუმენტის დამუშავება და მისი ფართო გამოყენება მრეწველობასა და მშენებლობაში. ვეროპელი ექსპერტების აზრით ხელის მექანიზირებული ინსტრუმენტის გამოყენება კიდევ უფრო გაფართოვდება მომავალ საუკუნეში და ამასთან დაკავშირებით ფართოვდება მისი ასორტიმენტი. მსოფლიოში უკვე არსებობენ უზარმაზარი ტექნიკური და ფინანსური სიძლიერის მქონე ფირმები, რომლებიც მხოლოდ ხელის მექანიზირებული ინსტრუმენტების დამუშავებითა და დამზადებით არიან დაკავებული.

რაც დრო გადის ასორტიმენტის გაზრდასთან ერთად იზრდება ხელის მექანიზირებული ინსტრუმენტის სიმძლავრე და მცირდება მათი მეტალომოცულობა, რაც შესაძლებლობას იძლევა საგრძნობლად გაიზარდოს მათი წარმადობა და ოპერატორის შრომის ნაყოფიერება, მაგრამ ამ პროცესს თან ახლავს უარყოფითი მოვლენა, რაც გამოიხატება გაზრდილი ხვედრითი სიმძლავრის მქონე ხელის მანქანების გადიდებული ვიბროაქტიურობით. ვიბროაქტიური მანქანით ხანგრძლივი მუშაობა იწვევს ოპერატორის ვიბროდაზიზებას. ეს პროფესიონალური მძიმე სახის დაავადებაა და საკმაოდ გავრცელებულია ტექნიკურად განვითარებულ ქვეყნებში. ასეთი ვითარებიდან გამომდინარე, ხელის მანქანების ვიბროუსაფრთხოების უზრუნველყოფა საკმაოდ აქტიური ტექნიკური პრობლემაა, რომლის ერთ-ერთ კერძო საკითხს ეხება წინამდებარე სამუშაო.

კიდული საჩორტნ-სახეხი ჩარხი – კსსჩ - მექანიზირებული ინსტრუმენტის კლასის ერთ-ერთი წარმომადგენელია. ასეთი ჩარხები გამოყენებას პოულობენ მეტალურგიაში, გემთმშენებლობაში, ელექტროტექნიკურ მრეწველობაში და სხვა დარგებში. მაგალითად ხარისხოვან მეტალურგიაში სპეციალური სხმულების წინასწარ დამუშავების ნახევარზე



მეტი ასეთი ტიპის ჩარხებით წარმოებს.

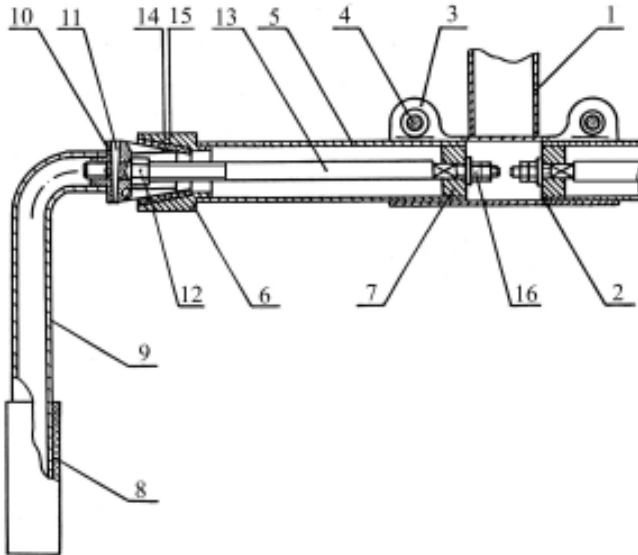
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის №43 კათედრის ავტორთა კოლექტივის მიერ დამუშავებულია კიდული საჩორტნ-სახეხი ჩარხის ორიგინალური კონსტრუქციები, რომლებიც ტექნოლოგიური შესაძლებლობებით არ ჩამოუვარდება არსებულ ჩარხებს და ამასთან ერთად იძლევა ვიბრაციის დონეების საგრძნობლად შემცირების საშუალებას, მის კონსტრუქციაში პასიური ვიბროიზოლაციის ელემენტების ორგანულად ჩართვის საშუალებით. ამ მიმართულებით მუშაობის გაგრძელების შედეგად დამუშავდა წარმოდგენილი ჩარხებისათვის ახალი ვიბროდამცავი სახელურის კონსტრუქცია, რომელიც ადრე არსებული კონსტრუქციებისაგან მომგებიანად განსხვავდება.

ნახ.1-ზე წარმოდგენილია ზემოთხსენებული სახელურის კონსტრუქცია. სქემატურად იგი საერთო მოხაზულობით წარმოადგენს “ ”-ს მსგავს სახელურს, რომელიც ფართოდ გამოიყენება ტრანსპორტში (ველოსიპედი, მოტოციკლი) და ხელის მექანიზირებულ ინსტრუმენტებში (კიდულ სახეხს, გადამჭრელი და სხვა სახის ჩარხებში).

სახელურის ცენტრალური ნაწილი შედგეულია ორი მილისგან, რომელთაგან ერთი - პოზიცია 1 (ნახ.1) - განკუთვნილია ცალულებით ან მიდულებით ინსტრუმენტზე დასამაგრებლად, ხოლო მეორეში - პოზ.2 – რომლის ორივე გაჭრილი ბოლო აღჭურვილია მომჭერებით – 3 მათი და აგრეთვე ჭანჭიკების – 4, ქანჩებისა და საყელურების მეშვეობით, ხდება ერთი ან ორი -ს მაგვარი ნაწილის ჩამაგრება.

Γ-ს მაგვარი ნაწილი - 2 შედგება მილისებრი კორპუსისაგან 5, რომლის ერთ ბოლოზე მიდულებულია კონუსური გრძივ ღარებიანი შიდა ზედაპირის მქონე მილისა 6, ხოლო მეორე ბოლოში ჩამაგრებულია კვადრატული ნახვრეტის მქონე მილისა 7. თბო და ვიბროდამცავი 8 საფარის მქონე ხელჩასაჭიდი ნაწილი 9 სფერული ფორმის მქონე დაბოლოებით 10, რომელშიც კონუსური წკირის 11, ხრახნული შეერთებისა და მაკონტრებელი ქანჩი 12-ის მეშვეობით უძრავად მაგრდება ტორსიონი 13, ებჯინება მილისა 14-ის კონუსურ ტორსულ ზედაპირს, ხოლო გარე კონუსური გრძივიკილოებიანი ზედაპირით იგი შედის გრძივი შევრილების მქონე შიგა და გარე კონუსური ზედაპირების მქონე დრეკად ელემენტში 15, რომელიც თავის მხრივ მოთავსებულია მილისაში 6.

ქანებით 16, ტორსიონის 13, დერძის გასწვრივ კორპუსის 5 მიმართ გადაადგილების მეშვეობით ხდება სფერული ზედაპირის კონუსურზე (სფერულზე) მიბჯენისა და შუასადების (დრეკადი ელემენტის) კუმშვის ძალების რეგულირება.



ნახ.1. ვიბროდამცავი სახელური

მუშაობის პროცესში დეტალების 14, 15 და 6 ურთიერთმობრუნების თავიდან ასაცილებლად დრეკად ელემენტს 15 გააჩნია გრძივი შევრილები, ხოლო მილისებს 14 და 6 გრძივი კილოები.

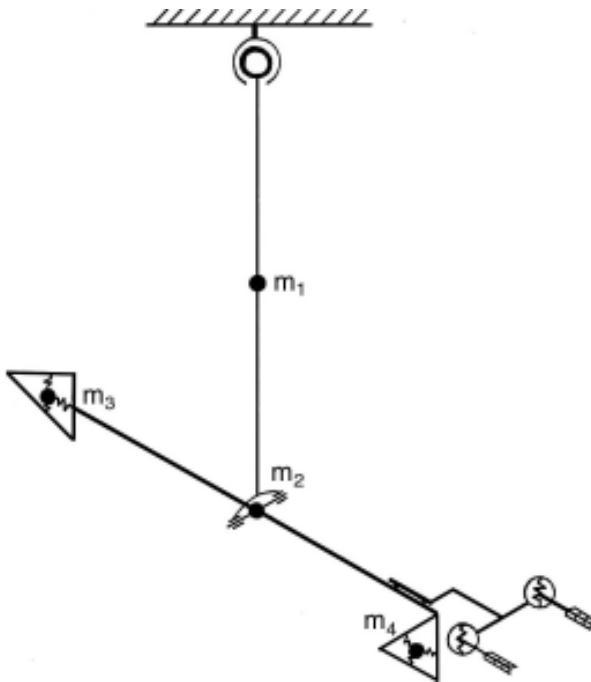
II-სებრი სახელურის შესაქმნელად ცენტრალურ ნაწილში ანალოგიურად მაგრდება ორი Γ-ს მაგვარი ნაწილი, როდესაც საჭიროა ორივე ხელით მომუშავე ოპერატორისათვის ასაწყობი ვიბროდამცავი სახელური.

როდესაც ოპერატორი მექანიზირებული ინსტრუმენტით მანიპულირებს აწარმოებს ერთი ხელით, მაშინ ცენტრალურ ნაწილში მაგრდება ერთი Γ-ს მაგვარი ნაწილი.

წარმოდგენილ სახელურს ადრე არსებულ სახელურებთან შედარებით რამოდენიმე სახის უპირატესობა აქვს. მათგან

ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანია კონუსური დრეკადი ელემენტის არსებობა, რომელიც თავიდან გვაშორებს ადრე არსებულ სახელურებში მოქმედ ეგრეთწოდებულ “აკუსტიკურ ხიდს”, რომლის მეოხებითაც ვიბრაცია, მიუხედავად ტორსიონის არსებობისა, მაინც გადაეცემოდა ნაწილობრივ ხელსაკიდს. გარდა ამისა, არსებობს ხელის ინსტრუმენტის ისეთი სახეობები, რომელთა გამოყენება ხდება მხოლოდ ერთი ხელით. ოპერატორის მეორე ხელი დაკავებულია სხვა ფუნქციით (მაგალითად თხელი სახეხი დისკოებით აღჭურვილი გადამჭრელი ჩარხები). შემთავაზებული ახალი ტიპის სახელური საშუალებას იძლევა ასეთი ტიპის ჩარხების ოპერატორიც იქნას დაცული ვიბრაციის ზეგავლენისაგან წარმოდგენილი ნახევარსახელურის გამოყენების მეშვეობით.

სტუ-ს №43 კათედრის ავტორთა კოლექტივის მიერ რამოდენიმე წლის წინ დამუშავდა ჩვეულებრივსახელურიანი კიდული ჩარხის დინამიკის მათემატიკური მოდელი (1),



ნახ.2. კიდული საჩორტნ-სახეხი ჩარხის სტრუქტურული სქემა ვიბროდამცავი სახელურით

რომელიც სახელურის ვიბროფექტს არ ითვალისწინებდა, ამიტომ წარმოდგენილი ვიბროდამცავი სახელურით აღჭურვილი კიდული საჩორტნ-სახეხი ჩარხის დინამიკური კვლევისათვის საჭიროა მათემატიკური მოდელის აგება.

ჩარხის სტრუქტურული სქემა ახალი სახელურით მოცემულია ნახ.2-ზე.

დინამიკური მოდელის დამუშავებისას მიღებულია, რომ კიდული საჩორტნ-სახეხი ჩარხის სივრცითი მექანიზმი დაჭერილია განსაზღვრულ დადგენილ მდგომარეობაში და ამ დროს გაწონასწორებულ მდგომარეობაში იმყოფება სტატიკური ან სტატიკურთან მიახლოებული ჭრის საშუალო ძალა და წონით

აღძრული სტატიკური მომენტები, ამასთან მიღებულია, რომ დადგენილი მდგომარეობის-ე.წ. საყრდენი ტრაექტორიის-მიმართ სრულდება სწრაფად აღმზნები ზემოქმედებისაგან აღძრული სწრაფად დინებადი დინამიკური რხევითი პროცესები.

აღრე ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული იყო შემდეგი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა

$$a_{11} \cdot q_1 + a_{13} \cdot q_3 + a_{15} \cdot q_5 + a_{16} \cdot q_6 + a_{1,11} \cdot q_{11} + a_{1,12} \cdot q_{12} + a_{1,13} \cdot q_{13} + a_{1,14} \cdot q_{14} + h_1 \cdot q_1 + Cq_1 = 0$$

$$a_{31} \cdot q_1 + a_{33} \cdot q_3 + a_{35} \cdot q_5 + a_{35} \cdot q_6 + a_{3,11} \cdot q_{11} + a_{3,12} \cdot q_{12} + a_{3,13} \cdot q_{13} + a_{3,14} \cdot q_{14} + h_3 \cdot q_3 + Cq_3 = 0$$

$$a_{51} \cdot q_1 + a_{53} \cdot q_3 + a_{55} \cdot q_5 + a_{56} \cdot q_6 + a_{5,13} \cdot q_{13} + a_{5,14} \cdot q_{14} + h_5 \cdot q_5 + h_{56} \cdot q_6 + Cq_5 = 0$$

$$a_{61} \cdot q_1 + a_{63} \cdot q_3 + a_{65} \cdot q_5 + a_{66} \cdot q_6 + a_{6,13} \cdot q_{13} + a_{6,14} \cdot q_{14} + h_6 \cdot q_6 + h_{65} \cdot q_5 + Cq_6 = 0$$

$$a_{77} \cdot q_7 + a_{79} \cdot q_9 + a_{7,11} \cdot q_{11} + a_{7,12} \cdot q_{12} + a_{7,13} \cdot q_{13} + a_{3,14} \cdot q_{14} + h_7 \cdot q_7 + Cq_7 = Mq_7$$

$$a_{97} \cdot q_7 + a_{99} \cdot q_9 + a_{9,11} \cdot q_{11} + a_{9,12} \cdot q_{12} + a_{9,13} \cdot q_{13} + a_{9,14} \cdot q_{14} + h_9 \cdot q_9 + Cq_9 = Mq_9$$

$$a_{11,1} \cdot q_1 + a_{11,3} \cdot q_3 + a_{11,7} \cdot q_7 + a_{11,9} \cdot q_9 + a_{11,11} \cdot q_{11} + a_{11,12} \cdot q_{12} + a_{11,13} \cdot q_{13} + a_{11,14} \cdot q_{14} + h_{11} \cdot q_{11} + h_{11,12} \cdot q_{12} + Cq_{11} = Fq_{11}$$

$$a_{12,1} \cdot q_1 + a_{12,3} \cdot q_3 + a_{12,7} \cdot q_7 + a_{12,11} \cdot q_{11} + a_{12,12} \cdot q_{12} + a_{12,13} \cdot q_{13} + (1)$$

$$+ a_{12,14} \cdot q_{14} + h_{12} \cdot q_{12} + h_{12,11} \cdot q_{11} + Cq_{12} \cdot q_{12} = Fq_{12}$$

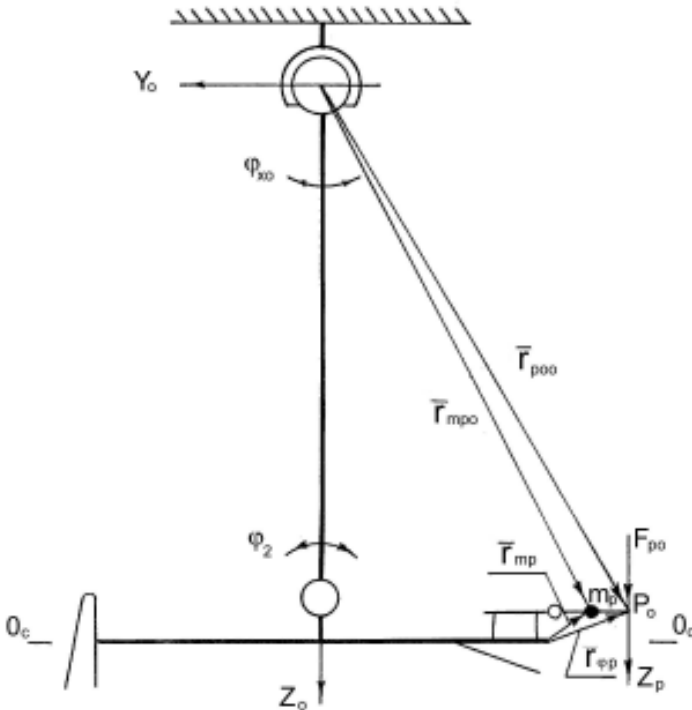
$$a_{13,1} \cdot q_1 + a_{13,3} \cdot q_3 + a_{13,5} \cdot q_5 + a_{13,6} \cdot q_6 + a_{13,7} \cdot q_7 + a_{13,9} \cdot q_9 + a_{13,11} \cdot q_{11} + a_{13,12} \cdot q_{12} + a_{13,13} \cdot q_{13} + a_{13,14} \cdot q_{14} + h_{13} \cdot q_{13} + Cq_{13} \cdot q_{13} = Fq_{13}$$

$$a_{14,1} \cdot q_1 + a_{14,3} \cdot q_3 + a_{14,5} \cdot q_5 + a_{14,6} \cdot q_6 + a_{14,7} \cdot q_7 + a_{14,9} \cdot q_9 + a_{14,11} \cdot q_{11} + a_{14,12} \cdot q_{12} + a_{14,13} \cdot q_{13} + a_{14,14} \cdot q_{14} + h_{14} \cdot q_{14} + Cq_{14} \cdot q_{14} = Fq_{14}$$

სადაც  $a_{ij}$ ,  $h_i$  და  $c_i$  – კოეფიციენტებია, რომლებიც განისაზღვრება ჩარხის სისტემის გეომეტრიული, სიხისტის

და ინერციული მახასიათებლებიდან გამომდინარე. განზოგადებული ძალები და მომენტები განისაზღვრება სოლდველური გადაცემის, შპინდელისა და ძრავის მბრუნავი დეტალების და ოპერატორის ზემოქმედების ძალის მიერ გამოწვეულ აღმაშფოთებელ ზემოქმედებებთან კავშირში.

იმისათვის, რომ წარმოდგენილი მათემატიკური მოდელიდან გადავიდეთ ვიბროდამცავი სახელურით აღჭურვილი ჩარხის მათემატიკურ მოდელზე, საჭიროა წარმოდგენილ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას დაემატოს განტოლება, რომელიც შეიცავს განზოგადებულ კოორდინატს, განსაზღვრულს ჩარხის კორპუსის მიმართ სახელურის კუთხური მოძრაობის  $\varphi_p$ -ის  $\varphi_2$  კუთხური კოორდინატის სიბრტყეში (ნახ.3).



ნახ.3. დინამიკური საანგარიშო სქემა

ამ მიზნით, ზოგად შემთხვევაში, განესაზღვრავთ  $\vec{r}_{mp}$  და  ${}_{poo}$  რადიუს ვექტორებს, ამასთან მიღებულია რომ  ${}_{mpo}$ -არის სახელურის მბრუნავი ნაწილის მასის ცენტრის რადიუს-ვექტორი, ხოლო  ${}_{poo}$  არის ოპერატორის ხელის ძალის  $F_{po}$ -ს მოდების წერტილის  $P_o$ -ის რადიუს-ვექტორი კოორდინატა აბსოლუტურ (“ნულოვან”) სისტემაში.

ზემოთსენებულ შრომებში მიღებული იყო  ${}_p$  რადიუს-ვექტორის გამოსახულება, ამასთან დაკავშირებით შეიძლება მივიღოთ, რომ

$${}_{mpo} = {}_p + {}_{mp} \quad (2)$$

$${}_{poo} = {}_p + \Phi_p \quad (3)$$

უკანასკნელის გათვალისწინებით დამატებითი დინამიკური განტოლება იღებს შემდეგ გამოსახულებას:

$$(4)$$

სადაც

$$T_\varphi = \frac{1}{2} m_p \left( \frac{d\vec{r}_{mp}}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} \vec{\Omega}_\varphi \cdot J_\varphi \cdot \vec{\Omega}_\varphi^T \quad (5)$$

$$\Pi_\varphi = \frac{1}{2} C_\varphi \cdot \varphi_p^2 \quad (6)$$

$$\Phi_\varphi = \frac{1}{2} \mu_\varphi \cdot \varphi_p^2 \quad (7)$$

სისტემის დისიპატიური ფუნქციის შესაბამისი კინეტიკური და პოტენციალური ენერჯის შემადგენელი ნაწილებია, რომლებიც განისაზღვრება სახელურის მოძრაობით,  $\vec{\Omega}_\varphi$  ხოლო არის სახელურის რგოლის კუთხური მოძრაობა მასების სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ.

$M\Phi_p$  – განზოგადოებული ძალაა, რომელიც

განპირობებულია  $F_{po}$  ძალის ზემოქმედებით  $P_o$  წერტილში. თუ მივიჩნევთ, რომ ოპერატორის ზემოქმედების

ძალაა  $F_{po}$  ჩარხის სადგარზე გამავალი  $O_c - O_c$  ღერძის პერპენდიკულარულია და ამავე დროს  $P_o$  წერტილის კოორდინატები კოორდინატთა აბსოლუტურ (ნულოვან)

სისტემაში ცნობილია და წარმოადგენენ  $po$  რადიუს-ვექტორის კომპონენტებს, მაშინ  $F_{po}$  ძალის მიერ გამოწვეული განზოგადოებული ძალების განსაზღვრის პროცედურა ყველა საჭირო კოორდინატის მიმართ არაა რთული.

ვერტიკალურ სიბრტყეში მუშაობისას ეს კოორდინატებია  $\Phi_p$ ,  $\Phi_2$  და  $\Phi_{x0}$ .

პირველ მიახლოებაში დინამიკის დამატებითი განტოლების შედგენისათვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ  $Z_p$  და  $Z_{po}$  კოორდინატებით, რომლებიც წარმოადგენენ მცირე რხევით გადაადგილებებს ჩარხის დგარზე გამავალი  $O_c - O_c$  ღერძის მიმართ პერპენდიკულარული მიმართულებით.

$Z_p(t)$  - გადაადგილებების განსაზღვრისათვის საჭირო დამოკიდებულებანი დამუშავებულია წარმოდგენილ ჩარხთან დაკავშირებით ადრე ჩატარებულ სამუშაოებში.

თუ მივიღებთ, რომ

$$F_p = [F_p; O]^T \quad (8)$$

და მასთან  $m_p$  ისე მცირეა, რომ შესაძლებელია მისი უგულებელგდოვა, პირველ მიახლოებაში განტოლება შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\mu_\phi (Z_p + Z_{po}) + C\phi (Z_p - Z_{po}) = F_p \quad (9)$$

სადაც  $\mu_\phi$  - ბლანტი ხახუნის კოეფიციენტია სახსრულ შეერთებაში,  $C_\phi$  კი ტორსიონის გრესით განსაზღვრული სიხისტეა.

თუ ვისარგებლებთ ცნობილი მონაცემებით ოპერატორის ხელის იმპედანსის შესახებ, შეიძლება  $F_p$  წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$F_p = K_u Z_{po} + \mu_u Z_{po} \quad (10)$$

სადაც:

$K_u$  - ადამიანის ხელის სიხისტეა,

$\mu_u$  - ადამიანის ხელის ბლანტი წინაღობა.

მე-8 განტოლებისა და ადრე ჩატარებული კვლევების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნა: წარმოდგენილი ვიბროდამცავი სახელურით აღჭურვილი ჩარხის დგარში აღძრული რხევები ოპერატორის ხელთან

მიღწევამდე გაივლის ვიბრონახშობის დამატებით საფეხურს, რაც მოწმობს კიდული საჩორტნ-სახეხი ჩარხის სქემაში ვიბროდამცავი სახელურის ჩართვის ეფექტურობას.

ზემოთმოყვანილი კვლევების საფუძველზე მიღებულია დიდი განზომილებისა და რთული მრავალკავშირიანი სტრუქტურის მქონე დინამიკის მათემატიკური მოდელი.

ასეთი სისტემების ინჟინრული გათვლის მეთოდის აგებისათვის მიზანშეწონილია საწყისი საანგარიშო სქემის – დინამიკური მოდელის გამარტივება.

ამ მიზნით შექმნილია გარკვეული მეთოდები. მათ შორის შეიძლება აღინიშნოს საანგარიშო სქემის გამარტივების ამოცანის დაყვანა ჩებიშევის მიახლოების ამოცანამდე [3] და უმაღლესი პარციალური სიხშირეების მქონე ქვესისტემების თანმიმდევრული გამორიცხვის განზოგადებული მეთოდი [4], რომელთა გამოყენება შესაძლებელია როგორც მწკრივისებრი, ასევე განშტოებადი დინამიკური სისტემებისათვის.

ჩებიშევის მიახლოებაზე გამარტივების ამოცანის დაყვანის მეთოდში გამარტივებისათვის საწყისი მონაცემების სახით გამოიყენება საწყისი საანგარიშო სქემის საკუთარი სიხშირეების და თავისუფალ რხევათა ფორმების ინერციის ჯამური მომენტების მნიშვნელობები.

გამარტივებული საანგარიშო სქემის სახეობა (მწკრივისებრი თუ განშტოებადი, განშტოებათა რიცხვი, მათი ადგილი) და რიგი (შეყურსული მასების რაოდენობა) განისაზღვრება საწყისი სქემის სახით, ჩასატარებელი კვლევების მიზნებით და დინამიკური სისტემის რხევათა საკუთარი სიხშირის რიცხვით, რომელთა ერთობლიობა თავსდება საკვლევი სიხშირეთა დიაპაზონში [4].

გამარტივებული საანგარიშო სქემის თავისუფალი რხევების განტოლება განიხილება მატრიცული ფორმის მქონე შემდეგი სახით:

$$\{\dot{q}\} + A\{q\} = 0$$

და საანგარიშო სქემის გამარტივების ამოცანა დაიყვანება ისეთი  $A$  მატრიცის ძიების ამოცანამდე, რომლისგანაც შემდგომში შეიძლება განისაზღვროს გამარტივებული საანგარიშო სქემის პარამეტრები (შეყურსული მასები, დრეკადი კავშირების დამყოლობა).

გამარტივებული და საწყისი საანგარიშო სქემების ჯამური მასების (ინერციის მომენტების) ტოლობის პირობების შესრულებისას გამარტივებული სქემის საწყისთან მიახლოების



ხარისხი ფასდება გამარტივებული სქემის  $\lambda_i$  – საკუთარი რიცხვებისა და  $\mu_i$  – საკუთარი ვექტორების კომპონენტების სიახლოვით მათი შესაბამისი საწყისი საანგარიშო სქემის  $\lambda_{iu}$  – საკუთარ რიცხვებსა და  $\mu_{iu}$  – საკუთარი ვექტორების კომპონენტებთან.

მაშინ, ვსარგებლობთ რა მატრიცების თეორიის საუკუნოვანი განტოლებით

$$A \cdot \mu_i = \lambda_i \cdot \mu_i$$

და ვიღებთ რა  $A$  მატრიცისათვის ( $n \times n$ ) განზომილებას,  $\lambda_i$  საკუთარი რიცხვებისა და  $\mu_i$  საკუთარი ვექტორების კომპონენტების მაგიერ  $\lambda_{iu}$  საკუთარ რიცხვებსა და  $\mu_{iu}$  საკუთარი ვექტორების კომპონენტებს. როდესაც  $i = 1, 2, \dots, n$ , ვღებულობთ  $A$  მატრიცის ელემენტებისათვის შემდეგ განტოლებას

$$A \cdot \mu_{iu} = \lambda_{iu} \cdot \mu_{iu}$$

ნაჩვენები მეთოდის ანალიზი აჩვენებს, რომ (9) განტოლება სავსებით მისაღებია განხილული კიდული ჩარხის დინამიკისათვის. ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია მიზანმიმართული პარამეტრების სინთეზის აგების პროცედურისათვის გამარტივებული დამოკიდებულებების მიღება.

#### ლიტერატურა

'\ Суламанидзе Н\Д\ 2Разработка и динамический анализ пространственного механизма вибробезопасного подвесного станка2\ Диссертация на соискание ученой степени КТН Тбилиси ';;?r\

/\ Мchedlishvili T\Ф\! Суламанидзе Н\Д\! Курдашвили О\Г\! 2Определение кинематических характеристик пространственного механизма подвески ручной технологической машинки2\Научные труды ГПИ им\ В\И\ Ленина\3'/8"/=9 Тбилиси ';;,r\

"\ Нечаевский В\М\! Вайсман М\А\ Об одном методе упрощения дискретных линейных систем произвольных структур\ В кнЖ Динамика и прочность машин\ Харьков! Высш\ школа! ';;/! вып "!! с\ //-/+ \

=\ Красников Ю\Д\! Хургин З\Я\! Нечаевский В\М\ и др\ Оптимизация привоза выемочных и проходческих машин\ М\ Недра! ';;"\

# УСТРОЙСТВО И ВОПРОСЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПЛОЩАДКИ С ДИНАМИЧЕСКИМ ГАСИТЕЛЕМ КОЛЕБАНИЙ

Грузинский Технический Университет

Кафедра № "

Диасамидзе ААА! Мchedlishvili ТФ! Суламанидзе НД!

Суламанидзе ДН

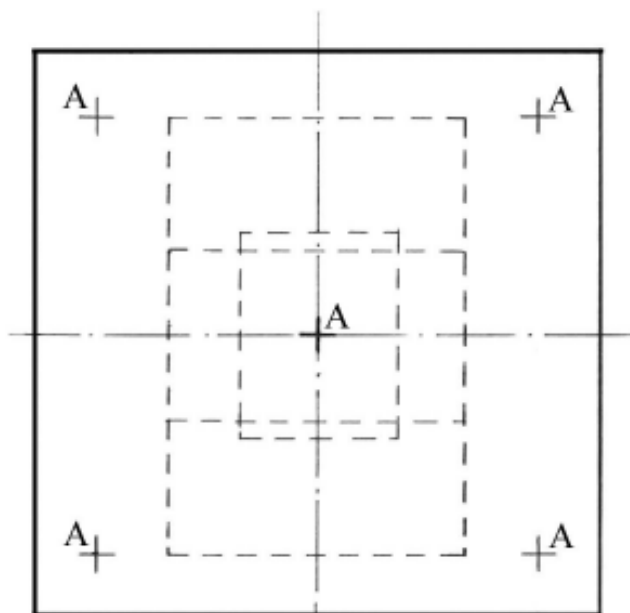
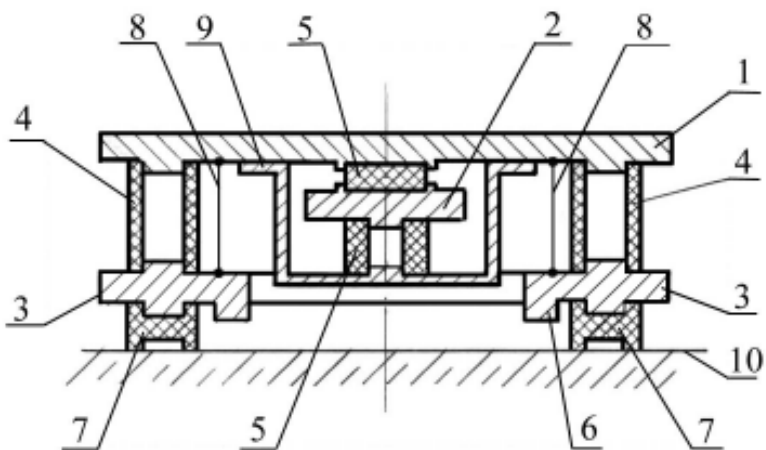
Исследования вибрационных характеристик на судах Грузинского морского пароходства показали, что во многих случаях имели дело с широкополосными спектрами колебаний! характеризуемыми превышениями виброскоростей на довольно низких частотах вибрационных движений!

Известно, что классические схемы простых пассивных виброзащитных площадок! широко используемых в промышленности для защиты оператора при работе стоя! эффективны для гашения вибраций с частотами! несколько превышающими частоты собственных колебаний виброзащитного устройства! что не реализуемо для рассматриваемых картин широкополосных вибраций! охватывающих частоты воздействий с  $\omega$  Гц и выше [2,3].

На основе качественного анализа известной схемы многозвенной виброизолирующей площадки [1] для виброзащиты операторов на морских судах предложена схема устройства пассивной защиты с механической цепью динамического гашения колебаний на малых частотах! близких и равных частоте собственных колебаний конструкции без гасителя!

Структурная схема разработанного устройства с последовательной цепью введения гасителя! представляющая собой определенное развитие классической схемы динамического гашения! приведена на рис. 1

На схеме звено 1 – защищаемый элемент! на котором базируется человек – оператор! а смежное звено 2! упруго присоединенное с помощью детали 3 к основной массе 1 через упругие элементы 4! выполняет функцию гасителя



Рис\ Схema виброизолирующей площадки с динамическим гасителем колебаний

колебаний. Звено ' с помощью упругих элементов = связано с промежуточным звеном – плитой " которая! в свою очередь! опирается на опорную поверхность '? с помощью упругих элементов. Эти элементы рассчитаны таким образом! что при нахождении оператора на плите ' исходный зазор! показанный на рисунке между плитой " и опорной поверхностью! является полностью выбранным! т\е\ плита " с помощью буртов + находится в прижатом к опорной поверхности '? положении. Сила прижатия такова! что в процессе вибрационных движений контакт между поверхностью '? и буртами + не нарушается! т\е\ звено " и опорная поверхность '? представляют собой одно вибрирующее звено.

Между звеньями ' и " монтированы тросы .! назначение которых – уменьшение вертикальных перемещений плиты ' при движениях оператора. Введение дополнительной плиты " и упругих элементов , в конструкцию рассматриваемого устройства позволяет сохранить эффект динамического гашения и для тех случаев! когда система находится в разгруженном от массы оператора состоянии. Без этих дополнительных элементов при разгрузке плиты ' от массы оператора рассматриваемая виброзащитная система превращается в обычную двухмассовую систему! склонную к резонансным явлениям.

На рисунке точками А показаны в плане местонахождения осей упругих элементов = и :\

При построении математической модели динамики разработанного устройства имеем дело с тремя сосредоточенными массами!

$m_{01}$  – масса звена "!

$m_0$  – масса звена '!

$m_1$  – масса гасителя звена '9

и  $M_2$  – масса оператора!

Вводя в рассмотрение обобщенные координаты!

$Z_{01}$  – перемещение массы  $m_{01}$ !  $Z_0$  – перемещение массы  $m_0$  и  $Z_1$  – перемещение массы  $m_1$  с начальными условиями соответственно равными  $Z_{01H}$ !  $Z_{0H}$ !  $Z_{1H}$  и  $O$ ! а также и нелинейные условия!

$$\left| Z_{01}(t) - Z_{00} < \Delta_2 \right| \quad \left| Z_{01}(t) - Z_{00} \geq \Delta_2 \right| \quad \left| Z_0 - Z_{01} < \Delta_{C2} \right| \quad \text{и} \\ \left| Z_0 - Z_{01} \geq \Delta_{C2} \right|$$

где  $\Delta_2$  – исходный зазор между звеном " и опорной поверхностью!  $\Delta_{C2}$  – зазор! регламентируемый длиной тросов! соединяющих звенья ' и " была получена система дифференциальных уравнений движения!

$$\left. \begin{aligned} & \text{ghb } |Z_{01} - Z_{00}| > \Delta_0 \quad \text{b } |Z_0 - Z_{01}| < \Delta_{C0} \\ & M \cdot Z_0 + h_0(Z_0 - Z_{00}) = 0 \\ & m_1 \cdot Z_1 + h_1(Z_1 - Z_0) + c_1(Z_1 - Z_0) = 0, \end{aligned} \right\} 8/9$$

$$\left. \begin{aligned} & \text{ghb } |Z_{01} - Z_{00}| < \Delta_0 \quad \text{b } |Z_0 - Z_{01}| \geq \Delta_{C0} \\ & (M + m_{01}) Z_{0*} + h_0^0(Z_{0*} - Z_{00}) + c_0^0(Z_{0*} - Z_{00}) = 0 \\ & m_1 \cdot Z_1 + h_1(Z_1 - Z_{0*}) = 0, \\ & Z_{0*} = Z_{01}, \quad Z_{0*} = Z_{01}, \quad Z_{0*} = Z_{01} + \Delta_{C0} \end{aligned} \right\} 8''9$$

$$\left. \begin{aligned} & \text{ghb } |Z_{01} - Z_{00}| > \Delta_0 \quad \text{b } |Z_0 - Z_{01}| \geq \Delta_{C0} \\ & Z_0(t) = Z_0(t)_{\Delta} = Z_{00}(t) + \Delta_{C0} \\ & m_1 \cdot Z_1 + h_1(Z_1 - Z_{0\Delta}) + c_1(Z_1 - Z_{0\Delta}) = 0, \end{aligned} \right\} 8=9$$

В уравнениях динамики введены следующие обозначения

$$\left. \begin{aligned} & M \cdot Z_0 + h_0(Z_0 - Z_{00}) - h_0^0(Z_{01} - Z_{00}) + c_0^0(Z_{01} - Z_{00}) + c_0(Z_0 - Z_0) = 0 \\ & m_1 \cdot Z_1 + h_1(Z_1 - Z_0) + c_1(Z_1 - Z_0) + c_1(Z_0 - Z_0) = 0 \\ & M_0 \cdot Z_0 + h_0(Z_0 - Z_{00}) + c_1(Z_1 - Z_0) = 0, \end{aligned} \right\} \text{аннроксимирующие коэффициенты жесткостей [4] звеньев} \quad \text{! : и ,! } M = m_0^{-1} +$$

$M_0, h_0^0, h_0$  и  $h_1$  - аппроксимирующие коэффициенты вязкого трения этих же звеньев\

Используя математические процедуры линейной теории систем автоматического регулирования в приложении к рассматриваемой динамической системе были получены следующие выражения для определения амплитуды колебаний защищаемой массы\

$$a_m = \omega_{\Sigma} ( )_1 \cdot a_{zoo} \quad (5)$$

$$\omega_{\Sigma} ( )_1 = \quad 8+9$$

$$Q_{\Sigma}(j) = \quad (7)$$

$$P_{\Sigma}(j\omega) = \quad \omega \quad (8)$$

$$a_4 = m_1 M,$$

$$a_3 = (h_1^0 + h_1)M + (h_0 + h_1)m_1,$$

$$a_2 = M c_1 - a_1(h_0 - h_1) + m_1(c_0 + c_1) - h_1^2$$

$$a_1 = c_1(h_0 - h_1) - (c_0 + c_1)h_1 - 2h_1 c_1$$

$$a_0 = c_1(c_0 + c_1) - c_1^2$$

$\omega$  - частота возмущаемого воздействия!

$j$  - мнимая единица

Дальнейшие исследования строим на основе известных методик и результатов по выбору оптимальных параметров систем с динамическим гашением колебаний [5,6].

В качестве базовой была выбрана методология оптимизации параметров для гасителя с вязким трением при учете диссипации в защищаемой системе из условия минимизации ординат амплитудно-частотных характеристик 8АЧХ9 в достаточно широком диапазоне частот внешних воздействий

В отличие от задач, решаемых в работе [5] в рассматриваемом случае неустойчивой является не только частота возмущаемого воздействия, но и масса защищаемого от вибрационных воздействий элемента виброизолирующей системы

Естественно, что при таком подходе при изменении массы  $M$  параметр оптимизаций  $f$  - отношения частоты собственных колебаний конструкции без гасителя к частоте собственных колебаний гасителя - будет оставаться неизменным - лишь при определенном расчетном значении  $M = M_p$ .

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что при определении параметра оптимизации используя расчетное значение

где  $M_n$  и  $M_v$  - соответственно нижнее и верхнее предельные значения вариации массы  $M$  для частей корабля, на которых превышение норм виброскоростей

начинается с +. Гц возможно строгое соблюдение норм виброзащиты обслуживаемого персонала. А для машинных отделений характеризуемых спектром вибрационных движений с превышением норм с =х Гц! разработанные конструкции позволили получить снижение виброскоростей ниже допустимых норм при частотах возмущений! превышающих : Гц с небольшим превышением при меньших частотах возмущений!

Исследования также показали! что разработанная схема в принципиальном плане позволяет влиять на широкополосные спектры возмущений как в вертикальном Z, так и в поперечном X и в продольном U направлениях. Получено! что при одновременных воздействиях по всем этим направлениям определяющим является сохранение примерно одинаковых соотношений между ж сткостными характеристиками отдельных упругих элементов!

## ЛИТЕРАТУРА

А Диасамидзе А\А! Мчедлишвили Т\Ф! Суламанидзе Н\Д! Суламанидзе Д\Н! Структура и вопросы динамического моделирования многозвенной виброизолирующей площадки. Ж\ Georgian Engineering News, " 8,9! Тбилиси! ';;.\

А Чупраков Ю\И! Гидравлические системы защиты человека – оператора от общей вибрации\ - М\ : Машиностроение! ';;.\

"\ Ивович В\А! Онищенко В\Я! Защита от вибрации в машиностроении\ - М\ : Машиностроение! ';;?\

=\ Вольперт "\Г\ Динамика амортизаторов с нелинейными упругими элементами\ - М\ : Машиностроение! ';;,\

:\ Коренев Б\Г\ Динамические гасители колебаний: Теория и технические приложения\ - М\ : Наука! ';;.\

+ \ Карамышкин В\В\ Динамическое гашение колебаний / Под\ ред\ К\М\ Рагульскиса\ - Л\ : Машиностроение! ';;.\