

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო  
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

*ხელნაწერის უფლებით*

ქოჩიაშვილი თეიმურაზ თამაზის ძე

ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის  
კონტროლის მეთოდები და საშუალებები  
მანქანათმშენებლობაში

სპეციალობა: 05.02.03 – *ამპრავთა სისტემები*

ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატის  
სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

ქუთაისი 2006

სადისერტაციო ნაშრომი შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „თეორიული მექანიკის“ №4 და „კონსტრუქციების დაზიანების ტექნიკური დიაგნოსტიკის და ექსპერტიზის“ №122 კათედრებზე.

**სამეცნიერო ხელმძღვანელები:**

**წიქარიშვილი მალხაზ ანდროს ძე**  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, სრული პროფესორი

**ყიფიანი გელა ოთარის ძე**  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, სრული პროფესორი

**ოფიციალური ოპონენტები:**

**რუსაძე თამაზ პლატონის ძე**  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, სრული პროფესორი

**ჭანტურია ნოდარ ეჟანის ძე**  
ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, ასოცირებული პროფესორი

დისერტაციის საჯარო დაცვა შედგება 2006 წლის 26 დეკემბერს 13<sup>30</sup> საათზე აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის (წსუ) თ05.02.03 სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე.

**მისამართი:** წსუ, კორპუსი 1, აუდიტორია 101, ახალგაზრდობის გამზირი 98, 4614, ქუთაისი, საქართველო.

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია წსუ-ს სამეცნიერო ბიბლიოთეკაში.

ავტორეფერატი დაგზავნილია 2006 წლის 24 ნოემბერს.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული მდივანი,  
ასოცირებული პროფესორი **ოცხელი ვალერი ნიკოლოზის ძე**

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა.** ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და პროგნოზირება სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის ერთ-ერთი შედეგია გაანგარიშების მეთოდების სიზუსტის მიმართ. მანქანა-დანადგარებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების ექსპლოატაციისას ადგილი აქვს სხვადასხვა სახის დაზიანებებს: ჩნდება ბზარები, კოროზიის შედეგად მცირდება მზიდი კვეთი. ეს და სხვა დეფექტები იწვევენ კონსტრუქციის მუშაობის უნარის დაქვეითებას ან რღვევას კატასტროფული შედეგებით. აქედან გამომდინარე საჭიროა სწორი დიაგნოზის დასმა კონსტრუქციის ვარგისიანობაზე და ავარიის პროგნოზირება კონტროლის საშუალებით.

ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკის ცენტრი სენსორებიდან მიღებულ ინფორმაციას უკეთებს ანალიზს, რომელთაც რეგულარული კავშირი აქვთ შესამოწმებელ ობიექტებთან. როგორც ბოლო წლების სტატისტიკამ აჩვენა, მიუხედავად მიღებული საგანგებო ზომებისა, მაინც იმატა კონსტრუქციების მთლიანობის დაკარგვის გამო გამოწვეულმა კატასტროფულმა მოვლენებმა, როგორც ხმელეთზე, ასევე წყალსა და ჰაერში, რასაც უდიდეს მატერიალურ ზარალთან ერთად ყველაზე მძიმე, გამოუსწორებელი შედეგი, ათასობით ადამიანის მსხვერპლი მოჰყვა. ამით აიხსნება, რომ საკონტროლო სისტემებზე მოთხოვნილება ყოველწლიურად სწრაფი ტემპით მატულობს და ადამიანის გრძნობითი ორგანოების შეცვლა გადამწოდით (სენსორებით), კონსტრუქციებისა და ტექნოლოგიური ხაზების უზრუნველყოფა ამ ტექნიკური საშუალებით, ამჟამად განიხილება, როგორც მანქანა-ენერგეტიკული და ინფორმაციულ-კომპიუტერული რევოლუციების შემდგომი ეტაპი.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულის გათვალისწინებით წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომი „ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და პროგნოზირება ავტომატური კონტროლის საშუალებით“ წარმოადგენს მეტად აქტუალურ პრობლემას. სწორედ ამ პრობლემების გადაწყვეტასა და რიცხვით რეალიზაციას ტექნიკის სხვადასხვა ამოცანების შემთხვევაში ეხება წინამდებარე ნაშრომი.

**ნაშრომის მიზანია** ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის ეფექტური სისტემის დამუშავება.

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:**

- განხილულია ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები, რღვევის გამომწვევი მიზეზები და დეფექტების კლასიფიკაცია;
- გაანალიზებულია ტექნიკური სისტემების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისა და რღვევის მექანიზმი;
- დამუშავებულია კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებები დიაგნოსტიკისა და პროგნოზირებისათვის.

**კვლევის პრაქტიკული ღირებულება.** ჩატარებული კომპლექსური კვლევებით მიღებულია შედეგი, რაც იძლევა ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და რღვევის პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის სისტემების შექმნის საშუალებას. ეს სისტემები ფართოდ შეიძლება იქნას გამოყენებული ავარიების პროგნოზირებისათვის მანქანა-დანადგარებში.

**ნაშრომის შედეგების რეალიზაცია.** დამუშავებული მეთოდიკა, ალგორითმი

და პროგრამა მიღებულია სხვადასხვა ორგანიზაციების მიერ გამოყენებისათვის. შესაბამისი აქტები თან ერთვის სადისერტაციო ნაშრომს.

**ძირითადი შედეგების საიმედოობას** განსაზღვრავს დასაბუთებული ვარიანტები, რომლებიც საფუძვლად დაედო ალგორითმს და დასტურდება გამოთვლის შეფასების სიზუსტით, აგრეთვე სხვადასხვა ავტორების მიერ მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგებთან დამთხვევით.

**ნაშრომის აპრობაცია** დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა:

- რესპუბლიკის ღია სამეცნიერო კონფერენციაზე „მშენებლობა და ოცდამეერთე საუკუნე“ (თბილისი, 2005 წ).
- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კონსტრუქციების დაზიანების ტექნიკური დიაგნოსტიკის კათედრის სამეცნიერო სემინარზე (თბილისი, 2005 წ).
- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თეორიული მექანიკის კათედრის სამეცნიერო სემინარზე (თბილისი 2005 წ)
- საქართველოს საავტომობილო-საგზაო ინსტიტუტის საიუბილეო წლისთავისადმი მიძღვნილ საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე (თბილისი 2005 წ)

– ქუთაისის ნიკო მუსხელიშვილის სახელობის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის გაფართოებულ სამეცნიერო სემინარზე (ქუთაისი, 2006 წ).

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო სტატია და 4 თეზისი.

**ნაშრომის მოცულობა:** დისერტაცია შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნების, გამოყენებული ლიტერატურის სიის და დანართისაგან. იგი მოიცავს 150 გვერდს, 57 ნახაზს, 29 გვერდი დანართია. ლიტერატურის ჩამონათვალში 139 დასახელებაა.

### **ნაშრომის შინაარსი**

ტექნიკური დიაგნოსტიკის დარგში თანამედროვე მოთხოვნები ისეთია, რომ ადრე გამოყენებული კლასიკური სქემები, რომლებიც დაფუძნებულია გამოკვლევის ანალიზურ მეთოდებზე და პროცესის ექსპერიმენტულ დახვეწაზე, უკვე აღარ შეიძლება ჩაითვალოს ძირითად სამეცნიერო ბაზად. ამჟამად დიაგნოსტიკის, კონტროლის და გამოთვლითი ტექნიკის მდგომარეობა ისეთია, რომ რთული არარეგულირებადი სისტემების გაანგარიშებისა და პროგნოზირების პრობლემები სისტემური ანალიზისა და სინთეზის ბაზის საშუალებით შეიძლება განხილულ იქნას არა ფრაგმენტულად, არამედ კომპლექსურად. ტექნიკური სისტემების და მოწყობილობების ფუნქციონირება განიხილება ერთობლივად, ექსპლუატაციის რეალურ პირობებში.

ეს მოითხოვს სამეცნიერო კვლევის ახალ მეთოდოლოგიას, რომელსაც საფუძვლად უდევს რღვევის მექანიკის, მათემატიკური მოდელირების, დიაგნოსტიკის კომპლექსური სისტემების და კომპიუტერებზე გამოთვლითი ექსპერიმენტების ყოველდღიური საანგარიშო პრაქტიკის ღრმად გაანალიზება. ეს მნიშვნელოვნად აფართოებს დიაგნოსტიკის ამოცანების გადაწყვეტის

შესაძლებლობებს. არსებითად კვლევის ტრადიციულ მეთოდებს, ანალიზურს და ექსპერიმენტულს ემატება ახალი მეთოდი მომიჯნავე მეცნიერებების მონაცემების სინთეზირების ფართო შესაძლებლობებით, დიაგნოსტიკის სისტემებით, მათემატიკური მოდულირებითა და რიცხვითი ექსპერიმენტებით კომპიუტერზე, რაც საშუალებას იძლევა მჭიდროდ დავაკავშიროთ ფიზიკური მოვლენები, არამრღვევი კონტროლის მეთოდები, კომპიუტერის შესაძლებლობები და პროგნოზირების მეთოდები.

ამ სამუშაოს თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ გაკეთებულია აქცენტი ავტომატური კონტროლის სისტემის შექმნით სენსორებიდან მიღებული სიგნალების საშუალებით მოხდეს ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და რღვევის პროგნოზირება, რაც თავიდან აგვაცილებს ავარიებს და კატასტროფებს.

**შესავალში** დასაბუთებულია სადისერტაციო თემის აქტუალობა, მისი მიზანი და მოყვანილია ნაშრომის მოკლე ანოტაცია.

**პირველ თავში** გაანალიზებულია ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკის და ავარიის პროგნოზირების პრობლემები და ამოცანები. განხილულია ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები, რღვევის გამომწვევი მიზეზები. გაკეთებულია დეფექტების კლასიფიკაცია, არსებული დიაგნოსტიკის და კონტროლის მეთოდების მიმოხილვა.

განასხვავებენ დეფექტების ოთხ სახეს:

1. წერტილოვანი დეფექტი. იგი წარმოიშობა, როცა მესრის რამდენიმე კვანძში არ არის ატომები, ან მესრის რომელიმე კვანძი შეიცავს განსხვავებული თვისების მატარებელ ატომს, ან ატომები განლაგებულია მესრის კვანძის გარეთ.
2. წრფივი დეფექტი. ამ დროს ხდება განაპირა ან ხრახნული დისლოკაცია.
3. ზედაპირული დეფექტი.
4. მოცულობითი დეფექტი. მაგალითად, ფორები ან ელემენტის შიგნით მეორე სხვა თვისებების ელემენტის მცირე ნაწილის არსებობა და ა.შ.

რღვევის მოვლენა რთული, მრავალსაფეხურიანი პროცესია, რომელიც ელემენტში მიმდინარეობს უფრო ადრე, ვიდრე წარმოიშობა ადამიანის თვალისთვის შესამჩნევი ბზარები. ბზარი მისი სიგრძის მიხედვით შეიძლება იცვლებოდეს რამდენიმე ანგსტრემიდან (ატომებს შორის მანძილი) რამდენიმე ასეულ მეტრამდე (მაგ. მაგისტრალურ გაზსადენში). რღვევის პროცესის შესასწავლად და ასახსნელად დამუშავებულია ბზარის მასშტაბური სკალა: ჩასახვის ბზარები ( $10^{-7}$ – $10^{-5}$ ), მიკრობზარები; მაკრობზარები და მაგისტრალური ბზარები. მასშტაბურ სკალაში მოცემული უბნისთვის ხდება შესაბამისი მათემატიკური მოდელის შექმნა და მასალის შინაგანი წყობის შესწავლა. ამასთან მხედველობაში მიიღება მასშტაბურ სკალაში ის სასაზღვრო პირობები, რომლებიც აღნიშნულ უბანს ესაზღვრება მარჯვნიდან და მარცხიდან.

რღვევის მექანიკაში ძირითადი ყურადღება კონცენტრირდება მაკრობზარების შესწავლაზე, რადგანაც კონსტრუქციების უმრავლესობაში მაკრობზარები რღვევის გამომწვევი მიზეზია.

დეფექტების აღმოჩენის და კონტროლისათვის დიდი განვითარება ჰპოვა არამრღვევი კონტროლის მეთოდებმა. მათი დახმარებით შესაძლებელია როგორც ზედაპირული, ასევე შიგა ფარული დეფექტების აღმოჩენა, მდებარეობის და

ზომების დადგენა.

პირველ თავში განხილულია კონსტრუქციების და ტექნიკური სისტემების დეფორმაციული პროცესების და რღვევის შესწავლის არამრღვევი კონტროლის მეთოდები.

მოცემულია პირველი თავის დასკვნები.

**მეორე თავში** წარმოდგენილია ტექნიკური სისტემების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის და რღვევის მექანიზმის ანალიზი. მასალებისა და კონსტრუქციის ელემენტის რღვევის პროცესი ყოველთვის მიმდინარეობს გარკვეული დროის განმავლობაში. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მასალების რეოლოგიური მახასიათებლები დამოკიდებულია მისი დეფორმაციის სიჩქარეზე, თვით რღვევა კი შეიძლება მიმდინარეობდეს სიმტკიცის ზღვარზე ნაკლები დაძაბულობისას, როცა დატვირთვის ქმედება გაწელილია დროში. მითითებულ შემთხვევაში რღვევის ჩვეულებრივი კრიტერიუმები ერთჯერადი სტატიკური დატვირთვისათვის უკვე არაკორექტულია და ამიტომ მასალების რღვევის მოდელების ფორმულირებაში უნდა იქნას გათვალისწინებული პროცესის დროის ეფექტები. ამ თავში გადმოცემულია მასალების რღვევისა და სიმტკიცის მექანიკის საანგარიშო მოდელები, რომლებიც ითვალისწინებენ დატვირთვის დამოკიდებულებას დროზე, აგრეთვე ამ შემთხვევაში ბზარების ჩასახვას და გავრცელების კინეტიკას. მოცემულია მეორე თავის დასკვნები.

რღვევის მექანიკაში გამოიკვეთა ორი მიდგომა ბზარების შენელებული ზრდის ანალიზისადმი. პირველში (მიკროსტრუქტურულში) მთავარი ყურადღება ექცევა მიკროდარღვევის კინეტიკას. რღვევის კინეტიკა გამოისახება ან ქიმიური კინეტიკის, ან სიმტკიცის კინეტიკური თეორიის განტოლებებით. ამასთან ითვლება, რომ რეოლოგიური თვისებები გამოვლინდება მხოლოდ ბზარის ზონაში, ხოლო ბზარის გარეთ მასალა დრეკადია. მეორე (ფენომენოლოგიურ) მიდგომაში დეფორმირებად სხეულში ბზარების ზრდის კინეტიკის შესწავლისას დატვირთვების ქმედების დროის გათვალისწინებით გამოიყენება მთლიანი გარემოს მექანიკის კონცეფცია და შემოდის დამატებითი მახასიათებლები მასალების წინააღმდეგობისა მასში ბზარების გავრცელებისადმი დროის ფაქტორის გათვალისწინებით. პოლიმერულ კომპოზიტურ მასალებში და ლითონებში მაღალ ტემპერატურაზე ნელი ზრდის მიზეზები ჩვეულებრივად მასალების ცოცვადობა და გაბნეულ დაზიანებათა დაგროვებაა.

ბზარების განვითარება მასალებში პირობითად შეიძლება გავყოთ სამ პერიოდად: საინკუბაციო (მოსამზადებელი), ნელი კვაზისტატიკური ზრდის და ბზარის დინამიური განვითარების. დისერტაციაში დაწვრილებითაა განხილული სამივე პერიოდი.

საინკუბაციო პერიოდის დროს ხდება ბზარის ნაპირების გახსნა მისი ზრდის გარეშე. ვოლტერის პრინციპის თანახმად ბზარის კონტურის განტოლება ბლანტდინებადი ფირფიტისათვის შეიძლება დაიწეროს:

$$\delta_1(x, t) = Z^* \delta_0(x, t) \quad (1)$$

სადაც:  $Z^*$  არის ბლანტდრეკადობის თეორიის ინტეგრალური ოპერატორია;

$\delta_0(x, t)$  – ძალოვანი და გეომეტრიული პარამეტრების ფუნქციაა.

სწორხაზოვანი ბზარისათვის უსასრულო ფირფიტაში, რომელიც იმყოფება თვითგამაწონასწორებელი დაძაბულობის  $\sigma(x, t)$  ზემოქმედების ქვეშ ამ ფუნქციას

აქვს სახე:

$$\delta_0(x, t) = - \int_{-a_1}^{a_1} q(\xi, t) \Gamma_0(a_1, x, \xi) d\xi \quad (2)$$

სადაც:  $a_1 = l + d_1$ ;

$$q(x, t) = \begin{cases} \sigma(x, t) & (|x| \leq l(t)) \\ \sigma(x, t) - \sigma_0(t) & (l(t) \leq x \leq a_1(t)) \end{cases} \quad (3)$$

მანქანათმშენებლობისათვის დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს მასალების რღვევის საკითხებს დარტყმითი (იმპულსური) დატვირთვისას, რამდენადაც მნიშვნელოვანი ამპლიტუდის ძალის მოულოდნელი მიღება პრაქტიკაში კონსტრუქციის ელემენტების რღვევის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მიზეზია. ამასთან, თანამედროვე ტექნიკის ბევრი კონსტრუქცია მუშაობს სწორედ ისეთ პირობებში, როცა მათი ელემენტების დარტყმითი დატვირთვა საექსპლოატაციო ნორმაა. ასეთი სახის კონსტრუქციათა პროექტირებისას უნდა ვიცოდეთ და გავითვალისწინოთ ბზარების მსგავსი დეფექტების დასაშვები ნორმა ყველაზე საპასუხისმგებლო დეტალებში მუშა დატვირთვების მოცემული სპექტრისათვის, აგრეთვე ბზარების დაწყებული ზრდის დამუხრუჭების კონსტრუქციული საშუალებები კონსტრუქციის დაშლის თავიდან ასაცილებლად.

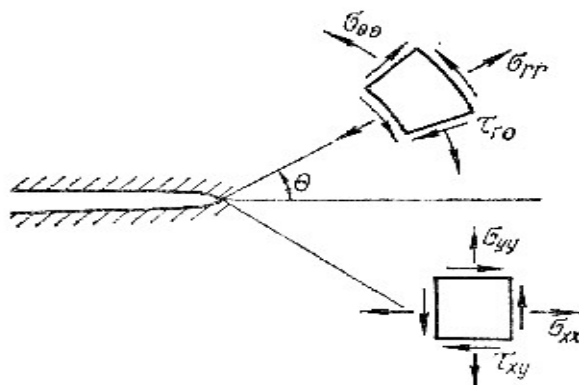
რღვევის დინამიური მექანიკა, მისადმი მზარდი ინტერესის მიუხედავად, ჯერ კიდევ შედარებით სუსტადაა განვითარებული და ხშირად ვერ იძლევა ამომწურავ პასუხებს კითხვებზე, რომლებსაც მის წინაშე თანამედროვე ტექნიკა სვამს. ამ მოვლენის მიზეზებია:

1. თეორიული მოდელების არასრულყოფილება და მათემატიკური სირთულეები, რომლებიც წარმოიშობა შესაბამისი განტოლებების ამოხსნის დროს.

2. რღვევის წინა ზონაში ბზარის წვეროსთან მიმდინარე ფიზიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირებისათვის ექპერიმენტალური მონაცემების არასაკმარისი მოცულობა. ამის გამო რღვევის დინამიური მექანიკის კრიტერიუმების შექმნის პროცესი ჯერ მხოლოდ იწყება. სადღეისოდ გამოყენებული კრიტერიუმები ძირითადად მიღებულია რღვევის სტატიკური მექანიკის კრიტერიუმების გადატანის და გარკვეული მოდიფიკაციის გზით მასალის დატვირთვის დინამიური პირობების მიმართ.

განხილულია დამაბულობის კომპონენტების ასიმპტოტური წარმოდგენა კოორდინატთა პოლარულ სისტემაში  $(r, \theta)$ , რომლებიც მოძრაობენ ბზარის წვერთან ერთად ორ განზომილებიან შემთხვევაში:

I და II ტიპის ბზარებისათვის (იხ. ნახ. 1)



ნახ. 1 მასალის ელემენტის დაძაბული მდგომარეობა მოძრავი ბზარის წვერთან პოლარულ და დეკარტეს კოორდინატთა სისტემაში.

Рис.1. Положение элемента материала в напряженном состоянии у вершины трещины в полярной системе координат и в системе Декарта.

$$\begin{aligned}\sigma_{xx}^I &= \frac{K_{II}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xx}^I(\theta, \nu) + \frac{K_{III}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xx}^{II}(\theta, \nu) + 0(1), \\ \sigma_{yy}^I &= \frac{K_{II}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yy}^I(\theta, \nu) + \frac{K_{III}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yy}^{II}(\theta, \nu) + 0(1), \\ \sigma_{zz}^I &= \frac{K_{II}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xy}^I(\theta, \nu) + \frac{K_{III}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xy}^{II}(\theta, \nu) + 0(1);\end{aligned}\tag{4}$$

III ტიპის ბზარებისათვის

$$\begin{aligned}\sigma_{xz}^I &= \frac{K_{III}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xz}^{III}(\theta, \nu) + 0(1), \\ \sigma_{yz}^I &= \frac{K_{III}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yz}^{III}(\theta, \nu) + 0(1),\end{aligned}\tag{5}$$

სადაც,  $K_{II}(t), K_{III}(t), K_{III}(t)$  ნორმალური წყვეტის დაძაბულობის ინტენსიურობის დინამიური კოეფიციენტებია, განივი და გრძივი ძვრების  $\sum_{xx}^I(\theta\nu), \sum_{xx}^{II}(\theta\nu), \sum_{xy}^I(\theta\nu), \sum_{xy}^{III}(\theta\nu), \sum_{yy}^I(\theta\nu), \sum_{yy}^{II}(\theta\nu)$  - ბზარის წვერის შემოგარენში დაძაბულობის კუთხური განაწილების ფუნქციებით;

$\nu$  - ბზარის მოძრაობის სიჩქარე,  $0(1) \ll 1/\sqrt{r}(r \rightarrow 0)$ .

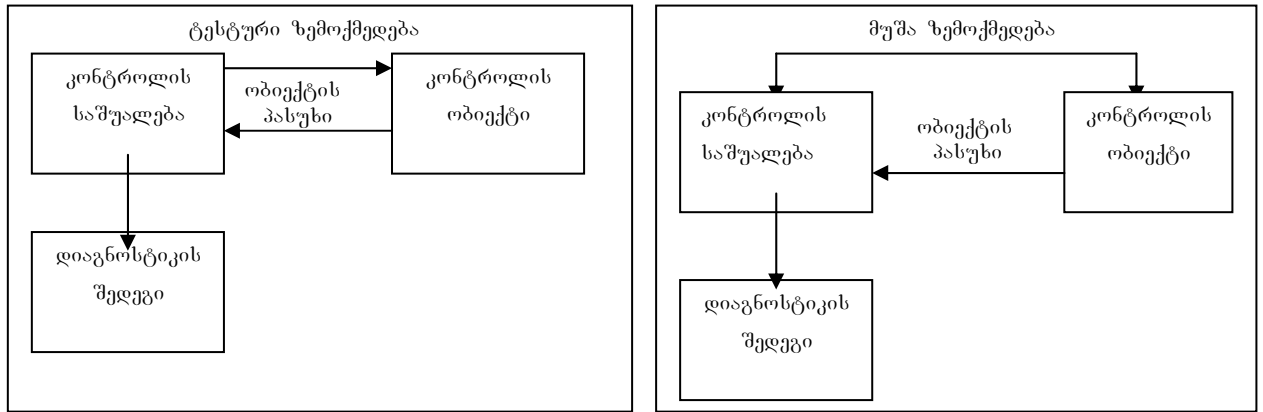
თუ ბზარის მოძრაობის სიჩქარე არ აღემატება მოცემული მასალისათვის რელეის ტალღების სიჩქარეს და სხეულის დეფორმაციის შინაგანი ენერგია საბოლოოა, მაშინ  $\nu \rightarrow 0$  დაძაბულობის კუთხურ განაწილებაზე გავლენას ახდენს მხოლოდ ჭრილის წვერის მოძრაობის მყისიერი სიჩქარის მნიშვნელობა მისი ცვლილების ხასიათიდან დამოუკიდებლად.

ჩამოყალიბებულია ლითონების დადლილობისაგან რღვევის ზოგადი კანონზომიერებანი და დადლილობისაგან ბზარების განვითარება. შესწავლილია დადლილობითი ბზარების ზრდის სიჩქარის კინეტიკური დამოკიდებულებები დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრებზე. მოცემულია მეორე თავის დასკვნები.

**მესამე თავში** დამუშავებულია ტექნიკური დიაგნოსტიკების მოდელი და მუშაუნარიანობის კონტროლის მეთოდები. ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნებად მიჩნეულია ობიექტის ხარისხობრივ და რაოდენობრივ თვისებათა განსაზღვრა. ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნები დამოკიდებული ფაქტიურ მნიშვნელობებთან შეიძლება იყოს: გამართულობა, შრომისუნარიანობა, გაუმართაობა, შრომისუნარობა (მტყუნება), სწორი და არასწორი ფუნქციონირება. განხილულია ტექნიკური დიაგნოსტიკის ორი სახე: ტექნიკური და ფუნქციონალური. პირველი ეს ისეთი დიაგნოსტიკებია, რომლის დროსაც ობიექტზე სისტემის კონტროლისთვის მიეწოდება სპეციალური ტესტური ზემოქმედებანი. (ნახ. 2) ფუნქციონალური ტექნიკური დიაგნოსტიკა ხორციელდება დანიშნულების მიხედვით ობიექტზე კონტროლის უშუალო გამოყენების პროცესში, როცა მას მიეწოდება მუშა ზემოქმედება გათვალისწინებული ობიექტის ფუნქციონირების



ალგორითმით. (ნახ.3)



ნახ. 2 ტესტური დიაგნოსტიკის სქემა

Рис.2 Схема тестового диагностирования

ნახ. 3 ფუნქციონალური დიაგნოსტიკის სქემა

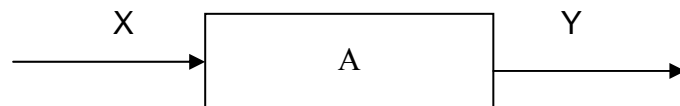
Рис.3. Схема функционального диагностирования

დამუშავებულია ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელის აგების და ანალიზის მეთოდები, პარამეტრების შერჩევის პრინციპები და დიაგნოსტიკის მაჩვენებლები.

დიაგნოსტიკის ობიექტისათვის მათემატიკურ მოდელად იწოდება დიაგნოსტიკის ობიექტის ფორმალური აღწერა და მისი ქცევა ყველა ტექნიკურ მდგომარეობაში. შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ანალიზები, ცხრილები, ვექტორული, გრაფიკული ან სხვა ფორმით და შეიძლება წარმოდგენა ცხადი ან არა ცხადი სახით.

ძირითადი მოთხოვნა მოდელებისადმი მდგომარეობს იმაში, რომ მათ საჭირო სიზუსტით უნდა აღწერონ დიაგნოსტიკის ობიექტის თვისება. დიაგნოსტიკის ობიექტი განიხილება, როგორც გარდამქმნელი ერთის მხრივ სიდიდეების (x), რომლებიც შეიყვანება ობიექტში, სხვა სიდიდეში (y), რომლებიც წარმოადგენს ობიექტის რეაქციებს. შემავალი და გამავალი სიდიდეების შესაბამისობა მყარდება ობიექტის დიაგნოსტიკის ოპერატორით. რეალური ობიექტის მუშაობის აღწერა შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც  $y=AX$ , სადაც x და y შესაბამისად არის შემავალი და გამომავალი სიდიდეების ვექტორები, A – ობიექტის ოპერატორია.

გამოსახულება (1) გამოსახავს, რომ შემავალი სიდიდეები x ობიექტის ოპერატორისგან A განიცდიან გარდაქმნას და შედეგად გამომავალი სიდიდეები ტოლია Y-ის (ნახ.4).



ნახ. 4 ობიექტის დიაგნოსტიკის სტრუქტურული სქემა.

Рис.4. Структурная схема диагностирования объекта.

საკვლევი ობიექტის დიაგნოსტიკის მოდელის ხარისხისათვის გამოიყენება ოპერატორი A, რომლის პარამეტრებიც იმყოფება დასაშვები მნიშვნელობის არეში. თუ ერთი პარამეტრი მაინც გადის მოცემული დასაშვები

მნიშვნელობების არის გარეთ, მაშინ დიაგნოსტიკის ობიექტი ითვლება გაუმართავად. ნავარაუდებია, რომ ოპერატორ  $A$ -ს მიერ დახასიათებულ დიაგნოსტიკის ობიექტს აქვს მტყუნების სიმრავლე  $K$ . მტყუნების არსებობისას  $K_i \in k$ ,  $i = (1, K)$  ერთი ან რამდენიმე პარამეტრიც გადის  $A$  ოპერატორის დასაშვები მნიშვნელობების არის გარეთ. მაშინ ობიექტის დიაგნოსტიკის მოდელი მტყუნებით  $KK_i$  იქნება:

$$Y^{(i)} = A^{(i)}x \quad (6)$$

სადაც  $A^{(i)}$  – ობიექტის დიაგნოსტიკის ოპერატორია მტყუნებით  $K_i$ .

თუ შესაძლებელია (2) ტიპის გამოსახულების ერთობლიობის მიღება ყველა მტყუნებისათვის  $K_i \in k$ ,  $i = (1, K)$ , ეს ერთობლიობა (1) გამოსახულებასთან ერთად ქმნის ობიექტის დიაგნოსტიკის ცხად მოდელს. ოპერატორი წარმოადგენს ნებისმიერი თავისუფალი ობიექტის საკმარისად საერთო მახასიათებელს. ოპერატორის კონკრეტული ფორმის შერჩევა დამოკიდებულია ობიექტის ფიზიკური თვისებების აღწერაზე, განისაზღვრება დიაგნოსტიკის ამოცანის პირობებით და მიღებული მეთოდების გადაწყვეტით.

დისერტაციაში  $A$  ოპერატორის სახეებიდან გამომდინარე საკვლევი ობიექტები დაყოფილია შემდეგ კლასებად: ობიექტი, რომელსაც აქვს ოპერატორი, რომელიც გარდაქმნის შემავალი სიდიდეების ერთობლიობას. თუ შემავალი სიდიდეების მნიშვნელობები მოცემულია დისკრეტული სიმრავლეებით, ხოლო ობიექტის ოპერატორი გარდაქმნის მას გამავალი სიდიდეების მნიშვნელობებად სასრულ სიმრავლეებში, მაშინ ობიექტი წარმოადგენს ჰიბრიდულს.

დიაგნოსტიკის ობიექტს გააჩნია საკონტროლო წერტილები, რომლებიც არა მარტო  $x$  ზემოქმედებას და  $y$  რეაქციას ადევნებენ თვალყურს, არამედ შიგა კოორდინატებს, ცალკეულ დამაკავშირებელ შესასვლელ გამოსახულებებზე. ყოველი ელემენტარული შემოწმება  $\Pi_j$  ხასიათდება ობიექტის ან მისი ელემენტის ზემოქმედების მნიშვნელობებით  $X_i$  და რეაქციით  $R_j$ , მაშინ რეაქცია ელემენტარულ შემოწმებაზე  $\Pi_j$  დამოკიდებული  $i$ -ურ ტექნიკურ მდგომარეობაზე ტოლია:

$$R_j^{(i)} = A_j^{(i)} \dot{X} \quad (7)$$

სადაც  $A_j^{(i)}$  დიაგნოსტიკის ან მისი (i) ელემენტის ოპერატორია მტყუნებით  $R_j$ , დაკავებული შემოწმებით  $\Pi_j$

გამართული ობიექტისათვის

$$R_j = A_j(\Pi_j) \quad (8)$$

ობიექტის მტყუნებით

$$R_j R_j^{(i)} = A_j^{(i)}(\Pi_j) \quad (9)$$

თუ (8) და (9) გამოსახულებები  $\Pi$  სიმრავლიდან და მტყუნებათა  $K$  სიმრავლიდან გამოიყენება შემოწმებათა ყველა ერთობლიობისათვის, მაშინ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ მოცემულია დიაგნოსტიკის ცხადი მოდელი. თუ არის დამოკიდებულება (8) და წესი, რომელიც იძლევა საშუალებას სიმრავლეებიდან მივიღოთ ერთობლიობა (9) გამოსახულებისა ამბობენ, რომ მოცემულია არაცხადი მოდელი.

ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკის ამოცანების გადასაწყვეტად, ჩვენი აზრით, ლოგიკური მოდელების გამოყენება უპირატესია მათი აგებისა და

ანალიზის უბრალოებით. საწყის ინფორმაციად, რის საფუძველზე იგება ლოგიკური მოდელი, შეიძლება მივიღოთ: მიზეზ-შედეგობრივი კავშირები საკვლევ ობიექტის პარამეტრებისა; ფუნქციონალური და პრინციპიალური სქემები; ალგებრული და დიფერენციალური განტოლებები, რომლებიც აკავშირებს საკვლევ ობიექტში შემავალ და გამავალ ფუნქციებს.

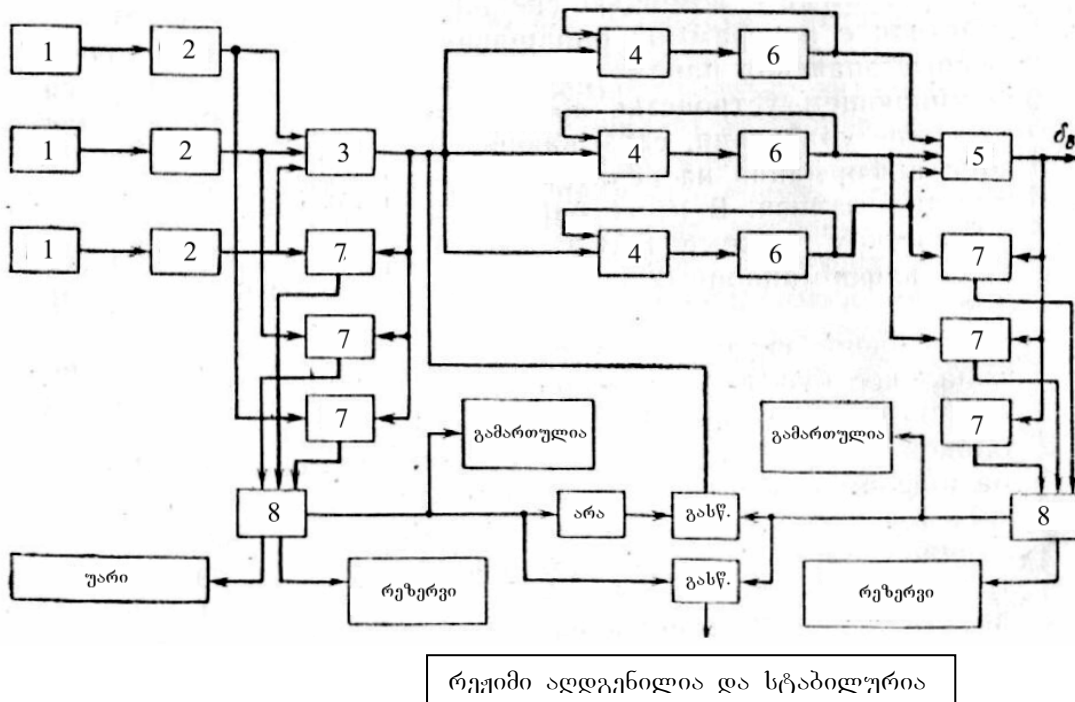
**მეოთხე თავში** დამუშავებულია კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები დიაგნოსტიკებისა და პროგნოზირებისათვის გაკეთებულია კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების კლასიფიკაცია. ძირითადი ნიშნები, რომლითაც მოხდა კლასიფიკაცია, არის შემდეგი განლაგების ადგილი, ტექნიკური სისტემის დანიშნულება ექსპლოატაციისას, გადასაჭრელი ამოცანების ხასიათი, ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის რეჟიმი, ინფორმაციის შეგროვებისა და გადამუშავების წესი, ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის წარდგენის წესი.

კონტროლის ჩადგმული სისტემები საშუალებას იძლევიან ავამაღლოთ ტექნიკური სისტემების მუშაობის საიმედოობა და ვუზრუნველყოთ მუშაობის უსაფრთხოების აუცილებელი დონე ექსპლოატაციის ყველა ეტაპზე. კონტროლის ჩადგმული სისტემა მუშაობს საკონტროლო სისტემების ფუნქციონირების მთელი დროის მანძილზე. ის იძლევა ინფორმაციას დაზიანების შესახებ, რომელიც გამოიყენება მათი მოძებნისა და ლოკალიზაციის ამოცანების გადასაჭრელად კონსტრუქციულად ექსპლოატაციის წინა შემოწმების ეტაპზე.

დაზიანების ინდიკაცია, რომელსაც იძლევა კონტროლის ჩადგმული სისტემა, გამოიყენება მომსახურე პერსონალის მიერ ექსპლოატაციის დროს გადაწყვეტილების მისაღებად დავალების შესრულების შესაძლებლობის შესახებ.

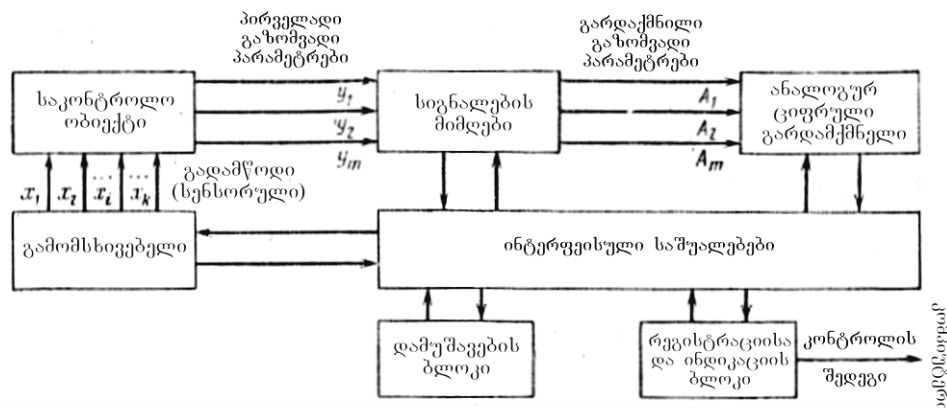
კონტროლის ჩადგმული სისტემის მოწყობის პრინციპი დაფუძნებულია შემდეგი თანმიმდევრული ოპერაციების შესრულებაზე: ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის პარამეტრების გაზომვა და მათი კრიტიკული მნიშვნელობის განსაზღვრა; სიგნალების ლოგიკური ანალიზი, რომლის შედეგად ფიქსირდება კონტროლის ობიექტის მუშაობის უნარი და დაზიანება; სიგნალების მიწოდება დაზიანებული მოწყობილობების გამორთვის და მათ ნაცვლად სარეზერვო ჩართვის შესახებ, თუ ასეთი გათვალისწინებულია საკონტროლოებელ სისტემაში; სიგნალის მიცემა დაზიანების შესახებ.

კონტროლის ჩადგმული სისტემის მაგალითის სახით, სადაც რეალიზებულია ჩამოთვლილი ოპერაციები, განხილულია მართვის სამარხიანი ავტომატური სისტემა, რომელიც მუშაობს სტაბილიზაციის ავტომატურ რეჟიმში (ნახ.5)



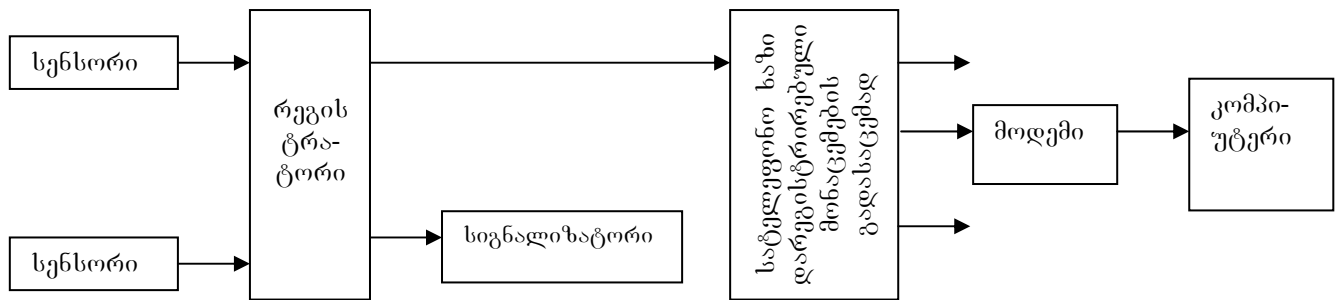
ნახ.5 მართვის სამარხიანი ავტომატური სისტემა  
 Рис.5 Трехканальная автоматическая система управления

დისეტრტაციაში დამუშავებულია კონტროლის ავტომატური სისტემის სტრუქტურული სქემა (ნახ.6), რომელიც შედგება: კონტროლის ობიექტთან მიერთების აპარატურისაგან (პირველადი გამზომი გარდამქმნელები, ადაპტორები, კომპუტატორები); ციფრული გამზომი ხელსაწყოებისაგან (ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელები); ინტერფეისული საშუალებებისაგან (კომპიუტერები, მიკროპროცესორები), პროგრამულ-ლოგიკური მოწყობილობები რეგისტრაციისა და ინდიკაციის აპარატურისაგან (ციფრომბეჭდავი მოწყობილობა, გრაფომწყობები, დამგროვებლები, დისპლეები, ტაბლო).



ნახ.6 კონტროლის ავტომატური სისტემის სქემა  
 Рис.6. Схема автоматической системы контроля

აგრეთვე დამუშავებულია ავტონომიური მიკროპროცესორული რეგისტრატორების ბაზაზე მოწყობის ავტომატიზირებული სისტემა, რომლის ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახ.7-ზე.



ნახ.7. ავტონომიური მიკროპროცესორული რეგისტრატორების ბაზაზე მოწყობის ავტომატიზირებული სისტემის ბლოკ-სქემა  
 Рис.7. Блок-схема автоматизированной системы устройства на базе автономных микропроцессорных регистраторов

რეგისტრატორი შესრულებულია ერთკრისტალური მიკროკონტროლიორის ბაზაზე, რომელიც მუშაობს საკუთარი ავტონომიური პროგრამის ხელმძღვანელობით და ასრულებს შემდეგ ფუნქციებს: გადამწოდებიდან მიღებული სიგნალების ანალოგიური სიგნალის რეგისტრაციის ალგორითმი გადასცემს ციფრული სახით ნახევარგამტარულ დასამახსოვრებელ მოწყობილობაში; დისერტაციაში წარმოდგენილია კონტროლის ავტომატური სისტემების გამოყენების მაგალითები, სადაც გამოჩნდა დამუშავებული სისტემების მოწყობილობა და პრაქტიკული რეალიზაციის მაღალი დონე.

### ძირითადი დასკვნები

1. შესწავლილია ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები, გაკეთებულია მათი კლასიფიკაცია, განხილულია ტექნიკურ სისტემებში პირველი ბზარებისა და დაზიანებათა დაგროვების პროცესის აღმოჩენის თანამედროვე ექსპერიმენტული მეთოდები.
2. დამტკიცდა, რომ მასალების რეოლოგიური მახასიათებლები დამოკიდებულია მისი დეფორმაციის სიჩქარეზე, თვით რღვევა კი შეიძლება მიმდინარეობდეს სიმტკიცის ზღვარზე ნაკლები დამაბულობისას, როცა დატვირთვისას ქმედება გაწეულია დროში.
3. თეორიულად შესწავლილია ბზარების გავრცელების მექანიზმი ხაზობრივ ბლანტდრეკად გარემოში ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას, ბზარის ზრდის მექანიკა, რეალურ მასალებში ნორმალური გახლეჩის ბზარებისთვის პლასტიკური დინების ლოკალიზაციის ეფექტი უნდა იყოს უფრო ძლიერი, რამდენადაც ბზარის სიჩქარე იწვევს მის წვერთან მასალის დეფორმირების სიჩქარის გაზრდას, რასაც თავის მხრივ მივყავართ პლასტიკურობის ზღვრის ამალღებისაკენ.
4. ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნებად მიჩნეულია ობიექტის ხარისხობრივ და რაოდენობრივ თვისებათა განსაზღვრა, დამუშავებულია ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელის აგების და ანალიზის მეთოდები, პარამეტრების შერჩევის პრინციპები და დიაგნოსტიკის მარკენებლები.
5. შემოთავაზებულია კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების

- კლასიფიკაცია და კლასიფიკაციის ძირითადი ნიშნები.
6. დამუშავებულია კონტროლის ლოგიკური და მაკოდირებელი მოწყობილობების სტრუქტურული სქემები, იმპულსის კადრში ჩაწერის განლაგების სქემა, ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის პირობებში კონტროლის ავტომატური სისტემის უნიკალური სქემა და ავარიების პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის ბლოკ-სქემები.
  7. განსაზღვრულია კონტროლის სისტემის ხარისხი და განხილულია კონტროლის ავტომატური სისტემების გამოყენების მაგალითები.

**სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ  
სამეცნიერო შრომებში:**

1. ვანიშვილი ნ., ქოჩიაშვილი თ., ლეჟავა გ. მართკუთხა ჭრილით დასუსტებული დამრეცი გარსისა და ფირფიტის ანგარიში გადაადგილებებში. გამოყენებითი მექანიკის პრობლემები სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი №2(15). - თბილისი, 2004, - გვ. 100-106 (რუსულ ენაზე).
2. თოდუა მ., ქოჩიაშვილი თ., დოლიძე ვ. ჩამაგრებული გრძივი და განივი გვერდებიანი ერთგვაროვანი ფირფიტის მდგრადობა ერთღერძიანი კუმშვისას. საავტომობილო-საგზაო ინსტიტუტის შრომები №2. – თბილისი, 2005, -გვ. 160-161 (რუსულ ენაზე).
3. ქოჩიაშვილი თ.. სხვადასხვა სახის დატვირთვებისას დიაგნოსტიკის მიზნებისათვის ფიზიკური მეთოდების გამოყენება. საავტომობილო-საგზაო ინსტიტუტის შრომები №2. – თბილისი, 2005, -გვ. 122-126 (რუსულ ენაზე).
4. ქოჩიაშვილი თ., თოდუა მ., წურწუშია რ. კონტურზე დაყრდნობილი სამფენოვანი ფირფიტის საკუთარი არაწრფივი რხევების გამოკვლევა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები №1(447), თბილისი, 2003, - გვ.102-105 (რუსულ ენაზე)..
5. წიქარიშვილი მ., ლალუნდარიძე გ., წაქაძე ა., ქონიაშვილი პ., ქოჩიაშვილი თ. ექსტრემალურ პირობებში ავარიების პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის სისტემების დამუშავება. სამეცნიერო- ტექნიკური ჟურნალი «ენერჯია» №1 (37), თბილისი, 2006, - გვ. 53-57. (ქართულ ენაზე).
6. წიქარიშვილი მ., ქოჩიაშვილი თ. მექანიკური სისტემებისა და მუშაობისუნარიანობის დიაგნოსტიკის შეფასება. მექანიკის პრობლემები სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი №3(20). - თბილისი, 2006, - გვ. 103-105 (რუსულ ენაზე).