

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მირიან კუბლაშვილი

მექანიკის ზოგიერთი ამოცანის რიცხვითი ამოხსნა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „მშენებლობა“, შიფრი 0406

თბილისი

2017 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

ხელმძღვანელი: ასოც. პროფ. ზაზა სანიკიძე

რეგენზენტები: პროფ. ზუბიკო ნაცვლიშვილი

ასოც. პროფ. კონსტანტინე ჩხიკვაძე

დაცვა შედგება 2017 წლის 23 თებერვალს, 14 საათზე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის

სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,

კორპუსი I, აუდიტორია 227.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი, პროფესორი დემურ ტაბატაძე

## ნაშრომის რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ზოგიერთი სახის საინჟინრო ამოცანის რიცხვით ამოხსნასთან დაკავშირებული საკითხები, იმ პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი შემთხვევისთვის, როდესაც შესაბამის სამშენებლო კონსტრუქციებსა თუ მექანიკურ დეტალებზე, მათზე გარკვეული ძალების ზემოქმედების შედეგად, წარმოქმნილია ბზარის ტიპის რღვევების გავრცელების მიდამოები.

ნაშრომში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ერთმანეთში ჩადგმული, თითქმის ტოლი რადიუსების მქონე ორი წრიული დრეკადი ცილინდრის ურთიერთქმედების ამოცანას და მის მიახლოებით ამოხსნასთან დაკავშირებულ საკითხებს იმ შემთხვევისთვის, როდესაც კონტაქტში მონაწილე სხეულებს ზედაპირებზე გააჩნიათ სხვადასხვა კონფიგურაციის ბზარები.

აღნიშნული ამოცანა, საზოგადოდ ბზარებით არამესუსტებულ შემთხვევაში, განეკუთვნება საინჟინრო მექანიკის მნიშვნელოვან საკონტაქტო ამოცანათა რიცხვს და არსებითი გამოყენება აქვს მანქანათმშენებლობაში, კერძოდ, სრიალის საკისრების თეორიასა და შესაბამისად იმ დეტალებისა და კონსტრუქციების გათვლებში, რომლებიც აღნიშნული ტიპის მექანიზმების გამოყენებას ეფუძნებიან. მაგალითად, ტრიბოტექნიკაში სრიალის საკისარი, როგორც უმნიშვნელოვანესი დეტალი, მონაწილეობს თითქმის ყველა ტიპისა და ფუნქციონალური დანიშნულების მანქანურ დანადგარებსა და მოწყობილობებში, მათ შორის ძრავებში, ტურბინებში, ტუმბოებში, კომპრესორებში და ა.შ.

დისერტაციაში განხილული ბზარებიანი სრიალის საკისრების დეფორმაციის ამოცანისათვის, რომელიც ასეთი დასმით პირველად არის განხილული საინჟინრო პრაქტიკაში, შერჩეული იქნა მისი რიცხვითი ამოხსნის კომპლექსური მეთოდიკა, რაც გულისხმობს, ერთის მხრივ, დეფორმაციისას შეუღლებული დეტალების კონტაქტის არეში აღძრული სამიებული ძაბვების გამოთვლისთვის სპეციალური სააპროქსიმაციო ფორმულების გამოყენებას. რაც შეეხება ძაბვების განაწილების შესწავლას ბზარების გავრცელების მიდამოებში, ამისათვის გამოიყენება სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა მეთოდი.

ნაშრომში აგებული ახალი რიცხვითი სქემების საფუძველზე, რომელიც გამოირჩევა რეალიზაციის სიმარტივით, შექმნილია გამოთვლითი პროგრამული პაკეტი, რომლის გამოყენებითაც შესაძლოა ამოიხსნას საინჟინრო მექანიკის მნიშვნელოვანი პრაქტიკული ამოცანები.

## ნაშრომის მოკლე დახასიათება

### პრობლემის აღწერა და აქტუალობა.

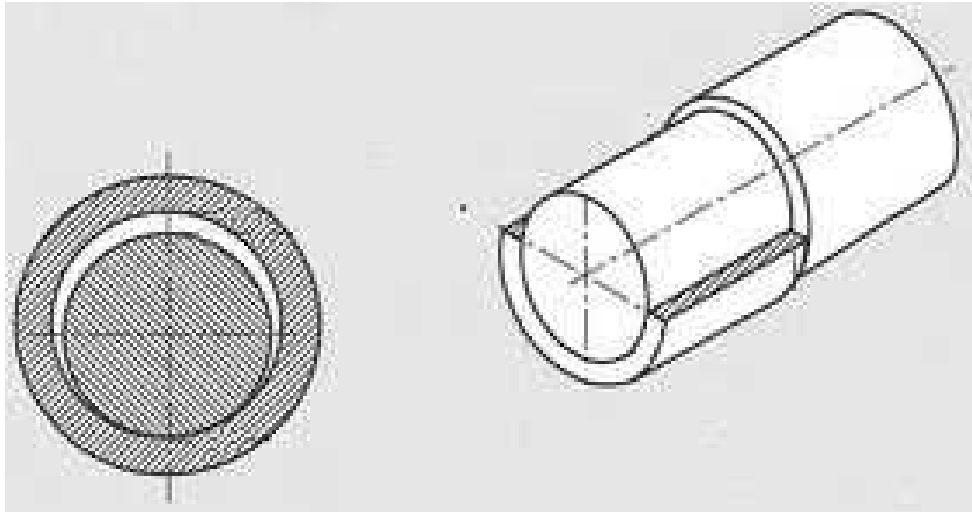
სადისერტაციო ნაშრომში განხორციელებული კვლევები მიზნად ისახავს რიცხვითი ამოხსნის მეთოდების დამუშავებას და სათანადო გამოთვლითი პროგრამული პაკეტის შექმნას საინჟინრო მექანიკის პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი ამოცანების ამოხსნისთვის.

კვლევის ძირითადი ნაწილი შეეხება სამშენებლო მექანიკის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულების, მანქანათმშენებლობის გარკვეული საკონტაქტო ამოცანის მათემატიკურ წარმოდგენას, ანალიზსა და გამოთვლითი მეთოდების დამუშავებას მისი რიცხვითი ამოხსნისთვის.

საზოგადოდ, საკონტაქტო ამოცანები საკმაოდ მრავალფეროვანია და მათთან შეხება გვიხდება სამშენებლო კონსტრუქციების, საინჟინრო დეტალებისა თუ მექანიზმების გათვლებისას, რაც ბუნებრივია მეტყველებს ასეთი ამოცანების დიდ პრაქტიკულ მნიშვნელობაზე.

შესაბამისად, შემთხვევითი არ არის, რომ ასეთი ტიპის ამოცანების შესწავლას ეძღვნება არაერთი ცნობილი მკვლევარის მონოგრაფია თუ ცალკეული სამეცნიერო სტატია(იხ. მაგ., [1-9]). ეს განპირობებულია ამ სახის ამოცანათა არამარტო პრაქტიკული, არამედ თეორიული მნიშვნელობითაც, ვინაიდან სპეციფიური მექანიკური ხასიათიდან გამომდინარე ისინი დაკავშირებული არიან მნიშვნელოვანი სირთულის მქონე მათემატიკური ამოცანების ჩამოყალიბებასა და შესწავლასთან. მათი ამოხსნა თავის მხრივ მოითხოვს არასტანდარტული გამოთვლითი სქემების აგებასა და რეალიზაციას [10-13].

კონკრეტულად ჩვენს შემთხვევაში განხილულია საკონტაქტო ამოცანა ერთმანეთში ჩადგმული, თითქმის ტოლი რადიუსების მქონე ცილინდრების დეფორმაციის შესახებ.



სხვა პრაქტიკულ გამოყენებებთან ერთად იგი მჭიდროდ არის დაკავშირებული მნიშვნელოვანი საინჟინრო დეტალის, სრიალის საკისრის გათვლებთან, რომელსაც თავის მხრივ ფართო გამოყენება გააჩნია მრავალი ტიპისა და ფუნქციონალური დანიშნულების მექანიზმში, კონსტრუქციასა თუ მოწყობილობაში, მათ შორის ძრავებში, ტურბინებში, ტუმბოებში, კომპრესორებში და სხვა მანქანურ დანადგარებში.



ნაშრომში განხილული პრობლემატიკის ირგვლივ არსებობს არსებითი საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია საკონტაქტო სხეულების გარკვეულ სტრუქტურულ-კონფიგურაციულ ცვლილებებთან და მოითხოვს ძირეულ მეცნიერულ კვლევებსა და პრაქტიკულ გადაწყვეტას. მაგალითად, რეალურ მასალებში ყოველთვის არსებობს მიკროდეფექტები, რომელთა განვითარება დეფორმაციის პირობებში წარმოშობს სხეულის ლოკალური ან სრული რღვევის საშიშროებას. მექანიზმის გამართულ მუშაობასა და სიმტკიცეზე არანაკლებ ნეგატიურ გავლენას ახდენს მისი შემადგენელი დეტალების ცვეთის ფაქტორიც.

აღწერილი სიტუაციები, მათი პრაქტიკული მნიშვნელობიდან გამომდინარე, აუცილებელ შესწავლას მოითხოვს და შესაძლოა მიგვიყვანოს არც თუ ისე იოლად გადასაწყვეტ მექანიკურ თუ მათემატიკურ პრობლემებთან. კერძოდ, ჩვენს შემთხვევაშიც, განსახილავი ამოცანა მნიშვნელოვნად რთულდება, როდესაც შესაბამისი საინჟინრო მოწყობილობის ნაწილებს, ანუ კონტაქტში მონაწილე ცილინდრულ ზედაპირებს, გააჩნიათ რღვევის (ბზარების) გავრცელების მიდამოები.

საზოგადოდ, ნაგებობისა და კონსტრუქციის ელემენტების მდგრადობაზე გაანგარიშებისას ბზარების გასწვრივ ძაბვების განაწილების განსაზღვრა, შემდგომი რღვევის ლოკალიზების შესაძლებლობის დაზუსტების მიზნით, ბუნებრივია, საკმარისად აქტუალურია და სამშენებლო მექანიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საკითხად მოიაზრება [14-24].

ნაშრომში ჩატარებული კვლევები, აღნიშნულ საკონტაქტო ამოცანასთან ერთად, მოიცავს მიახლოებითი ამოხსნის მეთოდების დამუშავებას და გამოყენებას სამშენებლო მექანიკის იმ ამოცანებისთვისაც, რომელიც შეეხება ბზარებით შესუსტებული კონსტრუქციებისა და ნაგებობების გაანგარიშებასა და გათვლას.

## კვლევის ობიექტი და მეთოდები.

სადისერტაციო ნაშრომით გათვალისწინებული კვლევების ძირითად ობიექტს წარმოადგენს საინჟინრო მექანიკის და დრეკადობის თეორიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკონტაქტო ამოცანა, სადაც განხილულია ერთმანეთში ჩადგმული, მახლობელრადიუსებიანი წრიული დრეკადი ცილინდრების დეფორმაცია იმ შემთხვევაში, როცა შეუღლებულ სხეულებს ზედაპირზე გააჩნიათ ბზარის ტიპის ჭრილები.

შესწავლილია სუსტი და ძლიერი სინგულარობის შემცველი ინტეგრალური განტოლებები, რომლებიც შესაბამისად წარმოადგენენ კონტაქტის არესა და ბზარების გავრცელების მიდამოებში არსებული ძაბვების განაწილების მათემატიკურ მოდელს.

აღნიშნული განტოლებების რიცხვითი ამოხსნისთვის გამოყენებულია სათანადო კვადრატურული ფორმულების გარდაქმნისა და მოდიფიცირების შედეგად მიღებული ახალი გამოთვლითი სქემები. ამასთან, დეფორმაციისას საკონტაქტო არეში აღძრული ძაბვების საძიებელი სუსტი განსაკუთრებულობის მქონე ინტეგრალური განტოლების მიახლოებითი ამოხსნა დაფუძნებულია შესაბამისი ფუნქციის ჩებიშევის პოლინომებით მიახლოებაზე, ხოლო ბზარის მიდამოში განხილული კოშის ტიპის ინტეგრალები ექვემდებარებიან უშუალოდ სინგულარული ოპერატორის აპროქსიმაციას.

ასეთ მიდგომაზე დამყარებული ალგორითმი მნიშვნელოვნად აადვილებს ამოცანის ამოხსნის პროცესს და მარტივი გამოსაყენებელია საინჟინრო გამოთვლებისას.

### მეცნიერული სიახლე.

მეცნიერული სიახლის თვალსაზრისით ინტერესს იწვევს ის შედეგები, რაც უკავშირდება ნაშრომში განხილული განტოლებების რიცხვით ამოხსნებს. კერძოდ, ბზარების გასწვრივ მოქმედი დატვირთვების შესაბამისი სინგულარული ინტეგრალური განტოლებებისათვის აგებულია ახალი, უშუალოდ სინგულარული ოპერატორის აპროქსიმაციაზე დაფუძნებული სქემები, რაც მნიშვნელოვნად აადვილებს მათი რიცხვითი რეალიზაციის პროცესს. უშუალოდ კონტაქტის არეში მოქმედი დატვირთვებისას განხილული განტოლებებისათვის ასევე მიღებულია გამარტივებული კვადრატურული ფორმულები ურთიერთქმედი სხეულების სხვადასხვა დრეკადი მახასიათებლების შემთხვევაში, რის საფუძველზეც დაზუსტებულია კონტაქტის არეში ძაბვების განაწილების არსებული სურათი.

### პრაქტიკული მნიშვნელობა.

დისერტაციაში განხილული ამოცანა უკავშირდება იმ საინჟინრო დეტალების, კონსტრუქციებისა და მექანიზმების გათვლებს, რომელთაც ფართო პრაქტიკული გამოყენება გააჩნიათ სამშენებლო მექანიკაში, კერძოდ, მანქანათმშენებლობაში.

ნაშრომში განხილული ახალი, საინჟინრო გამოთვლების თვალსაზრისით იოლად გამოსაყენებელი რიცხვითი სქემების გამოყენებით დამუშავებული ალგორითმების საფუძველზე, შექმნილია გამოთვლითი პროგრამული პაკეტი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ამოვხსნათ საინჟინრო მექანიკის მნიშვნელოვანი პრაქტიკული ამოცანები.



### სამუშაოს აპრობაცია.

კვლევის შედეგები განხილული იქნა შემდეგ სამეცნიერო კონფერენციებზე და სემინარებზე:

1. სამშენებლო მექანიკის ერთი საკონტაქტო ამოცანის რიცხვითი მეთოდის ალგორითმის დამუშავება სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა მეთოდის გამოყენებით. სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2016.
2. სრიალის საკისარის ერთი მათემატიკური მოდელი და მისი რიცხვითი რეალიზაცია. სტუდენტთა 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2014.
3. კოლინეარული ბზარების რიცხვითი ამოხსნის შესახებ. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია "21-ე საუკუნის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები". საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2012.
4. მექანიკის ერთი საკონტაქტო ამოცანის რიცხვითი ამოხსნის შესახებ. სტუდენტთა მე-80 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2012.
5. პირველი გვარის სინგულარული ინტეგრალური განტოლების რიცხვითი ამოხსნის შესახებ. საერთაშორისო კონფერენცია "ინფორმაციული და გამოთვლითი ტექნოლოგიები". საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2010.

**დისერტაციის მასალებზე მომზადდა და გამოქვეყნდა ნაშრომები:**

1. Kublashvili M.D., Kublashvili M.M., Numerical solution of singular integral equation with opened Contour in the nonzero index case, Scientific-technical journal "Building", 3 (18), 2010.
2. Kublashvili M.D., Kublashvili M.M., On numerical solution of the first kind singular integral equation, Proceedings of the International Scientific Conference "Information and Computer Technologies, Modelling, Control", GTU, Tbilisi, 2011.

3. Kublashvili M.D., Filfani N., Kapanadze Z., Kublashvili M.M., Numerical Solution of the Crack Problem on the Circular Disc, Scientific-Technical Journal "Building", 4(27), 2012.
4. მ. დ. კუბლაშვილი, თ. მალრაძე, მ.მ. კუბლაშვილი. კოლინეარული ბზარების რიცხვითი ამოხსნის შესახებ. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის "21-ე საუკუნის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები" შრომები, თბილისი, სტუ, 2012.
5. მ. დ. კუბლაშვილი, თ.დ. კვაჭაძე, მ.მ. კუბლაშვილი. ბზარების ზოგიერთი ბრტყელი ამოცანის რიცხვითი ამოხსნები მაღალი რიგის სიზუსტით. სტუ-ს შრომები, N1 (467), 2008, გვ. 9-11.

#### სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავის, ძირითადი დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისგან. ნაშრომის მთლიანი მოცულობა შეადგენს 101 გვერდს.

## ნაშრომის მოკლე შინაარსი

ნაშრომის შესავალი ნაწილი ძირითადად საინფორმაციო ხასიათისაა. მასში აღწერილია დისერტაციაში განხილული პრობლემატიკის აქტუალობა, ამოცანის დასმა, კვლევის ძირითადი ობიექტები, გამოყენებული მეთოდის სიახლე და ეფექტურობა, მიღებული შედეგების სამეცნიერო და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

**პირველ თავში** განხილულია თემის ძირითად საკვლევ ობიექტთან - საინჟინრო მექანიკის კონკრეტული საკონტაქტო ამოცანის შესაბამის, სუსტი სინგულარობის შემცველ ინტეგრალური განტოლებასთან და მის რიცხვით ამოხსნასთან დაკავშირებული საკითხები.

ნათქვამია, რომ აღნიშნული საკონტაქტო ამოცანა - ერთმანეთთან შეუღლებული მახლობელრადიუსებიანი ცილინდრული სხეულების დეფორმაციისას შეხების არეში წარმოქმნილი ძაბვების განსაზღვრა - მჭიდროდ არის დაკავშირებული ისეთი კონკრეტული საინჟინრო დეტალებისა თუ კონსტრუქციების გათვლებთან, რომელთაც ფართო გამოყენება გააჩნიათ მანქანათმშენებლობაში და ზოგადად სამშენებლო მექანიკაში. კერძოდ, ნაჩვენებია, რომ ასეთი ტიპის საკონტაქტო ამოცანით აღიწერება, მაგალითად, ისეთი მნიშვნელოვანი დანიშნულების მქონე მექანიზმი, როგორცაა სრიალის საკისარი, რომლის გამართულ მდგომარეობაზე ბევრად არის დამოკიდებული მრავალი სხვადასხვა დანიშნულების მქონე მანქანური დანადგარისა და მოწყობილობის შეუფერხებელი მუშაობა.

იქვე აღწერილია სრიალის საკისრების, როგორც ტექნიკური დეტალის ტიპები, მოდიფიკაციები და მუშაობის ზოგადი პრინციპები. ამასთან ერთად, მოყვანილია თემატიკის ირგვლივ არსებული ის ძირითადი, განხილულ პრობლემატიკასთან დაკავშირებული ტექნიკური ხასიათის ცნებები, ტერმინები და განმარტებები, რომლებიც გამოყენებულია წარმოდგენილი ნაშრომის შემდგომ ნაწილში.

პირველ თავში ასევე განხილულია დასმული ამოცანის მათემატიკური მოდელი და მოყვანილია შესაბამისი ინტეგრალური განტოლება. დეტალურად არის განხილული მისი სტრუქტურა და შემავალი სიდიდეების ფიზიკური შინაარსი, საძიებელი ამონახსნის თვისებები. გადმოცემულია განტოლების რიცხვითი ამოხსნის აქამდე არსებული გამოთვლითი სქემები, მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. დასაბუთებულია აღნიშნული სათვლელი ალგორითმების გამარტივების მიზანშეწონილობა საინჟინრო პრაქტიკაში მათი ეფექტურად გამოყენების თვალსაზრისით.

**მეორე თავი** ეხება მოცემული სუსტი სინგულარობის მქონე ინტეგრალური განტოლების მიახლოებითი ამოხსნის ახალი, თვლის სიმარტივეზე ორიენტირებული ალგორითმების უშუალოდ აგებისა და მისი რიცხვითი რეალიზების საკითხებს.

დეტალურად არის აღწერილი იმ კვადრატურული ფორმულის კონსტრუირებისა და შემდგომ მისი მოდიფიცირების პროცესი, რომელიც ამონახსნის საზოგადოდ არაგლუვ სტრუქტურას ითვალისწინებს.

განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა საინჟინრო პრაქტიკაში იმ მნიშვნელოვან შემთხვევას, როცა კონტაქტში მონაწილე სხეულებს ზედაპირზე გააჩნიათ ბზარების გავრცელების მიდამოები.

უნდა აღინიშნოს, რომ ეს შემთხვევა მათემატიკური მოდელირებისა და რიცხვითი რეალიზაციის თვალსაზრისით პირველად არის განხილული საინჟინრო პრაქტიკაში და შესაბამისად ნაშრომში შემოთავაზებული მეთოდიკა შეიცავს გარკვეულ სიახლეებს მასში განხორციელებული მიდგომებისა და გამოყენებული გამოთვლითი სქემების აგების მიმართულებით.

ნაშრომში, ბზარების მქონე სრიალის საკისრების გაანგარიშების ამოცანის რიცხვითი ამოხსნისთვის გამოყენებულია სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა მეთოდი[25-45], რომელიც საზოგადოდ გამოირჩევა საკმარისად დიდი ეფექტურობით ბზარებისა და რღვევების შემცველი არეების შემთხვევაში.

მაგალითად, ცნობილია, რომ ხშირად, ასეთ დროს, შესაბამისი წირის წარმოდგენა ხერხდება მხოლოდ გრაფიკული სახით. ასეთ შემთხვევაში, სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა მეთოდით კორექტული გამოთვლითი პროცესის უზრუნველყოფისთვის, სხვა მეთოდებისგან განსხვავებით, საკმარისია მხოლოდ წირის კვანძითი წერტილების ცოდნა.

შესაბამისად, დისერტაციის მეორე თავში განხილულია სათანადო სინგულარული ინტეგრალური განტოლებები ბზარების სხვადასხვა მდებარეობისა და კონფიგურაციის შემთხვევაში. აგებულია ამ განტოლებების რიცხვითი ამოხსნის სქემები, რომლებიც უშუალოდ სინგულარული ოპერატორის აპროქსიმაციას ეფუძნება. ამით საგრძნობლად გაადვილებულია ამოცანის მიახლოებითი ამოხსნისა და შემდგომი საინჟინრო გამოთვლების პროცესი.

წარმოდგენილი ალგორითმის საფუძველზე შექმნილი და რეალიზებულია სათვლელი პროგრამა, რომელიც იძლევა რეალურ შედეგებს ბზარებიანი სრიალის საკისრების დეფორმაციის ამოცანის რიცხვითი ამოხსნისას საკონტაქტო სხეულების (ლილვისა და გარე კორპუსის) სხვადასხვა დრეკადი მაჩვენებლების შემთხვევაში.

დისერტაციის მესამე თავი ეძღვნება სინგულარული ინტეგრალური განტოლებების მეთოდის საფუძველზე აგებული მიახლოებითი პროცესების უფრო დეტალურ აღწერას და მათ გამოყენებას სამშენებლო მექანიკის ზოგიერთ პრაქტიკულად მნიშვნელოვან ამოცანაში. მოყვანილია სათანადო კვადრატურული ფორმულები სხვადასხვა კონფიგურაციის ბზარების მქონე სამშენებლო თუ სხვა დანიშნულების კონსტრუქციების გათვლებისთვის. სახელდობრ, დამუშავებულია გამოთვლითი სქემები წრფივი ჭრილის მქონე დრეკადი სიბრტყის, თერმოიზოლირებული ბზარების, დრეკად სხეულზე გრძივი გადაადგილების მქონე ბზარის, უსასრულო ფირფიტაზე მოცემული ორი თანაბარი სიგრძის სიმეტრიულად განლაგებული ბზარის, ნახევარსიბრტყის საზღვრის პერპენდიკულარული ბზარის, კოლინიალური ბზარების შემთხვევებში.

აღნიშნული ფორმულების საფუძველზე შედგენილია სათვლელი პროგრამა-პაკეტი, რომელიც იძლევა აღნიშნული ამოცანების რიცხვითი რეალიზაციის საშუალებას, როგორც პოლიმერული და ლითონური სრიალის საკისრების, ასევე ბზარებიანი კონსტრუქციების (მათ შორის რღვევების მქონე სამშენებლო ნაგებობების) გაცილებით უფრო ფართო კლასის შემთხვევაში.

მესამე თავის ბოლოს მოყვანილია ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე მიღებული რიცხვითი რეზულტატები და მათი ანალიზი.

დისერტაციის ბოლო ნაწილი შეიცავს ნაშრომში განხორციელებული კვლევებზე დაყრდნობით გაკეთებულ ძირითად დასკვნებს და გამოყენებული სამეცნიერო და სპეციალური ლიტერატურის ნუსხას, რომელიც შედგება ასზე მეტი დასახელების პუბლიკაციისგან.

## კვლევის ეტაპები და ძირითადი შედეგები

### ნაშრომში ეტაპობრივად განხილული და შესწავლილია შემდეგი საკითხები:

- ძაბვების განაწილების განსაზღვრა კონტაქტის ზედაპირზე სხეულების სხვადასხვა დრეკადი მახასიათებლების შემთხვევაში.
- ძაბვების გამოთვლა შიგა ცილინდრულ ზედაპირზე კონკრეტული კონფიგურაციის ბზარების გასწვრივ.
- ძაბვების გამოთვლა გარე ცილინდრულ ზედაპირზე კონკრეტული კონფიგურაციის ბზარების გასწვრივ.
- რიცხვითი ამოხსნის ალგორითმების დამუშავება ბზარებიანი საკონტაქტო ამოცანისათვის.

- წრფივი ჭრილის მქონე დრეკადი სიბრტყის დამაბულ-დეფორმირებადი მდგომარეობის განსაზღვრა
- თერმოიზოლირებული ბზარების შემთხვევის განხილვა.
- დრეკად სხეულზე გრძივი გადაადგილების მქონე ბზარის შემთხვევის განხილვა.
- უსასრულო ფირფიტაზე მოცემული ორი თანაბარი სიგრძის სიმეტრიულად განლაგებული ბზარის შემთხვევის განხილვა.
- ნახევარსიბრტყის საზღვრის პერპენდიკულარული ბზარის შემთხვევის განხილვა.
- კოლინიალური ბზარების შემთხვევის განხილვა.

#### მიღებული ძირითადი შედეგები:

- აიგო ახალი, მარტივად რეალიზებადი კვადრატული ფორმულები შესაბამისი სინგულარული ინტეგრალური განტოლებებისთვის.
- დამუშავდა რიცხვითი ალგორითმები როგორც ბზარებით გართულებული საკონტაქტო ამოცანისათვის, ასევე სხვადასხვა ბზარებიანი სამშენებლო კონსტრუქციებისა და დეტალების გაანგარიშებისათვის.
- დამუშავებული ალგორითმების საფუძველზე შეიქმნა გამოთვლითი პაკეტი საინჟინრო-პრაქტიკული გამოთვლებისათვის მექანიკის მნიშვნელოვან ამოცანებში.

### ციტირებული ლიტერატურა:

1. Штаерман И.Я., Контактная задача теории упругости, М.-Л.: Гостехиздат, 1949.
2. Галин Л.А., Контактные задачи теории упругости. — М.: Гостехиздат, 1953.
3. Мухелишвили Н.И., Некоторые основные задачи математической теории упругости, М.: Наука, 1966.
4. Puttock M., Thwaite E., Elastic Compression of Spheres and Cylinders at Point and Line Contact, 1969.
5. Александров В.М., Ромалис Б.Л., Контактные задачи в машиностроении, М.: Машиностр., 1986.
6. Atanackovic T., Guran A. Theory of Elasticity for Scientists and Engineers, 1999.
7. Александров В.М., Аналитические методы в контактных задачах теории упругости, Физматлит, 2004.
8. Морозов Е.М., Зернин М.В., Контактные задачи механики разрушения, 2-е изд., М.: Либроком, 2012.
9. McEvily Arthur J., Metal Failures: Mechanisms, Analysis, Prevention, 2nd Edition, 2013
10. Sanikidze Z., On some questions of an approximate solution of a contact problem of the theory of elasticity, Reports of I.Vekua Institute of Applied Mathematics, 9, 1-3, 1994.
11. Sanikidze Z., Numerical solution of one problem of interaction of two elastic cylinders, Reports of I.Vekua Institute of Applied Mathematics, 10, 3, 1995.
12. Sanikidze Z., One approximate solution of one first kind integral equation by regularization method, Bull. Georgian Acad. Sci., 153, 1, 1996.
13. Sanikidze Z., On approximate representation of one integral operator and its application, Bull. Georgian Acad. Sci., 153, 3, 1996.
14. Колосов Г.В. Об одном приложении теории функций комплексного переменного к плоской задаче математической теорий упругости. Тип. К. Маттисева, Юрьев, 1909.



15. Griffith A. A., The phenomenon of rupture and flow in solids, Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., 221, 1920.
16. Griffith A. A., The theory of rupture, proc. First Int. Congress of Applied. Mech., Delft, 1924.
17. England A.H., A note on cracks under longitudinal shear, Matematika, 1963.
18. Irwin G.R., Wells A.A., A continuum mechanics view of crack propagation, Metallurg. Revs, 1965.
19. Orowan E.O., Fundamentals of brittle behavior of metals, Fatigue & Fracture of Metals, Wiley, NY, 1952.
20. Морозов. Н.Ф., Математические вопросы теории трещин, М.:Наука, 1984.
21. Саврук М.П., Двумерные задачи упругости для тел с трещинами, Киев: Наукова думка, 1981.
22. Smith. E., The extension of two parallel non-coplanar cracks by an applied stress, Int. J. Eng., Sci., 9, 1971.
23. Ohashi M., Ichikawa M., Yokobori T., The extension of two parallel elastic cracks not perpendicular each other, Repts., Res, Inst. Strength Mater, Tohoku Univ., 1,2,1965.
24. Sneddon I. N., Lowengrub M., Crack problems in the classical theory of elasticity, Wiley, NY, 1969.
25. Саникидзе Д.Г., О численном решении граничных задач методом аппроксимации сингулярных интегралов, Дифференц. уравнения, 29, 9, 1993.
26. Саникидзе Д.Г., К вопросу обоснования метода граничных интегральных уравнений в случае областей с негладкими границами, Дифференц. уравнения, 32,9, 1996.
27. Саникидзе Д.Г., О некоторых схемах аппроксимации сингулярных интегралов с ядром Коши и некоторых их применениях, Труды XII международного симпозиума «Методы дискретных особенностей в задачах математической физики», Харьков-Херсон, 2005.

28. Kublashvili M., Approximate calculation of Cauchy type integrals in opened contour case using the corrective parameter, proc. International Conference "Internet-Education- Science", Vinnytsa, Ukraine, 2010.
29. Kublashvili M., Sanikidze J., On some questions of accuracy of quadrature formulas for singular integral equation with the Cauchy kernel, Proceedings of the Ninth international scientific-practical conference, Vinnytsia, Ukraine, 2014.
30. Мусхелишвили Н.И., Сингулярные интегральные уравнения, М.:Наука, 1968.
31. Белоцерковский С.М., Лифанов И.К., Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях, М.:Наука, 1985.
32. Колтон Д., Кресс Р., Методы интегральных уравнений в теории рассеяния, М.: Мир, 1987.
33. Екобори Т., Физика и механика разрушения и прочности твердых тел, Металлургия, М.,1971.
34. Krenk S., Polynomial Solutions to Singular Integral Equations, Riso National Laboratory, DK-4000 Rosialde, Denmark, 1981.
35. Панасюк В.В., Саврук М.П., Назарчук З.Т., Метод сингулярных интегральных уравнений в двумерных задачах дифракций., Киев:Наукова думка, 1984.
36. Бережницкий Л.Т. О предельном равновесии пластины, ослабленной системой трещин, расположенных вдоль прямой под углом в направлении растяжения, В кн.: Концентрация напряжений, 1, Киев: Наукова думка, 1965.
37. Панасюк В.В., Предельное равновесие хрупких тел с трещинами, Киев: Наукова думка, 1968.
38. Erdogan F.E., Gupta G.D., Cook T.S. The numerical solutions of singular integral equations.-In: Methods of Analysis and Solutions of Crack Problems. Noordhoff Intern. Publ., Leyden, 1973, 368-425.
39. Партон В.З., Морозов Е. М., Механика упруго-пластического разрушения, М.:Наука,1974.
40. Кублашвили М. Д., О численном решении некоторых задач бесконечны пластин с трещинами, Сб. трудов международного симпозиума, посвященного проблеммам тонкостенных пространственных систем, Тбилиси, 2001.

41. Кублашвили М. Д., О численном решении задачи термоизолированной трещины, Проблемы прикладной механики, 4(9) 2002.
42. Kublashvili M., Tsikarishvili M., Magradze T., Babilodze K., Determination of Crack-Resistance Degree of Constructions, Scientific-Technical Journal "Building", 2006.
43. Kublashvili M.D., Kublashvili M.M., Numerical solution of singular integral equation with opened Contour in the nonzero index case, Scientific-technical journal "Building", 3 (18), 2010.
44. Kublashvili M.D., Kublashvili M.M., On numerical solution of the first kind singular integral equation, Proceedings of the International Scientific Conference "Information and Computer Technologies, Modelling, Control", GTU, Tbilisi, 2011.
45. Kublashvili M.D., Filfani N., Kapanadze Z., Kublashvili M.M., Numerical Solution of the Crack Problem on the Circular Disc, Scientific-Technical Journal "Building", 4(27), 2012.