

ბადრი გვასალია

სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ნაგებობების
ოპტიმალური დაპროექტების მეთოდები

თბილისი
2010

წინასიტყვაობა

მონოგრაფიაში სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ნაგებობების ოპტიმალური დაპროექტების კლასიკური მეთოდები წარმოდგენილია, როგორც არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანები, ხოლო მრავალი ცვლადის, მრავალექსტრემუმიანი მიზნის ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის მოსანახად გამოყენებულია ოპტიმიზაციის სტოქასტური მეთოდები, კერძოდ შემთხვევითი ძებნისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდები. აღნიშნული მეთოდები ყველაზე წარმატებულად წყვიტავენ დასმულ ამოცანებს.

ნაშრომში განხილული რეალური ამოცანების ამოხსნის თეორიულ მასალასთან ერთად წარმოდგენილია “სწრაფი ბეისიკის” ალგორითმულ ენაზე შედგენილი კომპიუტერული პროგრამები.

მონოგრაფია გათვალისწინებულია მკითხველთა ფართო წრისათვის-მეცნიერი მუშაკების, ინჟინერ-კონსტრუქტორების, შესაბამისი სპეციალობის დოქტორანტების, მაგისტრანტებისა და ბაკალავრებისათვის.

რა თქმა უნდა მონოგრაფია დაზღვეული არ იქნება ნაკლოვანებებისაგან. ამიტომ მკითხველთა საქმიან შენიშვნებს ავტორი ყურადღებით მიიღებს.

ავტორი გულწრფელ მადლობას უხდის მშენებლობის კომპიუტერული დაპროექტების სისტემების მიმართულების ხელმძღვანელს, სრულ პროფესორს მურმან კუბლაშვილს და სამშენებლო კონსტრუქციების მიმართულების ხელმძღვანელს, სრულ პროფესორს ინგუმა მშვენიერაძეს ხელნაწერის კრიტიკულ განხილვაში აქტიური მონაწილეობისათვის.

შესავალი

პრობლემის მოთხოვნები, **რომელიც** კონსტრუქციებსა და მდგრადობის, ეკონომიურობის და თვალსაზრისით მოითხოვენ ინჟინრებისაგან დასვან და გადაწყვიტონ **სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ნაგებობების რთული-ობტიმალური ამოცანები.** **აქტუალობა.** **გაზრდილი** **სამშენებლო** **სიმტკიცის,** **და** **ნაგებობებს** **სამშენებლო** **კონსტრუქციებისა და** **ნაგებობების** **რთული-ობტიმალური ამოცანები.**

საერთოდ ადამიანის პრაქტიკული მოღვაწეობის ერთ-ერთი ძირითადი პრინციპია მოცემულ პირობებში საუკეთესო გადაწყვეტილებათა მიღება. იმ სფეროებში, სადაც შესაძლებელია შესაბამისი პრობლემების ფორმალიზაცია, აღნიშნული პრინციპის რეალიზაცია, როგორც წესი, ოპტიმიზაციის ამოცანებთანაა დაკავშირებული.

კონსტრუქციების პრობლემა დიდი ხანია იპყრობს **წონის** **ოპტიმიზაციის** **პრობლემა** დიდი ხანია იპყრობს განსაკუთრებულ ყურადღებას და ამიტომ ამ საკითხებისადმი მიძღვნილია სამეცნიერო გამოკვლევათა მნიშვნელოვანი რაოდენობა [1,2,3,4]. ოპტიმალური პროექტირებისადმი ინტერესი განსაკუთრებით გაიზარდა ავიაციის და კოსმოსური ტექნიკის, გემთმშენებლობის, ზუსტი მანქანათმშენებლობის დარგების სწრაფ განვითარებასთან და მშენებლობაში მაღალსართულიანი შენობების და ცათამბჯენების აგების აუცილებლობასთან დაკავშირებით. ოპტიმალური პროექტირების საფუძველზე მიიღწევა არა მარტო საფრენი აპარატებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების წონის შემცირება, არამედ მათი მექანიკური მახასიათებლების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება.

ოპტიმიზაციის ნებისმიერი ამოცანის გადაწყვეტა ხდება განსაზღვრული მეთოდით, რომელიც

დამოკიდებულია დასაპროექტებელი ამოცანის პირობებზე, დასაპროექტებელი კონსტრუქციის შესწავლის ხარისხზე, დამპროექტებლის მომზადების დონეზე და ა.შ.

მიუხედავად ოპტიმალური ამოცანების გადაწყვეტის მეთოდების მრავალფეროვნებისა ყველა ისინი პირობითად შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად: ვარიანტთა შედარების, ექსტრემალური ამოცანების ამოხსნის მათემატიკურ და მათემატიკური დაპროგრამების მეთოდებად.

ვარიანტთა შედარების მეთოდის არსი მდგომარეობს მოცემული ტექნოლოგიური დავალების მიხედვით კონსტრუქციის ან ნაგებობის გაანგარიშების რამოდენიმე შესაძლებელი ვარიანტის დამუშავებაში და მიღებული შედეგების შედარებაში გარკვეული კრიტერიუმის მიხედვით,

რომელიც განსაზღვრავს ობიექტის ხარისხს. შედარებითი სიმარტივე ამ მეთოდისა საშუალებას იძლევა ამოიხსნას ნებისმიერი სირთულის ამოცანები, სისტემის ტიპის, შემადგენელი და გეომეტრიული პარამეტრების, მასალების, ელემენტების ფორმებისა და კვეთების, კვანძების ტიპებისა და შეერთებების ვარიანტით. ვარიანტთა მეთოდით კონსტრუქციის დაპროექტება შეიძლება შედარებით დაჩქარდეს და შრომატევადობა შემცირდეს, მასის განსაზღვრის პირობისას, ი. ლისტარნიკოვის [5] მეთოდის გამოყენებით.

ვარიანტთა შედარების მეთოდის ძირითად ნაკლს წარმოადგენს, ის რომ იგი ძალიან შრომატევადია და საუკეთესოს ხარისხში ერთ-ერთი განხილული ვარიანტის მიღება, მაშინ როდესაც ნამდვილი ოპტიმალური ვარიანტი შეიძლება აღმოჩნდეს განხილულ ვარიანტებს შორის.

ექსტრემალური ამოცანების ამოხსნის მათემატიკურმა მეთოდებმა გამოყენება კპოვეს

პროექტირების ისეთ ამოცანებში, რომლებიც შეიცავენ უმეტესად ერთ ან ორ საძებნ პარამეტრს [6]. ამ მეთოდებით ჩვეულებრივად განსაზღვრავენ კონსტრუქციის ერთ-ერთ პარამეტრს, მაგალითად კვეთის ოპტიმალურ სიმაღლეს, საუკეთესო მაღს და ა.შ.

მეთოდის არსი მდგომარეობს საოპტიმიზაციო ფუნქციის (ან ფუნქციონალის) ანალიზური გამოსახულების შედგენაში (კონსტრუქციის წონა ან ღირებულება) და შემდეგ მის გამოკვლევაში ექსტრემუმზე.

ექსტრემალური ამოცანების ამოხსნის მათემატიკური მეთოდების ძირითად ნაკლს წარმოადგენს პირდაპირი ანალიზური დამოკიდებულების დადგენის სირთულე მიზნის ფუნქციასა და საოპტიმიზაციო პარამეტრებს შორის. აგრეთვე სიძნელე დაკავშირებული მიზნის ფუნქციის გლობალურ ექსტრემუმის მონახვასთან, განსაკუთრებით მრავალპარამეტრებიან ამოცანებში.

პრობლემას კიდევ უფრო ართულებს და ამძიმებს ის შემთხვევა, როცა მიზნის ფუნქცია არ არის გლუვი და შეიძლება გააჩნდეს არა მარტო წვევების წერტილები, არამედ კრიტიკული წერტილების ისეთი სიმრავლე, როგორცაა “ხევი”, “ქელი”, “პლატო” და სხვა.

მათემატიკური დაპროგრამების მეთოდების გამოყენებით მნიშვნელოვან წილად იხსნება ის სიძნელეები, რომლებიც აღიძვრებიან ანალიზური გზით კონსტრუქციის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრისას [7,8]. ამ მეთოდების დახმარებით შესაძლებელია ამოიხსნას ამოცანები, რომლებიც აღიწვრებიან არა მარტო მკაცრი განტოლებებით, არამედ ბევრად უფრო მოქნილი უტოლობებით, რომლებიც შემოსაზღვრავენ დასაშვები ამონახსნების არეს.

წინამდებარე მონოგრაფიაში დამუშავებულია სამშენებლო კონსტრუქციებისა და შენობა-ნაგებობების ფუძის დეფორმაციის ოპტიმალური დაპროექტების ახალი მეთოდები, რომლებიც იყენებენ მიზნის ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის მოსანახად ოპტიმიზაციის თანამედროვე სტოქასტურ მეთოდებსა და კომპიუტერულ ტექნოლოგიებს.

ნაშრომის მიზანი და პრაქტიკული მნიშვნელობა. მონოგრაფიის მიზანს წარმოადგენს სამშენებლო კონსტრუქციების და ნაგებობების ოპტიმალური დაპროექტების მეთოდების დამუშავება, რომლებიც მიზნის ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის მოსანახად იყენებენ ოპტიმიზაციის თანამედროვე სტოქასტურ მეთოდებსა და კომპიუტერულ ტექნოლოგიებს, რაც შედეგების სწრაფად და დასაშვები სიზუსტით მიღებას უზრუნველყოფს.

კვლევის მეთოდები. მონოგრაფიაში გამოყენებულია ოპტიმიზაციის, მათემატიკური დაპროგრამების, მატრიცთა თეორიის და სამშენებლო მექანიკის მეთოდები.

მეცნიერული სიახლე. სამშენებლო კონსტრუქციების და ნაგებობების ოპტიმალური დაპროექტების ამოცანები განხილულია, როგორც არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანები, სადაც მრავალი ცვლადის მულტიმოდალური ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის მოსანახად გამოყენებულია შემთხვევითი ძებნისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდები. ამ მეთოდების გამოყენების საფუძველზე დამუშავებულია სხვადასხვა კონსტრუქციების და ნაგებობების ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშების შემდეგი მეთოდები:

1. გრეხადი ცილინდრული ზამბარის მინიმალური წონის განმსაზღვრელი [9].

2. შენობა-ნაგებობების ფუძის დეფორმაციის მინიმალური მნიშვნელობის გაანგარიშების [10,11].

3. სამღეროვანი წამწის ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშების, რომელიც ეყრდნობა წამწის სიხისტის ფუნქციის ზოგად ფორმულას [12].

4. სვეტის განივი კვეთის პარამეტრებისა და სვეტის გრძივი ღუნვისას საანგარიშო წინააღობის შემამცირებელი კოეფიციენტის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევის [13].

5. ორტესებრივი განივი კვეთის მქონე კოჭის სიმაღლისა და სისქის, ასევე ჰორიზონტალური თაროებისა და კედლის დამაკავშირებელი კოეფიციენტების ოპტიმალური მნიშვნელობების გაანგარიშების [14].

6. უბან-უბან მუდმივ კვეთიანი სვეტის ოპტიმალური დიამეტრებისა და სიგრძეების გაანგარიშების [15].

ნაშრომის აპრობაცია. მონოგრაფიის შედეგები მოხსენებულია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე “ინფორმაციული ტექნოლოგიები მართვაში”. (ქ. თბილისი, 2007 წ.) და “ინფორმაციული და გამოთვლითი ტექნოლოგიები” (ქ. თბილისი, 2-6 მაისი, 2010 წ.), და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის “მშენებლობაში კომპიუტერული დაპროექტების სისტემების” მიმართულების გაფართოებულ სამეცნიერო სემინარზე 2009 წ.

პუბლიკაციები. მონოგრაფიის თემაზე გამოქვეყნებულია 7 ნაბეჭდი შრომა.

მონოგრაფიის სტრუქტურა და მოცულობა.

მონოგრაფია შედგება შესავლის, ხუთი თავის, შედეგების განსჯის, დასკვნის, დანართის, 10 ცხრილის, 21 ნახაზის და გამოყენებული ლიტერატურის 48 დასახელებისაგან. ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენს 243 ნაბეჭდ გვერდს.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი.

შესავალში მოცემულია პრობლემის აქტუალობის დასაბუთება, ჩამოყალიბებულია ნაშრომის ძირითადი

მიზნები და ამოცანები, მითითებულია ამოცანის გადაწყვეტის მეცნიერული სიახლე, გადმოცემულია თითოეული თავის მოკლე შინაარსი.

ნაშრომის პირველ თავში მოცემულია ოპტიმიზაციის ზოგადი ამოცანის დასმა და სასრულგანზომილებიანი ოპტიმიზაციის ამოცანების კლასიფიკაცია. განხილულია ექსტრემუმის ძებნის თანამედროვე მეთოდები, როგორცაა: გრადიენტის [16] და მისი მოდიფიკაციის-უსწრაფესი დაშვების [17,18], გლობალური ექსტრემუმის მონახვის Ψ გარდასახვის [19,20], სიმძიმის ცენტრების [21,22], ძებნის არის თანდათანობით შემცირების [16] და შემთხვევითი ძებნის მეთოდები [23]. ამ მეთოდების შესაძლებლობების და გამოყენების სფეროების კრიტიკული ანალიზის შედეგად ნაშრომში დასმული სამშენებლო კონსტრუქციების და ნაგებობების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრისათვის მიზანშეწონილად მიჩნეულ იქნა შემთხვევითი ძებნისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდების გამოყენება, რადგანაც ეს მეთოდები ყველაზე უფრო სრულყოფილად ეძებენ მრავალი ცვლადის, რთული კონფიგურაციის მქონე, მრავალ ექსტრემუმიანი ფუნქციის გლობალურ ექსტრემუმს.

ნაშრომის მეორე თავში განხილულია გრესადი ცილინდრული ზამბარის ოპტიმალური წონის განსაზღვრის ამოცანა [9]. ოპტიმალური წონის მიღება ხდება ზამბარის მავთულის და ზამბარის საშუალო დიამეტრის შერჩევის გზით. მიუხედავად იმისა, რომ პროექტირების დასმული ამოცანა მცირე განზომილებისაა (ორ პარამეტრიანია) იგი ამოხსნისას ქმნის მნიშვნელოვან სიძნელეებს, რადგანაც გააჩნია ძლიერი (მკაცრი) არაწრფივობა. იგი მიეკუთვნება არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანების – კერძოდ, გეომეტრული დაპროგრამების ამოცანათა კლასს. ამიტომ მათ ამოსახსნელად გამოყენებულია

ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდები. მიღებული შედეგები შედარებულია ანალიზური გზით მიღებულ შედეგებთან, საიდანაც ჩანს, რომ აღნიშნული მეთოდები საკმაოდ დიდი, საინჟინრო პრაქტიკისადმი მისაღები სიზუსტით ხსნიან ამოცანას.

ნაშრომის მესამე თავში გაანალიზებულია შენობა-ნაგებობის ფუძისა და საძირკველის ერთობლივი დეფორმაციის თანამედროვე მეთოდები [10] და მითითებულია მათი გამოყენების ყველაზე მიზანშეწონილი სფეროები, მოცემულია კონკრეტული რეკომენდაციები. ასევე მოცემულია შენობა-ნაგებობების ფუძის დეფორმაციის შრეობრივი შეჯამების მეთოდის კომპიუტერული რეალიზაციის შესაძლებლობა. განსაზღვრულია ფუძის პარამეტრების: სიგანის, სიგრძისა და ჩაღრმავების ის მნიშვნელობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ფუძის მინიმალურ დეფორმაციას [11].

ნაშრომის მეოთხე თავში მოცემულია წამწების გაანგარიშების მეთოდების [24,25,26] მოკლე მიმოხილვა, როგორცაა: სამომენტო წერტილის, კვანძების ამოკვეთის, დაგეგმილების და სხვა. მათ შორის, ნაშრომში განხილული სამღეროვანი წამწის წონასწორობის განტოლების დასაწერად, შერჩეულ იქნა კვანძების ამოკვეთის მეთოდი.

ნაშრომის ამავე თავში დასმულია სამღეროვანი წამწის ოპტიმალური კვეთების შერჩევის ზოგადი ამოცანა. ამასთან დაკავშირებით გაანალიზებულია დასმული საკვლევი-საინჟინრო ამოცანის ირგვლივ არსებული მეთოდები, რის შედეგადაც დადგენილია, რომ გადაწყვეტილია დასმული ამოცანის მხოლოდ კერძო შემთხვევები [1] და ისიც ორღეროვანი წამწის შემთხვევაში, ამიტომ დასახულ იქნა დასმული ამოცანის ზოგადი სახით გადაჭრა. ამ მიზნით ჩამოყალიბებულია თეორემა სამღეროვანი წამწის

სიხისტის ზოგადი ფუნქციის შესახებ და მოცემულია მისი დამტკიცება [12]. მოცემულია აგრეთვე ამოცანის გადაწყვეტის ალგორითმები.

ნაშრომის მეხუთე თავში დამუშავებულია სვეტის განივი კვეთის პარამეტრებისა და სვეტის გრძივი ღუნვისას საანგარიშო წინაღობის შემამაცირებელი კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრის ახალი მეთოდი [13] მოცემული დატვირთვის გათვალისწინებით. ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია ვიანგარიშით სვეტის კვეთების ოპტიმალური პარამეტრები მდგრადობის მოცემული მარაგის გათვალისწინებით. გარდა ამისა შემუშავებულია ალგორითმი არსებული (ცნობილი) იტერაციული მეთოდის კომპიუტერზე რეალიზაციის მიზნით. კრიტიკულად განალიზებულია იტერაციული მეთოდის მუშაობა და დადგენილია მეთოდის ნაკლოვანი მხარეები. ორივე მეთოდით მიღებული შედეგები შედარებულია ერთმანეთთან და ნაჩვენებია ახალი მეთოდის უპირატესობა.

ამავე თავში მოცემულია ორტესებრი განივი კვეთის მქონე კოჭის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდი [14]. დასმული ამოცანა წარმოდგენილია როგორც არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანა. საოპტიმიზაციო ფუნქციას წარმოადგენს კოჭის წონის განმსაზღვრელი ფუნქცია, რომელიც წარმოდგენილია როგორც ოთხი დამუკიდებელი ცვლადის ფუნქცია. მეთოდი საშუალებას იძლევა დადგინდეს კოჭის ჰორიზონტალური თაროების და კედლის ოპტიმალური გეომეტრიული ზომები, რომლის დროსაც მიიღწევა საოპტიმიზაციო ფუნქციის მინიმუმი.

ნაშრომის ამავე თავში განხილულია სამი კერძო ამოცანა უბან-უბან მუდმივი განივკვეთის მქონე სვეტის ფართობებისა და სიგრძეების არჩევისა [15] ისეთნაირად, რომ სვეტმა გაუძლოს, ვერტიკალურად მომქმედი

მკუმშავი ძალის ზემოქმედებას გამოხეკვის გარეშე. ნაგულისხმევია, რომ თითოეული ელემენტის განივი კვეთის გეომეტრიული ფორმა არის ფიქსირებული და სიმეტრიული ვერტიკალური ღერძის მიმართ.

ნაშრომის ბოლოს მოცემულია მიღებული შედეგების განსჯა და საბოლოო დასკვნები. მოყვანილია აგრეთვე ციტირებული ლიტერატურის სია.

გამოყენებითი პროგრამების პაკეტების შედგენის დიდმა გამოცდილებამ [44,45,46,47,48] შესაძლებლობა მოგვცა, მონოგრაფიის ფარგლებში, დაგვემუშავენა სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ნაგებობების ოპტიმალური დაპროექტების თეორიულ მეთოდებთან ერთად, მათი კომპიუტერზე რეალიზაციის პროგრამები.

ნაშრომის დანართ ნაწილში მოცემულია ალგორითმულ ენა QBASIC-ში დაწერილი, მონოგრაფიაში დამუშავებული, თითოეული მეთოდის კომპიუტერული რეალიზაციის პროგრამა.

თავი I

ოპტიმიზაციის თეორიული საკითხები

1.1. ოპტიმიზაციის ზოგადი ამოცანის დასმა

მათემატიკური თვალსაზრისით სასრულგანზომილებიანი ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტა, ზოგად შემთხვევაში, მრავალი ცვლადის რიცხვითი ფუნქციის ექსტრემუმის მოძებნას ითვალისწინებს.

დავუშვათ მოცემულია დამოუკიდებელი ცვლადის რიცხვითი ფუნქცია $f(x)=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, რომელიც განსაზღვრულია ევკლიდეს n განზომილებიანი სივრცის რაღაც Q სიმრავლეზე, ე.ი. $Q \subset R^n$. $f(x)$ -ს მიზნის ფუნქციას ან, უბრალოდ, საოპტიმიზაციო ფუნქციას უწოდებენ, Q -ს დასაშვები ამონახსნების სიმრავლეს ან მოკლედ დასაშვებ სიმრავლეს.

ოპტიმიზაციის ამოცანა შემდეგში მდგომარეობს: საჭიროა დასაშვები სიმრავლის ელემენტებს შორის ისეთი $x^*=(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ ამონახსნი შევარჩიოთ, რომლის დროსაც მიზნის ფუნქცია $f(x)$ თავის ექსტრემალურ (მაქსიმალურ ან მინიმალურ) მნიშვნელობას მიაღწევს. გარკვეულობისათვის დავუშვათ, რომ ვეძებთ $f(x)$ ფუნქციის მინიმუმს. ამგვარად, იმისათვის, რომ Q სიმრავლეზე $f(x)$ ფუნქციის მინიმიზაციის ამოცანა გადავწყვიტოთ, საჭიროა ვიპოვოთ ისეთი $x^* \in Q$ ვექტორი და მისი შესაბამისი $f^* = f(x^*)$, რომლის დროსაც ადგილი ექნება შემდეგი პირობის შესრულებას:

$$f(x^*) \leq f(x) \quad \forall x \in Q. \quad (1.1)$$

x^* -ს ოპტიმალურ ამონახსნს უწოდებენ, ხოლო $f(x^*)$ - ოპტიმუმს. ის ფაქტი, რომ x^* ამონახსნი ოპტიმალურია, რომლის დროსაც $f(x)$ ფუნქციის მნიშვნელობა Q სიმრავლეზე თავის დასაშვებ მინიმალურ მნიშვნელობას აღწევს, შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$f(x^*) = \min\{f(x), \text{სადაც } x \in Q \subset R^n\}, \quad (1.2)$$

ხოლო სასრულგანზომილებიან სივრცეში მინიმიზაციის ამოცანის მათემატიკური ფორმულირებისათვის გვექნება

$$\min\{f(x) \mid x \in Q \subset R^n\}. \quad (1.3)$$

თუ არსებობს x^* წერტილის ისეთი მიდამო $\Omega_\varepsilon(x^*)$, $\varepsilon > 0$, სადაც (1.1) უტოლობა სამართლიანია აღნიშნული მიდამოს ყველა $x^* \in Q \cap \Omega_\varepsilon(x^*)$, წერტილისათვის, მაშინ x^* ლოკალური მინიმუმის წერტილს წარმოადგენს, ხოლო (1.1) უტოლობას ადგილი აქვს Q სიმრავლის ყველა $x \in Q$ წერტილისათვის, მაშინ - აბსოლუტური (გლობალური) მინიმუმის წერტილს.

ლოკალური მინიმუმის წერტილი აბსოლუტური მინიმუმის წერტილს ყოველთვის არ ემთხვევა.

ლოკალური და აბსოლუტური მინიმუმის წერტილების დამთხვევას ადგილი აქვს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა $Q \subset R^n$ ამოხსნილი სიმრავლეა, ხოლო ამ სიმრავლეზე განსაზღვრული $f(x)$ ფუნქცია - ამოხსნილი ფუნქციაა.

1.2. სასრულ განზომილებიანი ოპტიმიზაციის ამოცანების კლასიფიკაცია

ოპტიმიზაციის სტატიკური ამოცანების კლასიფიკაცია ძირითად დაკავშირებულია დასაშვები

ამონახსნების სიმრავლესთან, რომელიც შემდეგნაირად შეიძლება იყოს განსაზღვრული: $Q = R^n$ ან $Q \neq R^n$.

პირველ შემთხვევაში ადგილი აქვს უპირობო მინიმიზაციის ამოცანას, რომელშიც საჭიროა მოიძებნოს ისეთი $x^* \in R^n$ წერტილი, სადაც (1.1) უტოლობა სამართლიანია R^n სიმრავლის ყველა წერტილისათვის შეზღუდვების გარეშე. მეორე შემთხვევაში კი საქმე გვაქვს პირობითი მინიმიზაციის ამოცანასთან, სადაც დასაშვები Q სიმრავლე გარკვეული სახის შეზღუდვებითაა განსაზღვრული.

თუ სიმრავლე მოცემულია შემდეგი სახით:

$$Q = \{ x \in R^n \mid g_i(x) \leq 0, i=1, m; h_j(x)=0, j=1, k \}, \quad (1.4)$$

სადაც ყველა რიცხვითი g_i და h_j ფუნქცია განსაზღვრულია R^n -ზე, მაშინ ოპტიმიზაციის სტატიკური ამოცანა მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანას წარმოადგენს. ამ კლასის ამოცანებს შორის განანსხვავებენ უტოლებებით მოცემული შეზღუდვებით, სადაც Q სიმრავლეს აქვს (1.4) სახე და $k=0$; ამოცანებს ტოლობებით მოცემული შეზღუდვებით, როცა (1.4) -ში $m=0$; ამოცანებს შერეული სახის შეზღუდვებით, როცა $m \neq 0$ და $k \neq 0$.

ამგვარად, მათემატიკური დაპროგრამების ზოგადი ამოცანა მდგომარეობს დამოუკიდებელი x_1, x_2, \dots, x_n ცვლადების ისეთი მნიშვნელობების მოძებნაში, რომლის დროსაც მიზნის $f(x)=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ფუნქცია დასაშვებ Q სიმრავლეზე თავის მინიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს. ფორმულირებული ამოცანა კომპაქტურად შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$\min\{f(x) \mid g_i(x) \leq 0; h_j(x)=0; x \in R^n\} \quad (1.5)$$

მათემატიკური დაპროგრამების (1.5) ამოცანის თავისებურებას, რომელიც მას კლასიკური ანალიზის

ექსტრემალური ამოცანებისაგან განასხვავებს, შეზღუდვებში არსებული უტოლბათა სისტემა განაპირობებს. აღნიშნულის გამო შეუძლებელი ხდება პირობითი მინიმიზაციის ამოცანების გადასაწყვეტად ლაგრანჟის თანამამრავლების საფუძველზე შემუშავებული ცნობილი მეთოდების გამოყენება.

იმის მიხედვით, თუ როგორი სახითაა წარმოდგენილი $f(x)$, $g(x)$ და $h(x)$ ფუნქციები, ადგილი აქვს მათემატიკური დაპროგრამების სხვადასხვა ამოცანას. თუ $f(x)$, $g(x)$ და $h(x)$ წრფივი ფუნქციებია, მაშინ (1.5) ამოცანას წრფივი დაპროგრამირების ამოცანას უწოდებენ.

წრფივი დაპროგრამების ამოცანები მათემატიკური დაპროგრამების ყველაზე მარტივი და შესწავლილი საკითხებია. ასეთი ტიპის ამოცანების ამოსახსნელად ძირითადად სიმპლექს მეთოდი გამოიყენება.

მათემატიკური დაპროგრამების ყველაზე უფრო ზოგადი, ფართო კლასია არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანები. ამ კატეგორიის ამოცანებს მიეკუთვნება ყველა ის ამოცანა, რომელსაც ერთი მაინც არაწრფივი შეზღუდვა ან არაწრფივი მიზნის ფუნქცია გააჩნია.

არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანების ძირითად სირთულეს წარმოადგენს $f(x)$, $g(x)$ და $h(x)$ ფუნქციების არაწრფივობა და ყველაფერი რაც $f(x)$ ფუნქციის აბსოლუტური (გლობალური) ექსტრემუმის განსაზღვრას უკავშირდება. გარდა ამისა, პრობლემას კიდევ უფრო ართულებს და ამძიმებს ის შემთხვევა, როცა მიზნის ფუნქცია არაგლუვია და შეიძლება გააჩნდეს არა მარტო წვეტის წერტილები, არამედ კრიტიკული წერტილების ისეთი სიმრავლე, როგორცაა “ხევი”, ქედი, “პლატო” და სხვა.

მონოგრაფიაში დასმული ამოცანები ძირითადად არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანებს მიეკუთვნებიან, ხოლო რეალური ობიექტებისათვის ლოკალური ექსტრემუმის შესახებ აპრიორული ინფორმაცია

პრაქტიკულად არ არსებობს, ამიტომ ოპტიმიზაციის ამოცანებში ძებნა ძირითადად მიმართულია აბსოლუტური ექსტრემუმის განსაზღვრისათვის.

1.3. მრავალგანზომილებიანი ოპტიმიზაციის პირველი რიგის დეტერმინირებული მეთოდი

ექსტრემუმის ძებნის პირველი რიგის მეთოდებში გადაადგილების მიმართულების $d^{(k)}$ ვექტორი საოპტიმიზაციო ფუნქციის გრადიენტის საშუალებით განისაზღვრება ამიტომ მათ გრადიენტულ მეთოდებს უწოდებენ. $f(x)$ ფუნქციის მინიმიზაციის შემთხვევაში $d^{(k)} = -\nabla f(x^{(k)})$ და ამიტომ ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \lambda_k \nabla f(x^{(k)}), \quad \lambda_k > 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1.6)$$

λ_k ბიჯის შერჩევის წესის მიხედვით განანსხვავებენ გრადიენტული მეთოდის სხვადასხვა მოდიფიკაციას. საჭიროა შევნიშნოთ, რომ როცა λ_k ძალიან მცირე სიდიდეა, მართალია ადგილი აქვს მიზნის ფუნქციის კლებას

$$f(x^{(k+1)}) = f(x^{(k)} - \lambda_k \nabla f(x^{(k)})) < f(x^{(k)}), \quad (1.7)$$

მაგრამ მოთხოვნილი სიზუსტით ექსტრემუმის მისაღწევად იტერაციების ძალიან დიდი რაოდენობაა საჭირო. მეორის მხრივ, ბიჯის შედარებით დიდ მნიშვნელობას შეუძლია გამოიწვიოს (1.7) პირობის დარღვევა.

1.4. გრადიენტული მეთოდი მუდმივი ბიჯით

პირველი რიგის მეთოდებს შორის უმარტივესია გრადიენტული მეთოდი მუდმივი ბიჯით [16], სადაც

$\lambda_k = \lambda > 0$. აღნიშნულ მეთოდში ექსტრემუმისაკენ მოძრაობა შემდეგი რეკურენტული ფორმულის საფუძველზე ხორციელდება:

$$x^{k+1} = x^k - \lambda \frac{\nabla f(x^k)}{\sqrt{\nabla f(x^k)^T \nabla f(x^k)}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1.8)$$

ამ ფორმულით გადაადგილებას ადგილი აქვს მანამ, სანამ (1.7) პირობა არ დაირღვევა. პირობის დარღვევის შემთხვევაში ალგორითმით გათვალისწინებულია x^k წერტილში დაბრუნება და ამ წერტილიდან ანტიგრადიენტის მიმართულებით გადაადგილება შემცირებული $\lambda/2$ ბიჯით. ბიჯის შემცირებას ადგილი აქვს მანამ, სანამ მისი მნიშვნელობა რაგინდ მცირე $\delta > 0$ სიდიდეზე ნაკლები არ აღმოჩნდება.

გამოთვლის პროცესის დამთავრების კრიტერიუმად შეიძლება მივიღოთ პირობები:

$$\|x^{(k+1)} - x^{(k)}\| \leq \delta \text{ ან } |f(x^{(k+1)}) - f(x^{(k)})| \leq \varepsilon, \quad (1.9)$$

სადაც δ და ε რაღაც დადებითი რიცხვებია, რომლებიც ახასიათებენ მინიმუმაციის ამოცანის გადაწყვეტის სიზუსტეს, ან პირობა

$$\|\nabla f(x^{(k)})\| \leq \varepsilon. \quad (1.10)$$

1.5. უსწრაფესი დაშვების მეთოდი

უსწრაფესი დაშვების მეთოდი [16,18], რომელიც კოშის სახელთანაა დაკავშირებული, ჩვეულებრივი გრადიენტული მეთოდის გარკვეული სახესხვაობაა და მისგან იმით განსხვავდება, რომ $\lambda_k > 0$ ბიჯის სიდიდე შეირჩევა შემდეგი პირობიდან:

$$f(x^{(k)} - \lambda_k \nabla f(x^{(k)})) = \min_{\lambda} f(x^{(k)} - \lambda \nabla f(x^{(k)})). \quad (1.11)$$

უკანასკნელი პირობის თანახმად, ანტიგრადიენტის მიმართულებით მოძრაობა გრძელდება მანამ, სანამ $f(x)$ ფუნქციის მნიშვნელობა მცირდება. როგორც კი ფუნქციის შემცირება შეწყდება, განისაზღვრება ახალი მიმართულება და პროცესი ანალოგიურად წარიმართება მანამ, სანამ გამოთვლების დამთავრების (1.9, 1.10) პირობები არ დაკმაყოფილდება. ჩვეულებრივი გრადიენტული მეთოდისაგან განსხვავებით, აღნიშნულ მეთოდს ექსტრემუმის წერტილის მისაღწევად ნაკლები რაოდენობის იტერაციები სჭირდება, რის გამოც იგი შედარებით უფრო სწრაფქმედია.

1.6. აბსოლუტური ექსტრემუმის ძებნის თანამედროვე მეთოდები

განვიხილოთ მინიმიზაციის შემდეგი ამოცანა:

$$\min\{f(x) \mid x=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in Q \subset R^n\}, \quad (1.12)$$

სადაც $f(x)$ მულტიმოდალური ფუნქციაა.

ძალიან ხშირად პრაქტიკულ ამოცანებში მიზნის ფუნქციას აქვს მულტიმოდალური სახე, ამიტომ უფრო მიზანშეწონილს წარმოადგენს მათი მინიმუმის მოსაძებნად გამოვიყენოთ გლობალური ანუ აბსოლუტური ექსტრემუმის ძებნის მეთოდები.

1.7. შემთხვევითი გადარჩევის მეთოდი

შემთხვევითი გადარჩევის მეთოდი [23] აბსოლუტური ექსტრემუმის ძებნის უმარტივესი მეთოდია, რომელიც ε სიზუსტით კრებადობას

მხოლოდ $N \rightarrow \infty$ რაოდენობის სტატისტიკური ცდების საფუძველზე უზრუნველყოფს. აღნიშნული მეთოდით მრავალი ცვლადის ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის მოძებნა დიდი რაოდენობის ცდების ჩატარებას ითვალისწინებს, რაც გამოთვლითი ხასიათის მნიშვნელოვან შრომატევადობასთანაა დაკავშირებული.

მართლაც, ვთქვათ ძებნის დასაშვები არე წარმოადგენს n -განზომილებიან კუბს, რომლის მოცულობა ტოლია $V=1$, ხოლო ε -მიდამოს მოცულობაა $V=\varepsilon^n$, მაშინ ε – მიდამოში შემთხვევითი წერტილის მოხვედრის ალბათობა შეადგენს $p(N)=1-(1-\varepsilon^n)^N$. მაშასადამე, სტატისტიკური ცდების ის რაოდენობა, რომლის საფუძველზე p ალბათობით შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ ε სიზუსტით მოძებნილი ოპტიმალური მნიშვნელობა ჭეშმარიტ მნიშვნელობას შეესაბამება, ტოლია

$$N = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^n \ln[1/(1-p)]. \quad (1.13)$$

მაგალითად, ორგანზომილებიანი ამოცანის შემთხვევაში ($n=2$), როცა $p=1/2$ და $\varepsilon = 10^{-3}$, საჭიროა არანაკლებ

$$N = (1/10^{-3})^2 \ln[1/(1-1/2)] = 10^6 \ln 2 = 0.69 \cdot 10^6,$$

რაოდენობის სტატისტიკური ცდების ჩატარება.

1.8. ძებნის არის თანდათანობით შემცირების მეთოდი

ამ მეთოდის [16], არსი მულტიმოდალური (მრავალექსტრემუმიანი) ფუნქციის განსაზღვრის არის თანდათანობით შემცირებაში მდგომარეობს. ვთქვათ, $f(x)$, $x \in R^n$ ფუნქციის აბსოლუტური მინიმუმი თავდაპირველად იძებნება n -განზომილებიან კუბში.

$$a_j \leq x \leq b_j \quad j=1,2, \dots, n . \quad (1.14)$$

ალგორითმის თანახმად, k -ურ იტერაციაზე ჩატარდება N^k - ური რაოდენობის სტატისტიკური ცდების სერია და საუკეთესო შედეგს დაიმასხოვრებენ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, (1.14) არეში შემთხვევითი წესით გენერირებული წერტილებიდან შეირჩევა ის $x_0^{(k)}$ რომელსაც საოპტიმიზაციო ფუნქციის მინიმალური $f_o^{(k)}$ მნიშვნელობა შეესაბამება. $(k+1)$ იტერაციაზე $N^{(k+1)}$ რაოდენობის ცდები ჩატარდება ჰიპერ კუბში, რომლის ცენტრი დამახსოვრებულ $x_0^{(k)}$ წერტილშია, ხოლო წიბო $c>1$ - ჯერ შემცირებულია. მიღებულ არეში შემთხვევითი წერტილების გენერირება შემდეგი ფორმულის საფუძველზე განხორციელდება:

$$x_j^{(k+1)} = x_{0j}^{(k)} - (b_j^{(k)} - a_j^{(k)})(1 - 2\xi_j) / 2c \quad j=1,2, \dots, n, \quad (1.15)$$

სადაც ξ_j - თანაბრადგანაწილებული შემთხვევითი რიცხვია $[0;1]$ ინტერვალში. მომდევნო იტერაციებში, c კოეფიციენტის გაზრდის საფუძველზე, ძეხნის არე (1.14) კვლავ შემცირდება და პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ არ შესრულდება კრებალობის პირობა

$$|b_j - a_j| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon > 0, \quad j=1,2, \dots, n \quad (1.16)$$

განხილული ალგორითმი გარკვეული სიზუსტით უზრუნველყოფს აბსოლუტური ექსტრემუმის მოძებნას, მაგრამ იმ პირობით, თუ (1.14) არის შემცირების პროცესში საძებნი აბსოლუტური ექსტრემუმი არ დაიკარგება. ამ პირობის შესრულება მხოლოდ $N^k \rightarrow \infty$ რაოდენობის სტატისტიკური ცდების ჩატარებით არის შესაძლებელი.

1.9. Ψ - გარდაქმის პრინციპი

განვიხილოთ მრავალი ცვლადის ფუნქციის [19,20] მაქსიმიზაციის ამოცანა

$$\max \{ f(x) \mid x=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in Q \subset R^n \}. \quad (1.17)$$

ძირითადი არსი Ψ - გარდაქმის პრინციპისა, რომელიც აბსოლუტური ექსტრემუმის მხოლოდ მნიშვნელობის განსაზღვრას უზრუნველყოფს, შემდეგში მდგომარეობს. არაწრფივი L ოპერატორის გამოყენების საფუძველზე n ცვლადის $f(x)$ ფუნქცია გარდაიქმნება ანალიზისათვის შედარებით უფრო მარტივ, ერთი ცვლადის უწყვეტ, მონოტონურად კლებად $\Psi(\zeta)$ ფუნქციად, სადაც ζ არგუმენტი საოპტიმიზაციო $f(x)$ ფუნქციის სკალარულ მნიშვნელობას წარმოადგენს, როცა $x \in Q$, ე.ი. $L\{f(x)\} \rightarrow \Psi(\zeta)$.

აღნიშნული გარდაქმნა ხორციელდება $f(x)$ ფუნქციის ლებეგის დაყოფით ნახ.1.1ა, რის შედეგად ფუნქციის მნიშვნელობათა ცვლილების $[\inf f(x), \sup f(x)]$ ინტერვალის დანაწილდება ტოლი სიდიდის შუალედებად ისე, რომ შესრულდეს პირობა:

$$\inf f(x) = \zeta_1 < \zeta_2 < \dots < \zeta_p < \zeta_\mu = \sup f(x),$$

$$\zeta_{p+1} - \zeta_p = \nabla \zeta, \quad (1.17)$$

სადაც μ - ლებეგის დონეების რიცხვია.

$f(x)$ ფუნქციის ლებეგის დაყოფის საფუძველზე მიიღება მიმდევრობა სიმრავლეებისა

$$Q_p(\zeta) = \{ x \mid f(x) \geq \zeta_p \} \subset Q, \quad p=1, \mu, \quad (1.18)$$

რომლის თითოეული ელემენტის ზომა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$\Psi(\zeta_p) = \int_Q \dots \int [f(x) - \zeta_p] \theta(x, \zeta_p) dx, \quad (1.19)$$

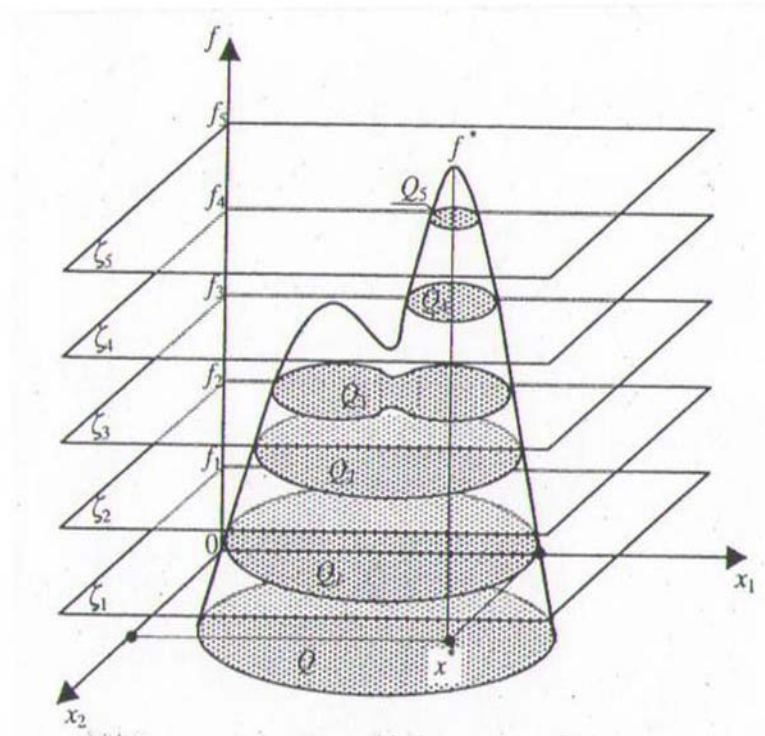
სადაც $\theta(x, \zeta_p)$ შემდეგი ტიპის მახასიათებელი ფუნქციაა

$$\theta(x, \zeta_p) = \begin{cases} 1, x \in Q_p(\zeta), \\ 0, x \notin Q_p(\zeta). \end{cases} \quad (1.20)$$

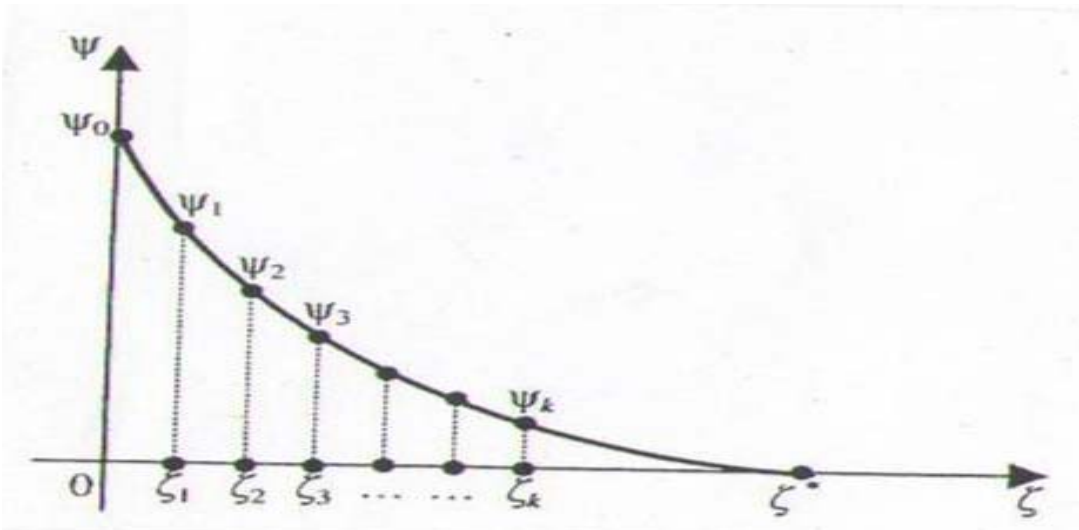
საჭიროა შევნიშნოთ, რომ $f(x)$ ფუნქციის მინიმიზაციის შემთხვევაში (1.17) და (1.18) გამოსახულებებში უტოლობის ნიშნები საწინააღმდეგო ნიშნით უნდა შეიცვალოს.

გეომეტრიულად $\Psi(\zeta_p)$ წარმოადგენს ზომას იმ $(n+1)$ განზომილებიანი მოცულობისა, რომელიც $f(x)$ ფუნქციის ზედაპირსა და ζ_p ჰიპერსიბრტყეს შორის წარმოიქმნება.

(1.19) ფორმულის საშუალებით აგებული $\Psi(\zeta)$ ფუნქცია (ნახ. 1.1ბ) უწყვეტი, დიფერენცირებადი და მონოტონურად მკაცრად კლებადი ერთგანზომილებიანი ფუნქციაა. ცხადია, ასეთი ფუნქციის ანალიზი ბევრად უფრო მარტივია, ვიდრე მრავალგანზომილებიანი მულტი მოდალური ფუნქციისა. მტკიცდება [20], რომ $f(x)$ ფუნქციის მაქსიმიზაციის ან მინიმიზაციის დროს, p ინდექსის გაზრდის შედეგად,



ნახ. 1.1ა. $f(x)$ ფუნქციის ლებგის დაყოფა



ნახ.1.1ბ. $\psi(\zeta)$ ფუნქცია

უწყვეტი, დიფერენცირებადი და მონოტონურად მკაცრად კლებადი ერთგანზომილებიანი $\psi(\zeta)$ ფუნქცია მცირდება და თავის მინიმუმს აღწევს $f(x)$ ფუნქციის აბსოლუტური ექსტრემუმის დროს, რომლის სიდიდე ტოლია ζ^* , ე.ი

$$\lim_{\zeta \rightarrow \zeta^*} \psi(\zeta) = 0. \quad (1.21)$$

როგორც ვხედავთ, მრავალი ცვლადის $f(x)$ ფუნქციის აბსოლუტური მნიშვნელობის განსაზღვრის ამოცანა გარდაქმნილი $\Psi(\zeta)$ ფუნქციის ნულის მოძებნის ამოცანამდე დაიყვანება, რაც ერთცვლადიანი $\Psi(\zeta)=0$ განტოლების ამოხსნასთანაა დაკავშირებული.

ამგვარად, Ψ გარდაქმნის პრინციპის საფუძველზე საოპტიმიზაციო $f(x)$ ფუნქციის აბსოლუტური ექსტრემუმის მხოლოდ სკალარული f^* მნიშვნელობა განისაზღვრება. მიუხედავად იმისა, რომ

გარდაქმნის აღნიშნულ პროცედურაში განსაზღვრა დამოუკიდებელი ცვლადების იმ $x^*=(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ ვექტორისა, რომლის დროსაც ექსტრემალური f^* მნიშვნელობა მიიღება, არ არის გათვალისწინებული, Ψ გარდაქმნის პრინციპმა ფართო გამოყენება ჰპოვა საინჟინრო პრაქტიკაში და მის საფუძველზე შემუშავებულ იქნა ოპტიმიზაციის მთელი რიგი მეთოდები [20], რომელთაგან ერთ-ერთს ქვემოთ განვიხილავთ.

1.10. სიმძიმის ცენტრების მეთოდი

სიმძიმის ცენტრების მეთოდი [21] შემუშავებულია იმ ფაქტების მტკიცების საფუძველზე, რომლის თანახმად მულტიმოდალური $f(x)$ ფუნქციის ლებეგის დაყოფის შედეგად წარმოქმნილი ერთმანეთში ჩალაგებული შემოსაზღვრული და ჩაკეტილი Q_p , $p=1,2,\dots, R$, სიმრავლეების სიმძიმის ცენტრების $\{x_p\}$ მიმდევრობა კრებადია აბსოლუტური ექსტრემუმის x^* წერტილში.

განვიხილოთ მაქსიმიზაციის შემდეგი ამოცანა:

$$\max\{f(x) \mid x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in Q \subset R^n, \quad (1.22)$$

სადაც $f(x)$ მულტიმოდალური ფუნქციაა, რომელიც განსაზღვრულია შემოსაზღვრულ და ჩაკეტილ $Q \subset R^n$, სიმრავლეზე. დავუშვათ, რომ $x^*=(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ აბსოლუტური ექსტრემუმის წერტილია, სადაც

$$f(x^*) > f(x) \quad \forall x_n) \in Q.$$

$f(x)$ ფუნქციის ლებეგის დაყოფით ფუნქციის მნიშვნელობათა ცვლილებების $[\inf f(x), \sup f(x)]$ ინტერვალი დავანაწილოთ ტოლი სიდიდის შუალედებად ისე, რომ შესრულდეს პირობა

$$\inf f(x) = \zeta_1 < \zeta_2 < \dots < \zeta_p < \dots < \zeta_{\mathfrak{R}} = \sup f(x),$$

$$\zeta_{p+1} - \zeta_p, \quad (1.23)$$

სადაც \mathfrak{R} ლებეგის დონეების რიცხვია.

აღნიშნული დაყოფის შედეგად წარმოიქმნება სიმრავლეების $\{Q_p(\zeta)\}$ მიმდევრობა, სადაც

$$Q_p(\zeta) = \{x \mid f(x) \geq \zeta_p\} \subset Q, \quad p = 1, 2, 3, \dots, \mathfrak{R}. \quad (1.24)$$

$(f(x))$ ფუნქციის მინიმიზაციის შემთხვევაში (1.23) და (1.24) გამოსახულებებში უტოლობის ნიშნები საწინააღმდეგო ნიშნით უნდა შეიცვალოს).

ზოგად შემთხვევაში, $f(x)$ - ის ზედაპირის კონფიგურაციაზე დამოკიდებულებით, $Q_p(\zeta)$ სიმრავლე შეიძლება შედგებოდეს რამდენიმე $\ell_i, i = 1, 2, \dots, r_p$ ქვესიმრავლეებისაგან, სადაც r_p ლოკალური ექსტრემუმის რიცხვია ζ_p დონეზე, ე.ი.

$$Q_p(\zeta) = \bigcup \ell_i(\zeta). \quad (1.25)$$

მტკიცდება [21], რომ როცა $\zeta \rightarrow \zeta_{\mathfrak{R}}$, სადაც $\zeta_{\mathfrak{R}} = \sup f(x)$, მიიღება უწყვეტი მიმდევრობა ერთმანეთში ჩალაგებული შემოსაზღვრული და ჩაკეტილი $Q_p(\zeta)$ სიმრავლეებისა, რომელთა ზომა ნულისკენ მიისწრაფის. მაშინ, ფუნქციონალური ანალიზის ცნობილი თეორემის თანახმად, აღნიშნულ სიმრავლეებს ერთადერთი საერთო წერტილი გააჩნია. რადგან $x^* \in Q^* \{x \mid f(x) \geq \zeta_p = \sup f(x)\}$, ამიტომ ამ ერთადერთ წერტილს წარმოადგენს $f(x)$ ფუნქციის აბსოლუტური ექსტრემუმის x^* წერტილი.

$$\bigcap Q_p(\zeta) = \bigcap (\bigcup \ell_i(\zeta)) = x^*. \quad (1.26)$$

ვინაიდან $Q_p(\zeta)$ სიმრავლის ნებისმიერი წერტილიც მიისწრაფის x^* -სკენ, ამიტომ ეს უკანასკნელი შეიძლება განსაზღვრულ იქნას როგორც $Q_p(\zeta)$, $p=1, 2, \dots, \mathfrak{R}$ სიმრავლეების სიმძიმის

ცენტრების $\{x_p(\zeta)\}$ მიმდევრობის ზღვარი, როცა $\zeta \rightarrow \zeta_{\text{წ}}, \text{ ე.ი.}$

$$x^* = \lim\{x_p(\zeta)\}, \quad (1.27)$$

სადაც

$$x_p(\zeta) = \int \dots \int_{Q_p} x [f(x) - \zeta_p]^2 dx \Big/ \int \dots \int_{Q_p} [f(x) - \zeta_p]^2 dx. \quad (1.28)$$

(1.28) გამოსახულების ანალიზური გამოთვლა რთულია. უმეტეს შემთხვევაში მისი რეალიზაცია პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან ინტეგრირების Q_p არის ცხადი სახით განსაზღვრა ვერ ხერხდება. ამიტომ შემოტანილია შემდეგი მახასიათებელი ფუნქცია:

$$\theta(x, \zeta_p) = \begin{cases} 1, & f(x) \geq \zeta_p \\ 0, & f(x) < \zeta_p \end{cases}, \quad (1.29)$$

რომლის გათვალისწინებით გვექნება

$$x_p(\zeta) = \int \dots \int_{Q_p} x [f(x) - \zeta_p]^2 \theta(x, \zeta_p) dx \Big/ \int \dots \int_{Q_p} [f(x) - \zeta_p]^2 \theta(x, \zeta_p) dx. \quad (1.30)$$

სიმძიმის ცენტრების კოორდინატების გამოსათვლელად გამოყენებულია მონტე-კარლოს მეთოდი, რისთვისაც საჭიროა (1.30) გამოსახულების სასრულო ჯამების სახით წარმოდგენა:

$$x_p(\zeta) = \sum_{i=1}^L x^{(i)} [f(x^{(i)}) - \zeta_p]^2 \theta(x^{(i)}, \zeta_p) / \sum_{i=1}^L [f(x^{(i)}) - \zeta_p]^2 \theta(x^{(i)}, \zeta_p), \quad (1.31)$$

სადაც L რაოდენობაა იმ სტატისტიკური ცდებისა, როცა $f(x) \geq \zeta_p$ (მინიმიზაციის შემთხვევაში - როცა $f(x) \leq$

ζ_p). საჭიროა შევნიშნოთ, რომ მონტე-კარლოს მეთოდი, თავისი ზოგადობისა და რეალიზაციის სიმარტივის გამო, თითქმის ერთადერთ საშუალებას წარმოადგენს დიდი განზომილების ჯერადი ინტეგრალების გამოსათვლელად.

(1.31) ფორმულის საშუალებით განსაზღვრული $x(\zeta)$ ფუნქცია შეიძლება ჩაითვალოს როგორც სკალარული ζ არგუმენტის შემთხვევითი ფუნქცია და დიდი რიცხვების ცენტრალური ზღვრული თეორემის თანახმად [27], ერთთან მიახლოებული ალბათობით, გვექნება

$$x_p(\zeta) = x_p(\zeta).$$

ამგვარად ლებეგის ზოგიერთი ფიქსირებული ζ_p , დონეებისათვის მონტე-კარლოს მეთოდით გამოითვლება რა სიმძიმის ცენტრების კოორდინატების მნიშვნელობები $x_{pj}(\zeta)$, $j=1,2,\dots, n$; $p=1,2, \dots, \mathfrak{R}$, იმ შემთხვევით ამორჩეული ცვლადებისათვის, რომლებიც შეადგენენ $Q_p(\zeta)$ სიმრავლევებს, მიიღება წერტილთა მიმდევრობების შემდეგი სისტემა:

$$\begin{aligned} & \{\zeta_p, x_{p1}\}, p=1,2 \dots \mathfrak{R}, \\ & \{\zeta_p, x_{p2}\}, p=1,2 \dots \\ & \dots \dots \dots \\ & \{\zeta_p, x_{pn}\}, p=1,2 \dots \mathfrak{R}, \end{aligned} \tag{1.32}$$

რომელთა ზღვრულ წერტილს, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული $f(x)$ ფუნქციის აბსოლუტური ექსტრემუმის წერტილის $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ კოორდინატები წარმოადგენს.

ვინაიდან აბსოლუტური ექსტრემუმის მიდამოში $f(x) \geq \zeta_p$ ხდომილობის ალბათობა უმნიშვნელოა, ამიტომ (1.32) მიმდევრობების ზღვრული წერტილის ანუ (1.22) ამოცანის ოპტიმალური ამონახსნის მოძებნა დაკავშირებულია შესაბამისი ემპირიული წერტილების

აპროქსიმაციასთან. აპროქსიმაციის შედეგად
 განსაზღვრული $x_j = x_j(\zeta)$ ანალიზური
 დამოკიდებულების საფუძველზე, საწყისი (1.22)
 ამოცანა დაიყვანება ერთგანზომილებიანი
 ოპტიმიზაციის ამოცანაზე

$$\max\{f[x(\zeta)] \mid \zeta \in [\zeta_{\text{წ}} - \Delta\zeta, \zeta_{\text{წ}} + \Delta\zeta]\}, \quad (1.33)$$

რომელშიც ექსტრემუმის ძებნის სტრატეგია შემდეგი
 რეკურენტული ფორმულით განისაზღვრება:

$$\zeta_{i+1} = \zeta_i + \lambda \nabla f[x(\zeta_i)], \quad \zeta_0 = \zeta_{\text{წ}} \quad (1.34)$$

სადაც λ პროპორციულობის კოეფიციენტია, $\lambda \in \{0,1\}$.

შევნიშნოთ, რომ $f(x)$ ფუნქციის მინიმიზაციის
 შემთხვევაში (1.33) ამოცანაში ადგილი ექნება
 მინიმიზაციის ერთგანზომილებიანი ამოცანის
 გადაწყვეტას.

სიმძიმის ცენტრების მეთოდი მიახლოებითია. იგი
 მრავალი ცვლადის მულტიმოდალური ფუნქციის
 აბსოლუტურ ექსტრემუმს $-1/\sqrt{N}$ სიზუსტით ეძებს,
 სადაც N სტატისტიკური ცდების რაოდენობაა. მეთოდის
 ცდომილებას ძირითადად $x_j(\zeta)$, $j=1,2, \dots, n$ ფუნქციური
 დამოკიდებულების ცდისეული წერტილების
 განსაზღვრა და მათი აპროქსიმაცია განაპირობებს,
 ვინაიდან $f(x)$ ფუნქციის ზედაპირის სხვადასხვა
 კონფიგურაციის დროს აღნიშნული ფუნქციები
 შეიძლება არასაკმარისი სიგლუვით დახასიათდნენ და
 ემპირიული წერტილების აპროქსიმაციის შედეგად
 ცდომილებები წარმოიშვას.

მეთოდის განსაკუთრებლობას წარმოადგენს ის,
 რომ მისი გამოყენებისას სწრაფად ხდება გლობალური
 ექსტრემუმის მიდამოს ლოკალიზაცია, ხოლო შემდეგში
 ოპტიმალური წერტილის მდებარეობის დაზუსტება
 შესაძლებელია ნებისმიერი დეტერმინიზებული
 მეთოდით.

ზემოთმოცემული მეთოდების გაანალიზების შედეგად მივედით შემდეგ დასკვნამდე:

1. შემთხვევითი გადარჩევის მეთოდი მარტივია კომპიუტერული რეალიზაციის თვალსაზრისით, ხოლო რაც შეეხება დიდი რაოდენობის ცდების ჩატარებას პარამეტრების საჭირო სიზუსტით მიღების მიზნით არ წარმოადგენს დაბრკოლებას თანამედროვე კომპიუტერებისათვის.

2. Ψ - გარდაქმნის მეთოდი იძლევა საშუალებას მონიხოს საოპტიმიზაციო ფუნქციის მხოლოდ გლობალური ექსტრემუმი და არ იძლევა საშუალებას მონიხოს პარამეტრების ის მნიშვნელობები, რომელთა დროსაც გლობალურ ექსტრემუმს აქვს ადგილი. პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობების საპოვნელად Ψ -გარდაქმნის მეთოდთან ერთად საჭიროა სხვა დეტერმინირებული მეთოდების გამოყენება.

3. სიმძიმის ცენტრების მეთოდი შეიძლება ითქვას, რომ არის ყველაზე წარმატებული და ზუსტი მეთოდი, მაგრამ მისი გამოყენება მოითხოვს საკმაოდ რთულ მათემატიკურ აპარატს.

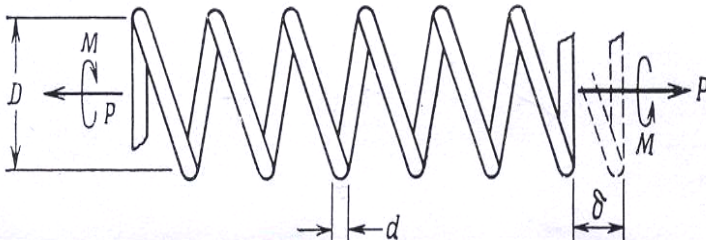
ამგვარად, მონოგრაფიაში დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად შესაძლებელია გამოვიყენოთ ზემოთ ჩამოთვლილი ყველა მეთოდი, მაგრამ უმეტეს შემთხვევებში ყველაზე მიზანშეწონილად მიგვაჩნია შემთხვევითი გადარჩევის და განსაკუთრებულ შემთხვევებში კი სიმძიმის ცენტრის მეთოდების გამოყენება.

თავი II ცილინდრული ზამბარის ოპტიმალური წონის განსაზღვრა

2.1. ამოცანის დასმა

თანამედროვე პირობებში ზამბარები ფართოდ გამოიყენებიან ტექნიკის სხვადასხვა დარგში, დაწეებული მასალების გადამმუშავებელი “კლასიკური” ტექნოლოგიური მანქანებით, დამთავრებული ყველაზე სწრაფმავალი საფრენი აპარატებით. ყველა შემთხვევაში მინიმალური წონის მქონე ზამბარების პროექტირება არის ძალიან მნიშვნელოვანი ამოცანა.

განვიხილოთ გრესხაზე მომუშავე ცილინდრული ზამბარა, ნახ. 2.1.



ნახ.2.1. ცილინდრული ზამბარა

შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:

d - მავთულის დიამეტრი; D - ზამბარის საშუალო დიამეტრი; N - აქტიურ ხვიათა რიცხვი;

Q - არააქტიურ ხვიათა რიცხვი (დაბოლოებათა ხვები);

E - იანგის მოდული; G - დაძვრის მოდული; P -

მოღებული დატვირთვა; k - გრესის დაძაბულობის

კონცენტრაციის კოეფიციენტი; g - თავისუფალი

ვარდნის აჩქარება; M - მოღებული მგრესავი მომენტი; c

- ზამბარის ინდექსი; θ - დაგრესის კუთხე; σ -

დაძაბულობა ღუნვისას; σ_{\max} - დასაშვები მაქსიმალური დაძაბულობა ღუნვისას; ρ - ზამბარის მასალის სიმკვრივე.

გრეხაზე მომუშავე ზამბარების [1,41] პარამეტრებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$k = (4c-1)/(4c-4) + 0.615/c. \quad (2.1)$$

ზამბარის წონა ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$F=(N+Q)\pi^2 Dd^2 \rho g/4. \quad (2.2)$$

ზამბარის წონა აიღება როგორც მიზნის ფუნქცია, რომლის მინიმიზაცია უნდა გაკეთდეს. თუ ზამბარა დატვირთულია თავისი ღერძის გარშემო მგრეხავი მომენტით, მაშინ ღუნვის დაძაბულობა ზამბარის მავთულში ტოლია $\sigma = 10,2Mk/d^2$, სადაც k გრეხის დაძაბულობის კონცენტრაციის კოეფიციენტია და განისაზღვრება ექსპერიმენტული გზით. იგი ტოლია $k=1,425(d/D)^{0,115}$.

მომენტსა და გრეხის კუთხეს შორის დამოკიდებულებას აქვს სახე

$$\theta = 3670 NDM/Ed^4, \quad (2.3)$$

სადაც θ იზომება გრადუსებში.

მოცემული θ კუთხის დროს (2.3)

განტოლებიდან შესაძლებელია გავიგოთ აქტიურ ხვიათა რიცხვი N და ჩავსვათ (2.2) გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$F = \pi^2 \rho g Q D d^2 / 4 + \pi^2 \rho g E \theta d^6 / (14680.M) =$$

$$= \pi^2 \rho g (Q D d^2 / 4 + E \theta d^6 / (14680.M)). \quad (2.4)$$

მასალის რღვევის თავიდან აცილების მიზნით, დაძაბულობა მავთულის ღუნვისას საჭიროა ნაკლები იყოს, ვიდრე σ_{\max} :

$$14,5 M/d^{2,885} D^{0,115} - \sigma_{\max} \leq 0. \quad (2.5)$$

გარდა ამისა მოითხოვება, რომ მავთულის დიამეტრის ზომები იყოს მოთავსებული საზღვრებში, რომელიც განპირობებულია სორტამენტებით, მოცემული მავთულისათვის.

$$d_1 \leq d \leq d_2, \quad (2.6)$$

სადაც d_1 და d_2 ზამბარის მავთულის დიამეტრის ქვედა და ზედა საზღვრებია შესაბამისად.

გაბარიტული პირობებიდან გამომდინარე აგრეთვე მოცემულია ზამბარის საშუალო დიამეტრი

$$D_1 \leq D \leq D_2, \quad (2.7)$$

სადაც D_1 და D_2 ზამბარის საშუალო დიამეტრის ქვედა და ზედა საზღვრებია შესაბამისად.

რაც შეეხება ზამბარის ინდექსს, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით $c = D/d$, მეტწილად უნდა აკმაყოფილებდეს უტოლობას

$$8 \leq D/d \leq 12. \quad (2.8)$$

გამოყენება ზამბარებისა რომელთა ინდექსი $c < 4$ არ არის რეკომენდირებული, რადგანაც დახვევა ასეთი ზამბარებისა გაძნელებულია და ხვიების გარეთა ბოჭკოებში შეიძლება წარმოიშვას ბზარები და ჩანაგლეჯები.

ამგვარად მინიმალური წონის მქონე ზამბარის პროექტირების ამოცანა მიიყვანება d და D ცვლადების შერჩევის ამოცანამდე, რომელიც უზრუნველყოფს (2.4) მიზნის ფუნქციის (ზამბარის წონის) მინიმიზაციას და ამავდროულად დააკმაყოფილებს შეზღუდვებს (2.5, 2.6, 2.7, 2.8).

იმასთან დაკავშირებით, რომ ფუნქცია (2.4) და შეზღუდვა (2.5, 2.8) არიან არაწრფივი ფუნქციები, ამიტომ წარმოდგენილი ამოცანა არის არაწრფივი,

უფრო მეტიც ის მიეკუთვნება გეომეტრიული დაპროგრამების ამოცანათა კლასს.

თუმცა ზამბარის დაპროექტების მოცემული ამოცანა მცირე განზომილებისაა, მისი მიზნის (2.4) ფუნქციის და (2.5, 2.8) შეზღუდვების ძლიერად გამოსატული არაწრფივობა ქმნიან გარკვეულ სიძნელეებს რიცხვითი ამოხსნების მიღებისას.

მსგავსი ამოცანა [1] გადაწყვეტილია გამარტივებული მაგალითისათვის კუნა-ტაკერის პირობებისა და ლაგრანჟის მამრავლის გამოყენებით, მაგრამ ასეთი მიდგომა იძლევა შესაძლებლობას მივიღოთ ამონახსნი მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მიზნის ფუნქცია არის ამოხსნილი. გარდა ამისა ამ მეთოდის გამოყენებისას არ შეიძლება გავითვალისწინოთ ყველა ის შეზღუდვა რასაც კონსტრუქტორები უყენებენ ზამბარებს.

მიზნის ფუნქციის (2.4) გლობალური მინიმუმის მოსანახად უფრო მკაცრი მოთხოვნების გათვალისწინებისას აუცილებელია კონსტრუქტორებმა გამოიყენონ ამოხსნის სხვა მეთოდები, რომელსაც ეძღვნება ქვემოთ მოყვანილი პარაგრაფები

2.2. ამოცანის ამოხსნა შემთხვევითი ძებნის მეთოდით

შეთხვევითი ძებნის მეთოდი [23], როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ცნობილია როგორც ერთ-ერთი წარმატებული მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს პროცესის კრებადობას ε სიზუსტით მხოლოდ სტატისტიკური ცდების დიდი რაოდენობის $S \rightarrow \infty$ ჩატარების შემთხვევაში.

ცნობილია, რომ S რაოდენობის სტატისტიკური ცდების ჩატარების შემდეგ ალბათობა გლობალური ექსტრემუმის მონახვისა ε სიზუსტით ტოლია

$$P(S) = 1 - (1 - \varepsilon^N)^S, \quad (2.9)$$

სადაც N ცვლადების რიცხვია.

(2.9) გამოსახულებიდან შეიძლება განისაზღვროს ჩასატარებელი სტატისტიკური ცდების რაოდენობა

$$S = (1/\varepsilon)^N \ln [1/(1-P)]. \quad (2.10)$$

იმ შემთხვევისათვის როცა $N=2$, $P=1/2$ და $\varepsilon = 0,001$ ჩასატარებელი სტატისტიკური ცდების რაოდენობა ტოლია:

$$S = (1/10^{-3})^2 \ln [1/(1-1/2)] = 10^6 \ln 2 = 0,69 \cdot 10^6.$$

ქვემოთ მოყვანილია ამოცანის გადაწყვეტის ალგორითმის ფორმალიზებული აღწერა:

1. წინასწარ განისაზღვრება ალგორითმის მუშაობისათვის საჭირო პარამეტრები:

- დამოუკიდებელი ცვლადების რაოდენობა - N ;

- შეზღუდვათა რაოდენობა - M ;

- დამოუკიდებელი ცვლადების სავარაუდო ცვლილების ქვედა და ზედა საზღვრები;

- ჩასატარებელი სტატისტიკური ცდების რაოდენობა - S ;

- მაქსიმალურად შესაძლო დიდი რიცხვი $R = 10E+35$

2. დაიწყება სტატისტიკური ცდების ჩატარების ციკლი.

3. შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი ციკლურად დაიწყებს შემთხვევითი რიცხვების გამომუშავებას, რომლებიც შემდეგში ფორმირდებიან როგორც საძებნი პარამეტრები x_1 და x_2 .

4. გამოითვლება ყველა შეზღუდვის მნიშვნელობა შესაბამისად და მოხდება მათი შემოწმება ციკლურად.

5. ყველა შეზღუდვის პირობის შესრულების შემთხვევაში, გამოითვლება მიზნის ფუნქციის F -ს მიმდინარე მნიშვნელობა და მოხდება შემოწმება პირობაზე $F < R$. თუ ეს პირობა დაკმაყოფილდა, მაშინ

R-ს მიენიჭება F-ს მნიშვნელობა, რომელიც დამახსოვრდება მანქანის მესხიერებაში სხვა საძიებელ x_i ($i=1,2$) პარამეტრებთან ერთად, რათა გამოყენებულ იქნას შემდგომი ციკლის შესრულებისას, როგორც R ცვლადის ახალი მნიშვნელობა.

წინააღმდეგ შემთხვევაში, ე.ი. პირობის არ დაკმაყოფილების შემთხვევაში პროგრამა უბრუნდება მე-2 პუნქტის შესრულებას.

ზემოთაღწერილი პროცესი განმეორდება მანამ, სანამ ჩატარებული სტატისტიკური ცდების რაოდენობა არ იქნება მეტი ვიდრე S.

პროგრამის მუშაობის საბოლოო შედეგი იქნება მინიმალური წერტილის კოორდინატები და მიზნის ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობა. გარდა ამისა პროგრამის საშუალებით გამოითვლება მეთოდის სწრაფქმედების პარამეტრები, კერძოდ, მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობის გამოთვლის რაოდენობა. შემთხვევითი ძებნის მეთოდი მარტივია კომპიუტერზე სარეალიზაციოდ, მაგრამ მოითხოვს დიდი რაოდენობის სტატისტიკური ცდების ჩატარებას, რაც ყოველთვის არ არის მოხერხებულად. ქვემოთ მოყვანილი მეთოდი დაცულია ამ ნაკლისაგან.

2.3. ამოცანის ამოხსნა სიმძიმის ცენტრების მეთოდით

განვიხილოთ მინიმიზაციის შემდეგი ამოცანა:

$$\min \{f(x) \mid x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Omega \subset R^n\}, \quad (2.11)$$

სადაც $f(x)$ მრავალ ექსტრემუმიანი ფუნქციაა, რომელიც განსაზღვრულია შეზღუდულ და ჩაკეტილ სიმრავლეზე $\Omega \subset R^n$. ვთქვათ, $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \in \Omega$ არის აბსოლუტური მინიმუმის წერტილი.

სიმბიძის ცენტრების მეთოდი შემუშავებულია შემდეგი თეორემის საფუძველზე.

თეორემა. სიმბიძის ცენტრების თანმიდევრობა $\{x(\zeta)\}$ სრული მეტრიკული სივრცის შემოსაზღვრულ და ჩაკეტილ სიმრავლეზე $\Omega(\zeta) = \{x | f(x) \leq \zeta\} \subset \Omega$, სადაც ζ არის $f(x)$ ფუნქციის სკალარული მნიშვნელობა, რომელიც წარმოქმნილია სამინიმიზაციო $f(x)$ ფუნქციის ლეგენის დაყოფის შედეგად, კრებადია აბსოლუტრი ექსტრემუმის x^* წერტილში, როცა $\zeta \rightarrow \zeta^* = \inf f(x)$, ე.ი

$$x^* = \lim_{\zeta \rightarrow \zeta^*} x(\zeta), \quad (2.12)$$

სადაც

$$x(\zeta) = \frac{\int \dots \int_{\Omega(\zeta)} x \rho(x, \zeta) dx}{\int \dots \int_{\Omega(\zeta)} \rho(x, \zeta) dx}. \quad (2.13)$$

(2.13) გამოსახულებით მოცემული მრავალჯერადი ინტეგრალის გამოსათვლელად გამოიყენება მონტე-კარლოს მეთოდი, რომელიც თავისი რეალიზაციის სიმარტივის თვალსაზრისით შესაძლოა იყოს თითქმის ერთადერთი მისაღები საშუალება დიდი განზომილების მრავალჯერადი ინტეგრალების გამოსათვლელად. მაგრამ პრობლემა მძიმდება იმიტაც, რომ ინტეგრირების არე $\Omega(\zeta)$ ზოგად შემთხვევაში ვერ იქნება განსაზღვრული ცხადი სახით. თუ შემოვიტანთ მახასიათებელ ფუნქციას, რომელსაც აქვს სახე

$$\theta(x, \zeta) = \begin{cases} 1, & \text{npu } x \in \Omega(\zeta), \\ 0, & \text{npu } x \notin \Omega(\zeta), \end{cases}$$

მაშინ $\Omega(\zeta)$ არე შეიძლება შეიცვალოს საოპტიმიზაციო ფუნქციის განსაზღვრის საწყისი არით და გამოსახულება (2.13) შეიძლება გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$x(\zeta) = \frac{\int \dots \int_{\Omega} x \rho(x, \zeta) \theta(x, \zeta) dx}{\int \dots \int_{\Omega} \rho(x, \zeta) \theta(x, \zeta) dx}. \quad (2.14)$$

გამოსახულებებში (2.13) და (2.14) –ში $\rho(x, \zeta)$ წონითი ფუნქციაა. თუ მას ავირჩევთ

$$\rho(x, \zeta) = |f(x) - \zeta|^q, \quad q \geq 2,$$

მაშინ საოპტიმიზაციო ფუნქციისაგან დამოუკიდებლად მიიღება უწყვეტი გლუვი $x(\zeta)$ დამოკიდებულება, ამავდროულად სიგლუვე უკანასკნელისა მოიმატებს ხარისხის მაჩვენებელ q ზრდასთან ერთად. პრაქტიკულად მნიშვნელობა $q = 2$ იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგებს. თუ გავითვალისწინებთ მითითებული დამოკიდებულების უწყვეტობას, (2.12) გამოსახულებიდან ვღებულობთ

$$x^* = x(\zeta^*).$$

ამგვარად, ვიპოვიოთ რა ζ^* მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება საოპტიმიზაციო $f(x)$ ფუნქციის მინიმალურ მნიშვნელობას და ჩავსვათ მას (2.14) გამოსახულებაში, მივიღებთ მინიმუმის x^* საძიებელ კოორდინატებს.

მეთოდის თეორიული საფუძველი და მისი პრაქტიკული გამოყენების მაგალითები მოცემულია ნაშრომებში [21, 22]. ქვემოთ მოყვანილია (2.4)-(2.8)

ამოცანის სიმძიმის ცენტრების მეთოდით ამოხსნის ალგორითმი.

ალგორითმი. მეთოდი გულისხმობს შემთხვევითი რიცხვების არჩევას განაწილების თანაბარი კანონით, რომელიც მიიყვანება საოპტიმიზაციო $f(x)$ ფუნქციის განსაზღვრის Ω არეში. ავიღებთ x^i შემთხვევით ვექტორს (ერთი მცდელობა), შეგვიძლია გამოვთვალოთ $f(x)$ ფუნქცია. რამდენადაც ამოცანის რიცხვითი ამოხსნისას შეუძლებელია მივცეთ უწყვეტი სპექტრი ζ ცვლადის მნიშვნელობების, ამიტომ განვსაზღვრავთ მის დისკრეტულ მნიშვნელობებს $\zeta_p, p=1,2,\dots,k$, რომლებიც დაშორებული არიან ერთმანეთისაგან მუდმივი $\Delta\zeta$ სიდიდით, სადაც k ლეხების დაყოფათა დონეების რაოდენობაა საოპტიმიზაციო ფუნქციის არსებობის არეში.

გამოთვლა ζ_p განხორციელებულია შემდეგნაირად. ტარდება წინასწარი S სტატისტიკური ცდების შედარებით მცირე რაოდენობა. პრაქტიკული მოსაზრებებიდან გამომდინარე, მიღებულია, რომ $S=0.1N$, სადაც N ძირითადი სტატისტიკური ცდების რაოდენობაა. წინასწარი ცდების მოცემულ სერიაში აღვილი აქვს საოპტიმიზაციო ფუნქციის მნიშვნელობების გამოთვლას $f(x^{(i)}) = \zeta^i, i=1,2,\dots,S$, ცვლადების სხვადასხვა შემთხვევითი მნიშვნელობებისათვის $x^i \in \Omega$, და მათ შორის $\zeta_B = \min_i(\zeta_i)$ მინიმალურის და $\zeta_T = \max_i(\zeta_i)$ მაქსიმალურის დამახსოვრებას. გამოცდათა ამ სერიის დამთავრებისას განისაზღვრება:

- ლეხეური დაყოფის ბიჯი

$$\Delta\zeta = \frac{1}{c}(\zeta_T - \zeta_B),$$

მოინახება კოეფიციენტები $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, j=1,2,\dots,n$, მაპროქსიმირებელი პოლინომის.

მიღებული ანალიზური (2.17) დამოკიდებულების საფუძველზე, საწყისი ამოცანა (2.11) მიიყვანება მინიმიზაციის ერთგანზომილებიან ამოცანამდე:

$$\min \{f[\tilde{x}_j(\zeta)] \mid \zeta \in [\zeta_k - 2\Delta\zeta, \zeta_k + 2\Delta\zeta]\}, \quad (2.18)$$

რის შედეგადაც განისაზღვრება გლობალური მინიმუმის წერტილის საძებნი კორდინატების მიახლოებითი ოპტიმალური მნიშვნელობები: $x_j^* = \tilde{x}_j(\zeta^*)$, $j=1,2,\dots,n$, სადაც ζ^* არის (2.18) ამოცანის ამონახსნი, და შესაბამისად საოპტიმიზაციო ფუნქციის შესაბამისი მნიშვნელობაც $f^* = f(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$.

ამგვარად, სტრუქტურული თვალსაზრისით, სიმძიმის ცენტრების ალგორითმი შედგება სამი ეტაპისაგან.

პირველ ეტაპზე ტარდება წინასწარი სტატისტიკური ცდები და განისაზღვრება ლეგენდური დაყოფის დონეების დისკრეტული მნიშვნელობები ζ_p , $p=1,2,\dots,k$.

მეორე ეტაპზე ტარდება ძირითადი სტატისტიკური ცდების სერია, რომლის დროსაც ფორმირდება ემპირიული წერტილების თანამიმდევრობათა სისტემა (2.16).

მესამე ეტაპზე ხორციელდება მიღებული მონაცემთა სისტემის დამუშავება და კორდინატული განსაზღვრა $\tilde{x}_j(\zeta)$, $j=1,2,\dots,n$ ანალიზური ფუნქციონალური დამოკიდებულებების, რომლის

შედგებადაც საწყისი მრავალგანზომილებიანი მინიმიზაციის ამოცანა (2.11) დაიყვანება ერთგანზომილებიანი (2.18) ოპტიმიზაციის ამოცანამდე, რომლის ამოხსნით განისაზღვრება დასახული ამოცანის ოპტიმალური შედეგები.

სიმძიმის ცენტრების ალგორითმი არის მიახლოებითი. მისი ცდომილება ძირითადად განპირობებულია (2.16) სისტემის ემპირიული წერტილების რაოდენობით და მათი აპროქსიმაციით. მეთოდის განსაკუთრებული დამახასიათებელი თვისებაა ის, რომ მისი გამოყენებისას სწრაფად ხდება გლობალური ექსტრემუმის მიდამოს ლოკალიზაცია, რომელშიც გლობალური ექსტრემუმის წერტილის დაზუსტება შესაძლებელია განხორციელდეს ნებისმიერი დეტერმინირებული მეთოდით.

2.4. ცილინდრული ზამბარის გაანგარიშების მაგალითი

გაანგარიშებებისათვის საჭირო საწყისი მონაცემებია:

$$E = 2.10^{11} \text{ პა}; \sigma_{\max} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ პა}; \theta = 20^0; M = 0,3 \text{ ნ.მ};$$

$$\rho \cdot g = 7,7 \cdot 10^4 \text{ ნ/მ}^3;$$

$$Q = 2 \text{ ხვ.}; d_1 = 0,0028 \text{ მ}; d_2 = 0,01 \text{ მ}; D_1 = 0,029 \text{ მ}; D_2 = 0,04 \text{ მ};$$

შემოვიტანოთ შემდეგი აღნიშვნები ცვლადებისათვის $d \rightarrow x_1$,

$D \rightarrow x_2$. ზოგიერთი გარდაქმნის ჩატარებისა და რიცხვითი მონაცემები შეტანის შემდეგ ამოცანა (2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8) შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგნაირად:

მოითხოვება ვიპოვოთ გლობალური მინიმუმი ფუნქციისა

$$F = 3,14^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot (0,5 \cdot x_1^2 \cdot x_2 + 2 \cdot 10^{11} \cdot x_1^6 / (14680 \cdot 0,3)),$$

შემდეგი შეზღუდვებისას

$$14,5 \cdot 0,3 / x_1^{2,885} \cdot x_2^{0,115} - 1,5 \cdot 10^8 \leq 0;$$

$$0,0028 < x_1 < 0,01;$$

$$0,029 < x_2 < 0,04;$$

$$8 < x_2 / x_1 < 12.$$

ამოცანის ამოხსნის შედეგები მოყვანილია ცხრილ №2.1

ზამბარის ოპტიმალური პარამეტრები. ცხრილი №2.1.

№	ზამბარის ოპტიმალური პარამეტრები	ფუნქციის მნიშვნელობათა გამოთვლის რაოდენობა	ამოცანის ამოხსნისათვის გამოყენებული მეთოდი
1	$x_1 = 2.805957E-03;$ $x_2 = 2.926359E-02;$ $F_{\min} = 0.4240097$		ლაგრანჟის
2	$x_1 = 2.80044E-03;$ $x_2 = 2.902923E-02;$ $F_{\min} = 0.419227$	690000	შემთხვევითი ძებნის
3	$x_1 = 2.80001E-03;$ $x_2 = 3.043002E-02;$ $F_{\min} = 0.422853$	145	სიმპიქსის ცენტრების

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ განსაზღვრულია ცილინდრული ზამბარის ოპტიმალური წონა, შემთხვევითი ძებნისა და სიმპიქსის ცენტრების მეთოდების გამოყენებით.

ამ მეთოდებით მიღებული შედეგები შედარებულ იქნა ერთმანეთთან და აგრეთვე ლაგრანჟის მეთოდით მიღებულ შედეგთან. სამივე მეთოდით მიღებული შედეგები ერთხვევიან ერთმანეთს ინჟინრული თვალსაზრისით მისაღები სიზუსტით. გარდა ამისა მეთოდები შედარებულ იქნა სწრაფქმედების თვალსაზრისითაც, აღმოჩნდა, რომ სიმძიმის ცენტრების მეთოდი უფრო სწრაფქმედია ვიდრე შემთხვევითი ძებნის მეთოდი. ამ მახასიათებლის დასადაგენად დათვლილი იქნა ამოცანის ამოხსნისათვის საჭირო, მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობის გამოთვლის, რაოდენობა. ჩვენს მიერ განხილულ მაგალითში სიმძიმის ცენტრების მეთოდის გამოყენებისას მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა გამოითვალა 145 –ჯერ, მაშინ როდესაც შემთხვევითი ძებნის მეთოდს დასჭირდა ამ მნიშვნელობების გამოთვლა 690000 –ჯერ.

შემთხვევითი ძებნისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდები უზრუნველყოფენ რთული ექსტრემალური ამოცანის ინჟინრული თვალსაზრისით პრაქტიკაში მიღებული სიზუსტით ამოხსნას.

დანართი №1-ში მოცემულია ზამბარის მინიმალური წონის განსაზღვრის პროგრამები შემთხვევითი ძებნის (ZAMBARA-1) და სიმძიმის ცენტრების (ZAMBARA-2) მეთოდების გამოყენებით.

თავი III

ფუძის და საძირკვლის ერთობლივი დეფორმაციის გაანგარიშების თანამედროვე მეთოდები

შენობა-ნაგებობის სიმტკიცე მთლიანადაა დამოკიდებული საძირკვლის და ფუძის ერთობლივ დეფორმაციაზე. ამიტომაც ფუძის და საძირკვლის ერთობლივი დეფორმაციის გაანგარიშების მეთოდის შერჩევას აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა [10].

ფუძის და საძირკვლის ერთობლივი დეფორმაციის (დაჯდომის) განსაზღვრის რამდენიმე მეთოდი არსებობს [29,30], აქედან ძირითადს წარმოადგენს:

1. ფუძის დაჯდომის გაანგარიშება შრეობრივი შეჯამების მეთოდით, როდესაც გრუნტი განიხილება როგორც წრფივად-დეფორმირებადი ნახევარსივრცე;

2. ფუძის დაჯდომის გაანგარიშება წრფივად დეფორმირებადი შრის მეთოდით, როდესაც გრუნტი განიხილება როგორც წრფივად-დეფორმირებადი შრე;

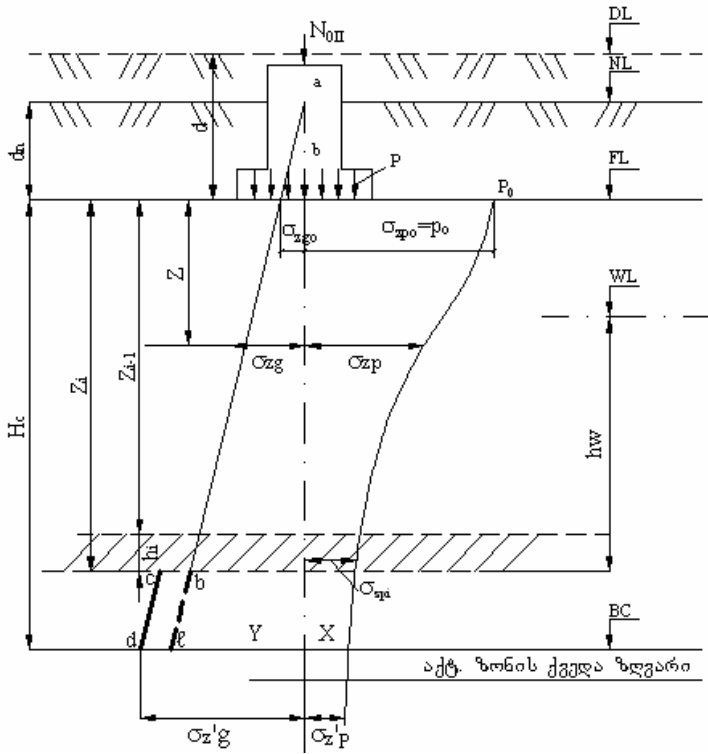
3. ფუძის დაჯდომის გაანგარიშება ექვივალენტური შრის მეთოდით, როდესაც გაითვალისწინება გრუნტის გვერდითი გაგანიერება.

ფუძის დეფორმაციაზე გაანგარიშებისას, საშუალო წნევა საძირკვლის ძირზე (p) არ უნდა აღემატებოდეს ფუძე-გრუნტის საანგარიშო წინაღობას (R). ნაპირა წნევა, როდესაც საძირკველზე მოქმედებს მღუნავი მომენტი, არ უნდა აღემატებოდეს $1,2R$. საძირკვლის ზომები ინიშნება წინასწარ კონსტრუქციული მოსაზრებით ან R -ის მიხედვით.

3.1. შრეობრივი შეჯამების მეთოდი

ეს მეთოდი რეკომენდებულია სამშენებლო ნორმებითა და წესებით [31]. გაანგარიშების მეთოდის მდგომარეობს შემდეგში:

1. გრუნტის სისქე საძირკვლის ძირის დაბლა დაიყოფა ელემენტარულ შრეებად სიღრმეზე, დაახლოებით $3b$, სადაც b არის საძირკვლის სიგანე. გრუნტის შრის სისქე (h_i) აიღება არაუმეტესი $0,4b$. ფუძის დაყოფა წარმოებს გეოლოგიურ ჭრილზე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 3.1.
2. ღერძისადმი (მარცხნივ), რომელიც გადის საძირკვლის ძირის სიმძიმის ცენტრზე, აგებენ წნევის ეპიურებს გამოწვეულს გრუნტის საკუთარი წონისაგან σ_{zg} (ბუნებრივი წნევის ეპიურას) და დამატებითს (შემამკვრივებელს) წნევის ეპიურას σ_{zp} .



ნახ.3.1. გრუნტის გეოლოგიური ჭრილი.

ბუნებრივი წნევის σ_{zg} მნიშვნელობებს Z სიღრმეზე საძირკვლის ძირიდან, საზღვრავენ ფორმულით:

$$\sigma_{zg} = \gamma' d_n + \sum_1^n \gamma_i h_i + \gamma_w h_w, \quad (3.1)$$

სადაც γ' – გრუნტის კუთრი წონა, მდებარე საძირკვლის ძირის მაღლა;

d_n – საძირკვლის ჩაღრმავება მიწის ბუნებრივი ზედაპირიდან;

n – შრეების რიცხვი Z ფარგლებში;

γ_i – გრუნტის i -ური შრის კუთრი წონა;

h_i – იმავე გრუნტის i -ური შრის სისქე (მივილოთ 0,2b).

γ_w – წყლის კუთრი წონა;

h_w – მიწისქვეშა წყლის სიმაღლე წყალშემკავებელი გრუნტის ზედაპირის მაღლა;

წყალგამტარი გრუნტების კუთრი წონა, მდებარე მიწისქვეშა წყლის დონის დაბლა, მიიღება წყლის შემატივტივებელი მოქმედების გათვალისწინებით. წყალგაუმტარი გრუნტის კუთრი წონა მიიღება წყლის შემატივტივებელი მოქმედების გათვალისწინების გარეშე, მაგრამ გაითვალისწინება წყლის სვეტის წნევა $\gamma_w h_w$.

დამატებითი წნევის σ_{zp} მნიშვნელობები z სიღრმეზე საძირკვლის ძირიდან, გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{zp} = \alpha p_0 = \alpha (p - \sigma_{zgo}), \quad (3.2)$$

სადაც p_0 – დამატებითი ვერტიკალური წნევა ფუძის ზედაპირზე;

p – საშუალო ძაბვა საძირკვლის ძირზე;

σ_{zgo} – ბუნებრივი წნევა გრუნტის საკუთარი წონისაგან საძირკვლის ძირზე;

α – წნევის შემამცირებელი კოეფიციენტი [31, დამატ. 2, ცხრ.1], დამოკიდებული

საძირკვლის ძირის ფორმაზე, საძირკვლის გვერდების ფარდობაზე $\eta = \frac{\ell}{b}$ და ფარდობით სიღრმეზე

$$\xi = \frac{2z}{b} \quad [31, \text{დამატება 2, ცხრილი 1}].$$

3. განისაზღვრება გრუნტის აქტიური ზონის სიღრმე (H). ფუძის აქტიური ზონის ქვედა ზღვარი მიიღება სიღრმეზე $Z=H_c$, სადაც კმაყოფილდება პირობა $\sigma'_{zp} = 0, 2\sigma'_{zg}$. თუ ეს პირობა არ შესრულდა, მაშინ

ადიდებენ საძირკველის სიგანეს 0,25მ ჯერადობით საძირკველის ორივე მხარეზე, ან ადიდებენ საძირკველის ჩაღრმავებას 0,5მ ჯერადობით. თუ ეს პირობა არ შესრულდა, მაშინ მიმართავენ საძირკველის სიგანის და ჩაღრმავების ერთდროულად გადიდებას. გამოთვლები მეორდება მანამ სანამ არ მიიღება სასურველი შედეგი.

4. გამოითვლება ფუძის დაჯდომის სიდიდე (S). ფუძის დაჯდომის სიდიდე S შრეობრივი შეჯამების მეთოდით გამოითვლება ფორმულით:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zpi} h_i}{E_i}, \quad (3.3)$$

სადაც β არის კოეფიციენტი, რომელიც უდრის 0,8;

σ_{zpi} - დამატებითი ნორმალური ძაბვის

საშუალო მნიშვნელობა გრუნტის i-იურ

შრეში, რომელიც უდრის $\sigma_{zpi} = \frac{P_0 + \sigma_{zpi}}{2}$

და ა.შ.

მნიშვნელობა E_i - იმავე გრუნტის i-ურ

შრის დეფორმაციის მოდული;

h_i - იმავე შრის სისქე;

n - შრეების რიცხვი აქტიური ზონის ფარგლებში.

მაგალითი 1. საჭიროა განისაზღვროს საძირკველის დაჯდომის სიდიდე, რომელიც აიგება გეოლოგიურ პირობებში (ნახ.3.1), შემდეგ მონაცემებზე:

1. საძირკველის ჩაღრმავება $d=1,5$ მ, საძირკველის სიგანე $b=2,0$ მ და სიგრძე $a=2,8$ მ. საშუალო წნევა

საძირკველის ძირზე $p = N/A = \frac{1624}{2 \cdot 2,8} = 290$ კპა.

2. ფუძე გრუნტების თვისებები და ფენების სისქეები, მოყვანილია №3.1 ცხრილში. მიწისქვეშა წყლის ჰორიზონტი მდებარეობს 1,6 მ-ზე საძირკველის ძირის დაბლა. თიხნარი მეორე ფენაში მიიღება

წყალუონადი და თიხა მესამე ფენაში განიხილება პრაქტიკულად წყალუონადი (წყალშემკაეებელი).

ფუძე გრუნტების თვისებები და ფენების სისქეები
(ცხრილი №3.1.

ფენ-ები	გრუნტების ტიპი	ფენების სისქე,	დეფორმაციის მოდული, მპა	გრუნტის კუთრი წონა γ_i , კნ/მ ³
I	ქვიშა	3.1	18	წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის გარეშე, $\gamma_{II,1} = 16$
II	თიხნარი	2.4	16	წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის გათვალისწინებით $\gamma_{sb,2} = 10, 3$
III	თიხა	2.0	17	წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის გარეშე, $\gamma_{III,3} = 18$

განისაზღვრება σ_{zgo} და $p_0 = p - \sigma_{zgo}$ (ნახ.3.1):

$$\sigma_{zgo} = \gamma_{III} d_n = 16 \cdot 1,5 = 24 \text{ მპა}$$

$$p_0 = p - \sigma_{zgo} = 290 - 24 = 266 \text{ კპა}$$

აქტიური ზონის სისქის მონახვისათვის საზღვრავენ σ_{zg} და σ_{zp} სხვადასხვა სიღრმეზე 3.1 და 3.2 ფორმულებით. შემდეგ პოულობენ სიღრმეს, სადაც კმაყოფილდება პირობა $\sigma_{zp} = 0,2\sigma'_{zg}$. α -ს მნიშვნელობები

მიიღება ნორმებიდან [31, დამატება 2, ცხრილი 1], როცა $\xi = \frac{2z}{b}$ და $\eta = \frac{a}{b} = \frac{2,8}{2,0} = 1,4$. შედეგები შეაქვთ №3.2 ცხრილში.

თანახმად №3.2 ცხრილისა აქტიური ზონის ქვედა ზღვარი მდებარეობს სიღრმეზე $H_c = z' = 4,8$ მ, სადაც $\sigma'_{zp} = 28 \leq 0,2\sigma'_{zg} = 27,4$.

საძირკვლის სრული დაჯდომის სიდიდე გაიანგარიშება (3.3) ფორმულით:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 0,015 + 0,0085 + 0,0012 = 0,024 \text{ მ} = 2,4 \text{ სმ.}$$

წნევის შემამცირებელი და აქტიური ზონის
ზღვრების დამოკიდებულება.

ცხრილი №3.2

ფენები	$\xi = \frac{2z}{b}$	Z, მ	α	σ_{zp} , კპა	σ_{zg} , კპა	S_i , მ
პირველი - ქვიშა	0 0.4 0.8 1.2 1.6	0 0.4 0.8 1.2 1.6	1.000 0.972 0.848 0.682 0.532	266 259 226 181 142	24 30 37 43 50	$S_1 = \frac{0,8 \cdot 0,4}{18000} \left(\frac{266 + 259}{2} + \dots \right)$ $S_1 = 0,015$
მეორე - თიხნარი	2.0 2.4 2.8 3.2 3.6 4.0	2.0 2.4 2.8 3.2 3.6 4.0	0.414 0.325 0.260 0.210 0.173 0.145	110 86 69 56 46 39	54 58 62 66 71 75	$S_2 = 0,0085$
მესამე - თიხა	4.4 4.8 5.2 5.6 6.0	4.4 4.8 5.2 5.6 6.0	0.123 0.105 0.091 0.079 0.070	33 28 24 21 19	106 137 168 200 231	$S_3 = 0,0012$

აღნიშნული მეთოდის გამოყენების სფერო ძალიან ფართოა, სახელდობრ:

1. სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობათა (შენობათა) საძირკვლების დაჯდომის გასაანგარიშებლად, როდესაც საძირკვლის სიგანე ნაკლებია $b < 10\text{მ}$ -ზე;

2. ასევე, როდესაც აქტიური ზონის ფარგლებში არ მდებარეობს გრუნტის ისეთი ფენა, რომლის დეფორმაციის მოდული $E > 100\text{მპა}(1000\text{კგ/სმ}^2)$;

3. განსაკუთრებით მაღლივი შენობების შემთხვევაში. სარდაფიანი შენობის მოწყობით ან საძირკვლის ჩაღრმავებით შეიძლება $\gamma_{\text{ძ}}$ მიუუახლოვოთ საშუალო $\bar{\nu}$ ნევის სიდიდეს საძირკვლის ძირზე, რის გამოც დაჯდომის სიდიდე შეიძლება მკვეთრად შევამციროთ. თუ $\gamma_{\text{ძ}}$ გაუტოლებთ p -ს, მაშინ, ცხადია ნაგებობის დაჯდომა შეიძლება ნულის ტოლი გახდეს.

3.2. წრფივად დეფორმირებადი შრის მეთოდი

ეს მეთოდი რეკომენდებულია სამშენებლო ნორმებითა და $\bar{\nu}$ ესებით [31]. თანახმად დაპროექტების ნორმებისა ფუძის დაჯდომის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$S = \frac{pbK_c}{K_m} \sum_1^n \frac{K_i - K_{i-1}}{E_i}, \quad (3.4)$$

სადაც p არის დამატებითი (შემამკვერეველი) $\bar{\nu}$ ნევა საძირკვლის ძირზე, როცა $b < 10\text{მ}$;

b – საძირკვლის სიგანე ან წრიული საძირკვლის დიამეტრი;

K_c – კოეფიციენტი, რომელიც აიღება ნორმებიდან [31, დამატება 2, ცხ.2];

K_m – კოეფიციენტი, რომელიც აიღება ნორმებიდან [31, დამატება 2, ცხრ.3];

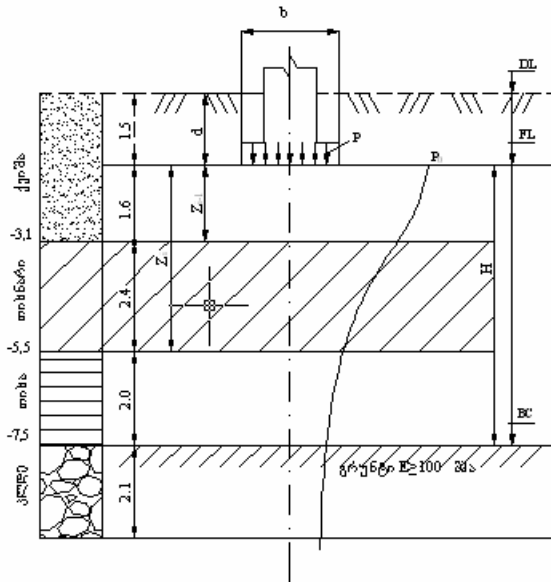
n – შრეების რიცხვი ფუძის საანგარიშო სისქის ფარგლებში (H);

K_i და K_{i-1} – კოეფიციენტები, აღებული ნორმებიდან [31, დამ. 2. ცხრ.4] დამოკიდებული საძირკვლის გვერდების ფარდობაზე და ფარდობით ჩადრმავებაზე საძირკვლის

ძირიდან, როცა $\xi_i = \frac{2 \cdot Z_i}{b}$ და $\xi_{i-1} = \frac{2 \cdot Z_{i-1}}{b}$;

E_i – გრუნტის i -ური ფენის დეფორმაციის მოდული;

Z – მანძილი საძირკვლის ძირიდან შესაბამისად განსახილველი ფენის ზედაპირამდე.



ნახ.3.2. გრუნტის ჭრილი.

წრფივად დეფორმირებადი შრის სისქედ (H) (ნახ.3.2) მიიღება მანძილი საძირკვლის ძირიდან იმ ფენის ზედაპირამდე, რომლის დეფორმაციის მოდული $E \geq 100$ მპა (1000 კგ/სმ^2). თუ საძირკვლის სიგანე $b \geq 10$ მ,

მაშინ მის მნიშვნელობას პოულობენ ნორმებიდან [31, დამატება 2, პუნქტი 8].

მაგალითი 2. განისაზღვროს საძირკვლის დაჯდომის სიდიდე (3-4) ფორმულით ზემოთ განხილული მაგალითის (ნახ.3.1 და ცხრ.3.1) მიხედვით ფარგლებში სიღრმით დაახლოებით $3b=3\cdot 2=6$ მ. აქტიური ზონის სისქე (სიმძლავრე) მიიღება ნახ.2-დან იმ ფენის ზედაპირამდე, რომლის $E \geq 100$ მპა და უდრის $H = 1,6 + 2,4 + 2,0 = 6$ მ.

საწყისი მონაცემები დაჯდომის გასაანგარიშებლად:

$$K_c = 1,0, \quad \text{რადგან [31, დამ.2, ცხრ.2]-დან}$$

$$\xi' = \frac{2H}{b} = \frac{2 \cdot 6}{2} = 6,0;$$

$K_m = 1,0$, რადგან [31, დამ. 2, ცხრ.3]-დან $E \geq 10$ მპა და $b < 10$ მ;

K_i და K_{i-1} , რადგან [31, დამ. 2, ცხრ.4]-დან, როცა

$$\eta = \frac{a}{b} = \frac{2,8}{2,0} = 1,4;$$

პირველი ფენისათვის $K_1 = 0,394$ და $K_{i-1} = 0$, რადგან

$$\xi_1 = \frac{2Z_1}{b} = \frac{2 \cdot 1,6}{2} = 1,6;$$

მეორე ფენისათვის $K_2 = 0,708$ და $K_{i-1} = 0,394$, რადგან

$$\xi_2 = \frac{2Z_2}{b} = \frac{2 \cdot 4}{2} = 4,0;$$

მესამე ფენისათვის $K_3 = 0,814$ და $K_{i-1} = 0,708$, რადგან

$$\xi_3 = \frac{2Z_3}{b} = \frac{2 \cdot 6}{2} = 6,0;$$

განისაზღვრება საძირკვლის დაჯდომის სიდიდე (3-4) ფორმულით

$$S = \frac{266 \cdot 2 \cdot 1}{1} \left[\frac{0,394 - 0}{18000} + \frac{0,708 - 0,394}{16000} + \frac{0,814 - 0,708}{17000} \right] = 0,026 \text{მ} = 2,6 \text{სმ}$$

აღნიშნული მეთოდის ნაკლია:

1. არ ითვალისწინებს მიწისქვეშა წყლის არსებობას;
2. არ ითვალისწინებს დამატებითი ძაბვების ცვლილებას ფუძის სიღრმეში.

ამიტომ ეს მეთოდი შეიძლება ჩაითვალოს როგორც მიახლოებითი მეთოდი.

აღნიშნული მეთოდის გამოყენება მიზანშეწონილია:

1. როდესაც აქტიური ზონის ფარგლებში მდებარეობს ისეთი გრუნტის ფენა, რომლის დეფორმაციის მოდული $E \geq 100 \text{ მპა (1000 კგ/სმ}^2\text{)}$;
2. როდესაც საძირკვლის სიგანე $b \geq 10 \text{ მ}$ და $E \geq 10 \text{ მპა (100 კგ/სმ}^2\text{)}$;
3. ასევე ეს მეთოდი გამოიყენება მაშინაც, როდესაც $b < 10 \text{ მ}$ და $E < 10 \text{ მპა (100 კგ/სმ}^2\text{)}$.

3.3. ფუძის დაჯდომის განსაზღვრა ექვივალენტური შრის მეთოდით (ნ. ციტოვიჩის მეთოდი)

ეს მეთოდი ძირითადად გამოიყენება საძირკვლის დაჯდომის გაანგარიშებისათვის როგორც ერთგვაროვან ასევე არაერთგვაროვან გრუნტებშიც.

საძირკვლის დაჯდომა ერთგვაროვან გრუნტებში გამოითვლება პროფ ნ. ციტოვიჩის მეთოდით, შემდეგი ფორმულით:

$$s = h_s a_0 p_0, \quad (3.5)$$

სადაც a_0 არის ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტი, კპა^{-1} ;

p_0 – დამატებითი ვერტიკალური წნევა საძირკვლის ძირზე, კპა ;

h_s – ექვივალენტური შრის სისქე.

ექვივალენტური შრის სისქე განისაზღვრება ფორმულით

$$h_s = A \omega b, \quad (3.6)$$

სადაც $A \omega$ არის ექვივალენტური შრის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია პუასონის კოეფიციენტზე ν , საძირკვლის ძირის ფორმაზე და საძირკვლის სიხისტეზე (30, ცხრ.6.5).

დამატებითი წნევის ეპიურა ნ. ციტოვიჩის მიხედვით მიახლოებით მიიღება სამკუთხა, სიმაღლით $2h_s$.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ნაგებობის ფუძე არაერთგვაროვანია და შედგება სხვადასხვა ფენებისაგან, საძირკვლის დაჯდომის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$S = h_s a_{0s} p_0, \quad (3.7)$$

სადაც a_{0s} არის გრუნტების ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა, $კპა^{-1}$;

გრუნტების ფარდობითი კუმშვადობის საშუალო კოეფიციენტი ნ. ციტოვიჩის მიხედვით განისაზღვრება კუმშვადობის ზონის ფარგლებში სიღრმით $H=2h_s$, ფორმულით

$$a_{0s} = \frac{1}{2h_s^2} \sum_{i=1}^n h_i \cdot a_{oi} \cdot z_i, \quad (3.8)$$

სადაც n – არის ფენების რიცხვი აქტიური ზონის ფარგლებში;

h_i – გრუნტების i -ური ფენის სისქე, მ;

a_{oi} – გრუნტის i -ური ფენის ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტი, $კპა^{-1}$;

z_i – მანძილი ექვივალენტური სამკუთხა ეპიურის ქვედა წერტილიდან i -ური ფენის შუამდე, მ.

მაგალითი 3. საჭიროა განისაზღვროს საძირკვლის დაჯდომის სიდიდე (3.5) ფორმულით

წინაგანხილული 1-ლი მაგალითის მონაცემებზე (ნახ.3.1 და ცხრილი №3.1). ანგარიში მიმდინარეობს შემდეგი თანმიმდევრობით:

ა) როდესაც გრუნტი ერთგვაროვანია (მაგალითად თიხნარი)

1) განსაზღვრავენ ბუნებრივ წნევას და დამატებით წნევას საძირკვლის ძირზე

$$\sigma_{zgo} = \gamma \cdot d = 16 \cdot 1,5 = 24 \text{ კპა}$$

$$p_0 = p - \sigma_{zgo} = 290 - 24 = 266 \text{ კპა}$$

2) საზღვრავენ გრუნტის ექვივალენტური შრის სიმძლავრეს (h_s)

როდესაც $V=0,30$ და $\frac{a}{b} = \frac{2,8}{2,0} = 1,4$, მაშინ [30, ცხრ.6.5]-

დან $A_\omega = 1,32$.

ექვივალენტური შრის სიმძლავრე

$$h_s = A_\omega \cdot b = 1,32 \cdot 2 \approx 2,7 \text{ მ.}$$

3) ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტი

$$a_0 = \frac{\beta}{E_2} = \frac{0,57}{16000} = 0,0036 \text{ კპა}^{-1}$$

4) საძირკვლის დაჯდომის სიდიდე იქნება

$$S = h_s a_0 p_0 = 2,7 \cdot 0,00036 \cdot 266 = 2,9 \text{ მ.}$$

ბ) როდესაც ფუძე არაერთგვაროვანია და ფუძე შედგება სხვადასხვა ფენებისაგან:

1) საზღვრავენ ბუნებრივ და დამატებით წნევებს საძირკვლის ძირზე

$$\sigma_{zg} = \gamma \cdot d = 16 \cdot 1,5 = 24 \text{ მპა}$$

$$p_0 = p - \sigma_{zgo} = 290 - 24 = 266 \text{ მპა}$$

2) მონახავენ გრუნტების ექვივალენტური შრის სიმძლავრეს (h_s) და ექვივალენტური შრის სიმაღლეს. ექვივალენტური შრის სიმძლავრე:

როდესაც $V=0,30$ და $\frac{a}{b} = \frac{2,8}{2,0} = 1,4$.

მაშინ [30, ცხრ.6.5]-დან $A\omega = 1,32$.

$$h_s = A_\omega \cdot b = 1,32 \cdot 2 \approx 2,7\text{მ}.$$

შემამკვერივებელი წნევის ეპიურის სიმაღლე ნახ.3.3.

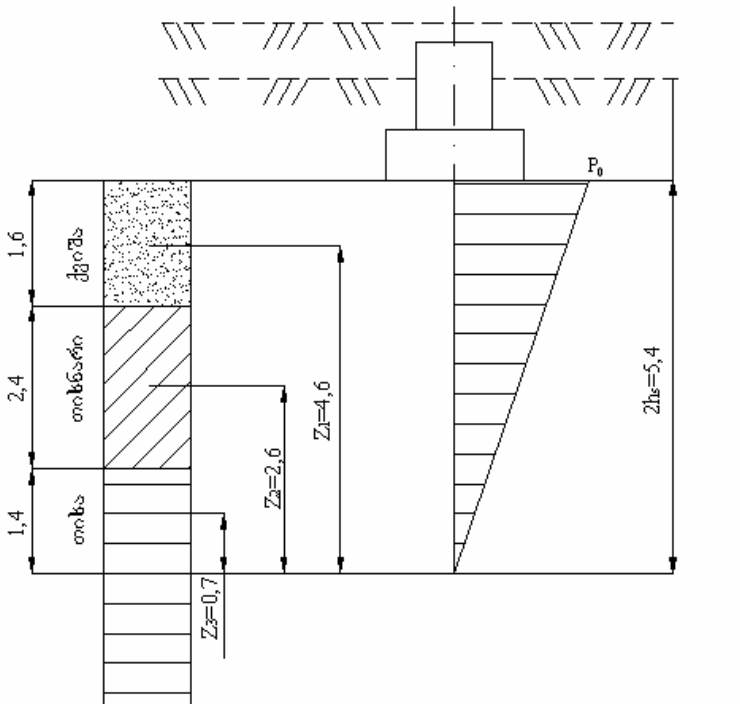
$$H = 2h_s = 2 \cdot 2,7 = 5,4\text{მ}.$$

მოინახება ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტები (a_{0i}) და β_i -ის მნიშვნელობები [30, ცხრ.2.1]-დან:

$$a_{01} = \frac{\beta_1}{E_1} = \frac{0,72}{18000} = 0,000040\text{კპა}^{-1}$$

$$a_{02} = \frac{\beta_2}{E_2} = \frac{0,57}{16000} = 0,000036\text{კპა}^{-1}$$

$$a_{03} = \frac{\beta_3}{E_3} = \frac{0,43}{17000} = 0,000026\text{კპა}^{-1}$$



ნახ. 3.3. გრუნტის ჭრილი, სადაც ნაჩვენებია

შემამკვრივებელი წნევის ეპიურის სიმაღლე H .

ნახ.3-დან საზღვრავენ ფუძის სისქეს (h_i) და მანძილებს ყოველი ფენის შუადან $2h_s$ სიღრმემდე:

$$\begin{aligned} h_1 &= 1,6\text{მ}, & Z_1 &= 5,4 - 0,8 = 4,6\text{მ}; \\ h_2 &= 2,4\text{მ}, & Z_2 &= 5,4 - 1,6 - 1,2 = 2,6\text{მ} \\ h_3 &= 1,4\text{მ}, & Z_3 &= 5,4 - 1,6 - 2,4 - 0,7 = 0,7\text{მ} \end{aligned}$$

შევიტანოთ ეს მნიშვნელობები მე-8 ფორმულაში

$$a_{0,5\text{მ}} = \frac{1,6 \cdot 0,000040 \cdot 4,6 + 2,4 \cdot 0,000036 \cdot 2,6 + 1,4 \cdot 0,000026 \cdot 0,7}{2 \cdot 2,7 \cdot 2,7} = 0,0000$$

4) საზღვრავენ საძირკვლის (ფუძის) სრულ დაჯდომას

$$S = h_s a_{0,5\text{მ}} p_0 = 2,7 \cdot 0,000040 \cdot 266 = 0,029\text{მ} = 2,9\text{სმ}$$

გაანგარიშებები გვიჩვენებს, რომ დაჯდომა მონახული ექვივალენტურის შრის მეთოდით, მიიღება რამდენადმე მეტი, ვიდრე განსაზღვრული შრეობრივი შეჯამების მეთოდით. ამ მეთოდის ნაკლია ის, რომ წყლის გავლენას არ ითვალისწინებს, ასევე E და p-ეს ცვლილებას სიღრმეში.

დაჯდომის გაანგარიშების ექვივალენტური შრის მეთოდი გამოიყენება განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ნაგებობის ფუძე შედგება ერთგვაროვანი გრუნტებისაგან. თუ ნაგებობის ფუძე შედგენილია არაერთგვაროვანი გრუნტებისაგან, მაშინ ექვივალენტური შრის მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც მიახლოებითი (ინჟინრული) მეთოდი.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულის შემდეგ შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: რომ ჩვენს მიერ მიღებული გაანგარიშებით და ლიტერატურაში მოყვანილი შედეგების შედარების საფუძველზე წრფივად დეფორმირებადი შრის მეთოდით და ექვივალენტური შრის მეთოდით გაანგარიშებული საძირკვლების დაჯდომის სიდიდეები მნიშვნელოვნად

აღმატება შრეობრივი შეჯამების მეთოდით მიღებულს. ამიტომ ზემოთ აღნიშნული ფუძის დეფორმაციის გასაანგარიშებელი მეთოდები შეიძლება მივიღოთ, როგორც მიახლოებითი (ინჟინრული) მეთოდები. უფრო ზუსტი შედეგების მიღება შეიძლება მაშინ, როცა ფუძე წარმოდგენილი იქნება ერთგვაროვანი გრუნტებისაგან, საძირკვლის ძირის ზომები იქნება მნიშვნელობით ($b \geq 10\delta$), ასევე როცა გრუნტების დეფორმაციის მოდული იქნება მნიშვნელოვანი ($E \geq 100\delta\sigma$).

აქედან გამომდინარე, ფუძის დეფორმაციის გასაანგარიშებლად შრეობრივი შეჯამების მეთოდი შეიძლება მივიღოთ ერთ-ერთ ძირითად (ტრადიციულ) მეთოდად ანუ ყველაზე წარმატებულ მეთოდად. მისი უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ იგი ითვალისწინებს გრუნტების სახეობას და მათ მდგომარეობას, დაბვების შემცირებას ფუძის სიღრმეში და გრუნტების ფენების დეფორმაციის მოდულის ცვლილებას, ასევე იძლევა მიწისქვეშა წყლების გავლენის მხედველობაში მიღების საშუალებას.

3.4. შენობა-ნაგებობების ფუძის დეფორმაციის შრეობრივი შეჯამების მეთოდის კომპიუტერული რეალიზაცია და ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა

3.4.1. შესავალი და ამოცანის დასმა

შენობა-ნაგებობების სიმტკიცე, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, დამოკიდებულია იმ ფუძეზე, რომელზედაც ის უნდა აშენდეს. ამიტომ ფუძის დეფორმაციის ზუსტ გაანგარიშებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. ფუძის დეფორმაციის გაანგარიშებისათვის საჭირო საწყისი პარამეტრების

შერჩევა ხდება შენობის სპეციფიკიდან გამომდინარე დამპროექტებლის მიერ, მისი თეორიული და პრაქტიკული გამოცდილებიდან გამომდინარე. თვით გაანგარიშების სისწორე გამოჩნდება მხოლოდ საბოლოო ეტაპზე და თუ შედეგი არ არის დამაკმაყოფილებელი, მაშინ დამპროექტებელს თავიდან უხდება გაანგარიშებების ჩატარება, ოღონდ შეცვლილი საწყისი პარამეტრებით. ეს პროცესი შეიძლება რამოდენიმეჯერ განმეორდეს, სანამ არ იქნება მიღწეული სასურველი შედეგი, რაც საკმაოდ შრომატევად სამუშაოს წარმოადგენს.

სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებულია შენობა-ნაგებობების ფუძის შრეობრივი შეჯამების მეთოდის კომპიუტერული რეალიზაციის ალგორითმი და განისაზღვრება ფუძის პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობები [11].

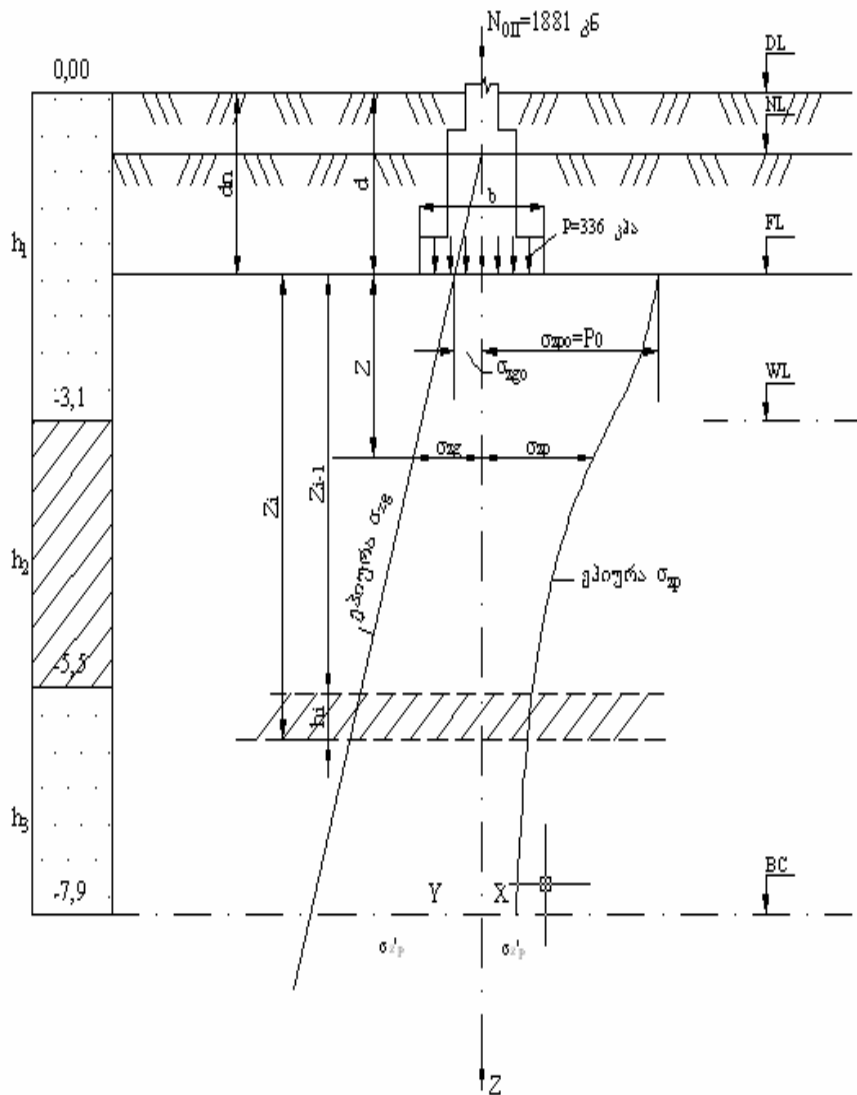
3.4.2. ძირითადი ნაწილი

ფუძის დეფორმაციის გაანგარიშების რამდენიმე მეთოდი არსებობს [29,31]. განვიხილოთ შრეობრივი შეჯამების მეთოდის კომპიუტერული რეალიზაციის შესაძლებლობა. შრეობრივი შეჯამების მეთოდი რეკომენდებულია სამშენებლო ნორმებითა და წესებით [31] და წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად მეთოდს ფუძის დეფორმაციის გასაანგარიშებლად სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობაში. ფუძის S დეფორმაციას შრეობრივი შეჯამების მეთოდით გამოითვლიან:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \sigma_{zp,i} h_i / E_i, \quad (3.9)$$

სადაც β უგანზომილებო კოეფიციენტია და ტოლია 0,8; $\sigma_{zp,i}$ - დამატებითი ვერტიკალური ნორმალური დაბვის საშუალო მნიშვნელობა გრუნტის i -ურ შრეზე. იგი ტოლია მითითებული დაბვების ($\sigma_{zp,i-1}$ და $\sigma_{zp,i}$) ნახევარ ჯამისა Z_{i-1} და Z_i შრეების საზღვრების ვერტიკალზე და რომელიც გადის საძირკვლის ძირის სიმძიმის ცენტრზე; h_i და E_i შესაბამისად არის i -ური შრის გრუნტის სისქე და დეფორმაციის მოდული; n - შრეების რიცხვი.

ვერტიკალური ნორმალური დაბვის ასეთი განაწილებისას სიღრმეზე ფუძე შეიძლება წარმოვადგინოთ ქვემოთ მოყვანილი სქემის შესაბამისად ნახ. 3.4.



ნახ. 3.4. გრუნტის გაფართოებული გეოლოგიური ჭრილის სქემა.

ფუძის დეფორმაციის შრეობრივი შეჯამების მეთოდით გაანგარიშებისას საჭიროა განისაზღვროს ვერტიკალური ძაბვები გამოწვეული გრუნტის საკუთარი წონით σ_{zg} და დამატებითი ძაბვები გამოწვეული გარე დატვირთვებით σ_{zp} .

ვერტიკალური ძაბვა, რომელიც გამოწვეულია გრუნტის საკუთარი წონით Z სიღრმეზე გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{zg} = \gamma' d_n + \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i, \quad (3.10)$$

სადაც γ' გრუნტის კუთრი წონაა, რომელიც მდებარეობს საძირკვლის ძირის მაღლა; d_n – მანძილი მიწის ზედაპირიდან საძირკვლის ძირამდე; h_i და γ_i - გრუნტის i-ური შრის სისქე და კუთრი წონა შესაბამისად.

გარე დატვირთვით გამოწვეული დამატებითი ვერტიკალური ძაბვა Z სიღრმეზე გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot P_0 = \alpha (P - \sigma_{zg}), \quad (3.11)$$

სადაც α კოეფიციენტია, რომელიც აიღება ცხრილი №3.3 – დან საძირკვლის ძირის ფორმაზე, გვერდების თანაფარდობაზე და ფარდობით სიღრმეზე დამოკიდებულებით.

α -კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

ცხრილი №3.3

$\xi =$ $2z/b$		α კოეფიციენტი საპირკვლებისათვის							
		წრის- ლი	გვერდების მართკუთხა დამოკიდებულებისას $\eta = l/b$ ტოლია						
			1.0	1.4	1.8	2.4	3.2	5	$\eta \geq 10$ ლენტ- ური
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
0.4	0.949	0.960	0.972	0.975	0.976	0.977	0.977	0.977	
0.8	0.756	0.800	0.848	0.866	0.876	0.879	0.881	0.881	
1.2	0.547	0.606	0.682	0.717	0.739	0.749	0.754	0.755	
1.6	0.390	0.449	0.532	0.578	0.612	0.629	0.639	0.642	
2.0	0.285	0.335	0.414	0.463	0.505	0.530	0.545	0.550	
2.4	0.214	0.257	0.325	0.374	0.419	0.449	0.470	0.477	
2.8	0.165	0.201	0.260	0.304	0.349	0.383	0.410	0.420	
3.2	0.130	0.160	0.210	0.251	0.294	0.329	0.360	0.374	
3.6	0.106	0.131	0.173	0.209	0.250	0.285	0.319	0.337	
4.0	0.087	0.108	0.145	0.176	0.214	0.248	0.285	0.306	
4.4	0.073	0.091	0.123	0.150	0.185	0.218	0.255	0.280	
4.8	0.062	0.077	0.105	0.130	0.161	0.192	0.230	0.258	
5.2	0.053	0.067	0.091	0.113	0.141	0.170	0.208	0.239	
5.6	0.046	0.058	0.079	0.099	0.124	0.152	0.189	0.223	
6.0	0.040	0.051	0.070	0.087	0.110	0.136	0.173	0.208	
6.4	0.036	0.045	0.062	0.077	0.099	0.122	0.158	0.196	
6.8	0.031	0.040	0.055	0.064	0.088	0.110	0.145	0.185	
7.2	0.028	0.036	0.049	0.062	0.080	0.100	0.133	0.175	
7.6	0.024	0.032	0.044	0.056	0.072	0.091	0.123	0.166	
8.0	0.022	0.029	0.040	0.051	0.066	0.084	0.113	0.158	
8.4	0.021	0.026	0.037	0.045	0.060	0.077	0.105	0.150	
8.8	0.019	0.024	0.033	0.042	0.055	0.071	0.098	0.143	
9.2	0.017	0.022	0.031	0.039	0.051	0.065	0.091	0.137	
9.6	0.016	0.020	0.028	0.036	0.047	0.060	0.085	0.132	
10.0	0.015	0.019	0.026	0.033	0.043	0.056	0.079	0.126	
10.4	0.014	0.017	0.024	0.031	0.042	0.052	0.074	0.122	
10.8	0.013	0.016	0.022	0.029	0.037	0.049	0.069	0.117	
11.2	0.012	0.015	0.021	0.027	0.035	0.045	0.065	0.113	
11.6	0.011	0.014	0.020	0.025	0.033	0.042	0.061	0.109	
12.0	0.010	0.013	0.018	0.023	0.031	0.040	0.058	0.105	

სწორკუთხა საძირკვლის სიგანესა და ფარდობით სიღრმეს შორის დამოკიდებულება ტოლია $\xi = 2z/b$,

σ_{zp} -ს განსაზღვრისას, ხოლო $P_0 = P - \sigma_{zg,0}$ დამატებითი ვერტიკალური წნევაა ფუძეზე. (თუ $b \geq 10$ მ, მაშინ $P_0 = P$), P საშუალო წნევაა საძირკვლის

ძირზე. $\sigma_{zg,0}$ - გრუნტის წონით გამოწვეული ვერტიკალური ძაბვა ფუძის ძირის ღონეზე. b -საძირკვლის სიგანე,

ℓ - საძირკვლის სიგრძე, $A = b \cdot \ell$ - საძირკვლის ფუძის ფართობი, $\eta = \ell/b$ - საძირკვლის სიგრძისა და სიგანის შეფარდება.

წნევის ეპიურებს აქტიური ზონის ქვედა ზღვარამდე აგებენ პირობიდან:

$$\sigma'_{zp} = 0,2 \sigma'_{zg}, \quad (3.12)$$

ნახ.3.4-ზე ნახვენებია σ'_{zp} , σ'_{zg} ეპიურები. S -ის ყველა სიღრმის დადგენის შემდეგ გამოითვლება მისი მნიშვნელობა. თუ პირობა $S < S_{\text{ხლ}}$ (სადაც $S_{\text{ხლ}}$ დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობაა) დაკმაყოფილდა, მაშინ შეიძლება ითქვას, რომ ამოცანა ამოსსნილია. წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიცვლება პარამეტრები b და d_n და გამოთვლები გაგრძელდება მანამ, სანამ არ მიიღწევა სასურველი შედეგი.

3.4.3. შენობა-ნაგებობის ფუძის დეფორმაციის
შრობრივი შეჯამების მეთოდის კომპიუტერული
რეალიზაციის ალგორითმი

ალგორითმი შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ
შემდეგნაირად:

1. წინასწარ ფორმირდება მონაცემთა ბაზის
რელაციური მოდელი, რაც გულისხმობს η_k -ს

შესაბამისი $\alpha(i)_{\eta_k}$ მონაცემების ცხრილის სახით
განთავსებას კომპიუტერის მეხსიერებაში. მეხსიერებაში
განთავსდება აგრეთვე გარე დატვირთვის მნიშვნელობა,
გრუნტის ფენებისა და საძირკველის პარამეტრები
(როგორცაა ფენების კუთრი წონები, საძირკველის
სიგანე, ჩაღრმავება და სხვა საჭირო პარამეტრები).

2. პროგრამის შესრულებაზე გაშვებისას
გამოითვლება $\eta_r = |b|$ -ს რეალური მნიშვნელობა.

თუ $\eta_r = \eta_k$, მაშინ ანგარიშისათვის აიღება ბაზაში

განთავსებული ცხრილის $\alpha(i)_{\eta_k}$ შესაბამისი
მნიშვნელობები, წინააღმდეგ შემთხვევაში მოხდება

რეალური η_r - ს საზღვრების განსაზღვრა, რომლის
დადგენის შემდეგ გამოითვლება შესაბამისი

$\alpha(i)_{\eta_r}$ მნიშვნელობები ინტერპოლიაციის
ფორმულის გამოყენებით, რომელსაც შემდეგი სახე
აქვს:

$$\alpha(i)_{\eta_r} = \alpha(i)_{\eta_k} + \frac{\alpha(i)_{\eta_{k+1}} - \alpha(i)_{\eta_k}}{\eta_{k+1} - \eta_k} (\eta_r - \eta_k) . \quad (3.13)$$

გარდა ამისა პროგრამა დაითვლის $\sigma_{zg,0} = \gamma d_n$ და $\mathbf{P} = \mathbf{N} / \mathbf{b.l}$ - წნევას საძირკვლის ძირზე, შემდეგ

გამოითვლის $\sigma_{zp,i}$ და $\sigma_{zg,i}$ მნიშვნელობებს,

ფორმულების $\sigma_{zp,i} = \alpha(i)_{\eta_r} \cdot P_0$ და

$$\sigma_{zg,i} = \gamma' d_n + \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \text{ თანახმად.}$$

3. დაიწყება ჯამის ციკლური გამოთვლა

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} + \sigma_{zp,i-1}}{2} \quad (3.14)$$

4. ციკლიდან გამოსვლის შემდეგ გამოითვლება

$$S_j = \frac{\beta H}{E_i} Q . \quad (3.15)$$

j იცვლება 1,2... m , სადაც m ფენების რიცხვია და H - გამოთვლების ბიჯის სიღიღე. ანალოგიური ციკლები m -ჯერ განმეორდება და მისი რაოდენობა განპირობებულია გრუნტის გეოლოგიური პირობებით.

5. საბოლოო ეტაპზე ფუძის ჯამური დეფორმაციის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_m, \quad (3.16)$$

სადაც S_1, S_2, \dots, S_m არის შესაბამისი ფენების დეფორმაციები.
განვიხილოთ მაგალითი:

1. მაგალითი. განვსაზღვროთ საძირკვლის დაჯდომის სიდიდე, როცა საძირკვლის სიგანე $b=2$ მ., სიგრძე $l = 2,8$ მ და ჩაღრმავება ბუნებრივი რელიეფიდან $d_n=1,5$ მ. ფუძე შედგება წვრილი ქვიშისაგან სისქით $h_1=1,6$ მ, $\gamma_1=18$ კნ/მ³, $E_1=18$ მპა, თიხნარისაგან სისქით $h_2=2,4$ მ, $\gamma_2=17$ კნ/ვ³, $E_2 = 17$ მპა, და საშუალო სიმსხოს ქვიშისაგან სისქით $h_3=2,4$ მ, $\gamma_3 = 19$ კნ/მ³, $E_3 = 30$ მპა. მიწისქვეშა წყლის დონე მდებარეობს მიწის ზედაპირიდან 3,1 მ. სიღრმეზე, რომლის ქვემოთ მდებარე თიხნარის კუთრი წონაა 10,3 კნ/მ³. წნევა საძირკვლის ზედაპირზე $N=1881/(2 \times 2,8)=336$ კპა.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილ №3.4-ში მოცემულია ერთი და იგივე მაგალითის გაანგარიშების რამდენიმე ვარიანტი:

მაგალითის გაანგარიშების ვარიანტები. ცხრილი №3.4

მაგალითის პარამეტრები					კომპიუტერზე მიღებული შედეგები			
					I - ფენა	II - ფენა	III - ფენა	ჯამი
№	b	l	d _n	N	S ₁	S ₂	S ₃	S
1	2	2.8	1.5	1881	0.0205434	0.0080326	0.0014415	0.03001
2	2.5	2.8	1.5	1881	0.0159955	0.0052951	0.0009177	0.021514
3	2	2.8	2	1881	0.0194487	0.0077986	0.0013995	0.02914
4	2.5	2.8	2	1881	0.0147298	0.0050980	0.0008835	0.020711

3.4.4. ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა შემთხვევითი ძებნის მეთოდის გამოყენებით

ფუძის დეფორმაციის სიდიდის განსაზღვრისას დგება საკითხი მისი ოპტიმალური მნიშვნელობის შერჩევის შესახებ. შემოვიღოთ აღნიშვნები $X_1=b$ და $X_2=dn$, მაშინ S შეგვიძლია წარმოვადგინოთ როგორც ორი ცვლადის ფუნქცია $S = F(X_1, X_2)$, ბუნებრივი რელიეფიდან ან სხვა ეკონომიკური ან ინჟინრული მოსაზრებებიდან გამომდინარე დავადგინოთ ფუძის სიგანის X_1 და ჩადრმავეების X_2 შესაძლო ცვლილებების არეები, ვთქვათ ესენია b_1 და b_2 , და d_{n1} და d_{n2} შესაბამისად, ე.ი. გვაქვს შემდეგი შეზღუდვები:

$$b_1 \leq X_1 \leq b_2, \quad (3.17)$$

და

$$d_{n1} \leq X_2 \leq d_{n2}. \quad (3.18)$$

ამგვარად ფუძის დეფორმაციის ოპტიმალური ანუ მინიმალური მნიშვნელობის პოვნის ამოცანა დაიყვანება არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანამდე და შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგნაირად: ვიპოვოთ $S=F(X_1, X_2)$ ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობა, როდესაც სრულდება (3.17) და (3.18) პირობები.

ვინაიდან უცნობია $S=F(X_1, X_2)$ ფუნქციის ანალიზური სახე და ამავე დროს უცნობია მისი უნიმოდალობის საკითხი მისი ექსტრემუმის მოსანახად ვერ გამოვიყენებთ ექსტრემუმის მოძებვის მათემატიკაში ცნობილ კლასიკურ-გრადიენტის მეთოდს. ამიტომ ასეთ შემთხვევაში ყველაზე მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნის (გადარჩევის) მეთოდი [23], რომელიც \mathcal{E} სიზუსტით კრებადობას $V \rightarrow \infty$ როდენობის სტატისტიკური ცდების ჩატარების საფუძველზე უზრუნველყოფს.

აღნიშნული მეთოდით მრავალი ცვლადის ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის მოძებნა დიდი რაოდენობის ცდების ჩატარებას ითვალისწინებს, რაც შრომატევადობასთან არის დაკავშირებული, მაგრამ ეს ნაკლი თანამედროვე კომპიუტერების გამოყენებით გადალახულია.

ცნობილია, რომ V რაოდენობის სტატისტიკური ცდების ჩატარების შემდეგ ε მიდამოში ერთი წერტილის მოხვედრის ალბათობა შეადგენს $P(V)=1-(1-\varepsilon^q)$, სადაც q პარამეტრების რაოდენობაა. მაშასადამე სტატისტიკური ცდების ის რაოდენობა, რომლის საფუძველზე P ალბათობით შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ ε სიზუსტით მოძებნილი ოპტიმალური მნიშვნელობა ჰემმარიტ მნიშვნელობას შეესაბამება

$$V = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^q \ln [1/(1-p)]. \quad (3.19)$$

მაგალითად, ორგანზომილებიანი ამოცანის შემთხვევაში ($q=2$), როცა $P=1/2$ და $\varepsilon=10^{-3}$, საჭიროა არანაკლებ

$$V = (1/10^{-3})^2 \ln [1/(1-0.5)] = 10^6 \ln 2 = 0.69 \cdot 10^6,$$

რაოდენობის სტატისტიკური ცდების ჩატარება.

ქვემოთ მოყვანილია ამოცანის ამოხსნის ფორმალიზებული ალგორითმის აღწერა:

1. წინასწარ განისაზღვრება ალგორითმის საწყისი პარამეტრები:

- დამოუკიდებელი ცვლადების რაოდენობა – q ;
- შეზღუდვათა რაოდენობა, რომელიც დადებულია დამოუკიდებელ ცვლადებზე;
- დამოუკიდებელ ცვლადთა შესაძლო ცვლილების არეები (ზედა და ქვედა ზღვრები);
- ჩასატარებელი სტატისტიკური ცდების რაოდენობა - V ;
- მაქსიმალურად შესაძლო დიდი რიცხვი R .

2. სრულდება სტატისტიკური ცდების ჩატარების ციკლი.

3. შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი ციკლურად გამოიმუშავებს შემთხვევით რიცხვებს, რომლებიც შემდეგ ფორმირდება, როგორც საძებნი პარამეტრები X_1 და X_2 .

4. გამოითვლება შეზღუდვათა ყველა მნიშვნელობა და ციკლურად შემოწმდება მათი შესრულების პირობა.

5. ყველა პირობის დაკმაყოფილების შემთხვევაში გამოითვლება F ფუნქცია და შემოწმდება $F < R$ პირობაზე. თუ ეს პირობა დაცული იქნება, მაშინ R -ს მიენიჭება F -ის ტოლი მნიშვნელობა, ე.ი. $R = F$, რომელიც შეინახება მეხსიერებაში (მასთან ერთად მეხსიერებაში შეინახება აგრეთვე X_1 და X_2 პარამეტრების მნიშვნელობები), რათა გამოყენებულ იქნეს შემდეგი ციკლისას. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ე.ი, როცა $F \geq R$, პროგრამა უბრუნდება მე-2 პუნქტის შესრულებას.

ზემოთაღწერილი პროცესი მეორდება მანამ, სანამ სტატისტიკური ცდების ჩატარების რიცხვი V -ს არ გადააჭარბებს.

ამგვარად პროგრამის მუშაობის საბოლოო შედეგს წარმოადგენს მიზნის ფუნქციის, ე.ი. შენობის ფუძის დეფორმაციის მინიმალური მნიშვნელობა და საძირკვლის სიგანისა და ჩაღრმავების ის მნიშვნელობები, რომლის დროსაც ფუნქციის მინიმალურ მნიშვნელობას აქვს ადგილი. გარდა ამისა პროგრამა განსაზღვრავს სწრაფქმედების პარამეტრსაც- მიზნის ფუნქციის გამოთვლის რაოდენობას.

აღნიშნული ნაშრომი შეიძლება გამოიყენონ როგორც სამშენებლო, სატრანსპორტო და ჰიდროტექნიკური ფაკულტეტების სტუდენტებმა ლაბორატორიული და საკურსო სამუშაოების შესრულებისას, ასევე საპროექტო ორგანიზაციებში მომუშავე ინჟინერ-ტექნიკურმა პერსონალმა.

დანართიში მოცემულია შენობა-ნაგებობის ფუძის დეფორმაციის შრეობრივი შეჯამების მეთოდის და ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის პროგრამა (FUDZE).

თაზი IV

წამწის გაანგარიშების ძირითადი მეთოდები

ისეთი კონსტრუქცია როგორც ბრტყელი წამწეა, ძალიან ხშირად გამოიყენება მშენებლობასა და პროექტირებაში. ნებისმიერი წამწე, და მისი ღეროები, როგორც მისი შემადგენელი ნაწილები, იღებს თავისთავზე რაიმე დატვირთვას. ღეროების აუცილებელი სიმტკიცისა და თითოეული მათგანის დაძაბულობის გაანგარიშება მოცემული დატვირთვის დროს, წარმოადგენს, ერთერთი მნიშვნელოვან ელემენტს მშენებლობისათვის მზადებისას.

4.1. სამომენტო წერტილის ხერხი

ეს ხერხი [24] გამოიყენება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც შესაძლებელია წამწე გაკვეთილი იქნას ორ ნაწილად ისე, რომ განკვეთაში მოხდეს მხოლოდ ისეთი ღეროები, რომელთაგან საძიებელი ღეროს გარდა ყველა დანარჩენი იკვეთება ერთ წერტილში (კვანძში). ამ წერტილის მიმართ თუ დაეწერთ წამწის ერთი რომელიმე ნაწილის წონასწორობის პირობას, მასში შევა მხოლოდ ერთი უცნობი. წერტილს, რომლის მიმართაც იწერება წონასწორობის განტოლებები, სამომენტო წერტილი ეწოდება. მაშასადამე, სამომენტო წერტილის ხერხით ძალვის განსაზღვრისათვის საჭიროა გავატაროთ გამჭოლი კვეთი, ისე, რომ გადაიკვეთოს საძიებელი ღეროც, ხოლო დანარჩენ ღეროებს უნდა ჰქონდეთ ერთი საერთო კვანძი (სამომენტო წერტილი). შემდეგ კი უკუუგადლოთ წამწის ერთ-ერთი ნაწილი, რომლის ქმედება დანარჩენებზე შევცვალოთ (შეთანხმებით)

გამჭიმავი (კვანძიდან გამომავალი) ძალებით და შევადგინოთ პირობა მომენტთა ჯამის სახით სამომენტო წერტილის მიმართ $\sum M_k = 0$. წონასწორობის განტოლების ამოხსნის შემდეგ თუ ჩვენ მივიღეთ საძიებელი ძალვა დადებითი ნიშნით, ეს ნიშნავს, რომ ღეროში ძალვა ყოფილა მართლა გამჭიმავი, წინააღმდეგ შემთხვევაში იგი მკუმშავია. ძალების გამოთვლას წამწეების ღეროებში წინ უსწრებს საყრდენი რეაქციების გამოთვლა. საყრდენთა რეაქციები წამწეებში გამოითვლება ანალოგიურად, როგორც ორ საყრდენზე მდებარე კოჭში.

4.2. დაგეგმილების ხერხი

ზოგჯერ ძალვათა განსაზღვრა სამომენტო წერტილის ხერხით შეუძლებელია, სახელდობრ, თუ დანარჩენი გადაკვეთილი ღეროები პარალელური არიან. ასეთ შემთხვევაში გამოიყენება დაგეგმილების ხერხი [24]. წამწე იკვეთება ორ ნაწილად და განიხილება ერთ-ერთი ნაწილის წონასწორობა. უკუგდებული ნაწილის ნაცვლად წამწის ღეროებში მოსდებენ გამჭიმავ გრძივ ძალებს. ვადგენთ წონასწორობის განტოლებას, კერძოდ პარალელური სარტყლების მართობული ღერძის მიმართ ძალების გეგმილებს ვუტოლებთ $\sum Y = 0$.

4.3. კვანძების ამოკვეთის მეთოდი

ჩვენს მიერ შესრულებულ მონოგრაფიაში გამოყენებული გვაქვს წამწის გასაანგარიშებლად სწორედ ეს მეთოდი და ამიტომ მასზე შეუჩერდებით უფრო დეტალურად. ამ მეთოდით [28] მოხერხებულია

ვისარგებლოთ მაშინ, როცა საჭიროა მოინახოს ძაღვები წამწის ყველა ღეროებზე. ის მიიყვანება ძალთა წონასწორობის პირობების თანმიმდევრობით განხილვამდე, რომლებიც იკრიბებიან თითოეულ კვანძებში, წამწის ღეროებში ძაღვების განსასაზღვრავად. აქტიური ძაღვები და რეაქციები საყრდენებზე არიან გარეშე ძაღვები, აქტიური ძაღვები და საყრდენების რეაქციები წარაოდგენენ გარე ძაღვს მთელი წამწისათვის, როგორც მყარი სხეულისათვის; ძაღვები ღეროებში ამ შემთხვევაში წარმოადგენენ შინაგანი ძაღვს. ამიტომ ძაღვების გაანგარიშებისათვის აუცილებელია განვიხილოთ წამწის ნაწილის წონასწორობა, რომელთათვისაც საძიებელი ძაღვები არიან გარეგანი ძაღვები.

წამწეების გაანგარიშებისათვის კვანძების ამოკვეთის მეთოდით აუცილებელია დავიცვათ ქვემოთ მოცემული მოქმედების შემდეგი გეგმა:

1. ამორჩევა სხეულის (ან სხეულების), რომელთა წონასწორობა უნდა იქნეს განხილული. ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა განვიხილოთ სხეულის წონასწორობა, რომელზედაც მოდებულება მოცემული და საძებნი ძალა ან ძაღვები, რომლებიც ტოლი იქნებიან საძებნის (მაგალითად, თუ გვინდა გავიგოთ დაწოლა ღეროზე, მაშინ შეიძლება განვიხილოთ სხეულის წონასწორობა, რომელზედაც მოდებულება ამ ძალის რიცხობრივად ტოლი ღეროების რეაქციის ძალა და ა.შ.)

2. როდესაც მოცემული ძაღვები მოქმედებენ ერთ სხეულზე, ხოლო საძებნი მეორეზე ან როდესაც როგორც ერთი ასევე მეორე ძაღვები მოქმედებენ ერთდროულად რამდენიმე სხეულზე, შეიძლება აღმოჩნდეს აუცილებელი განვიხილოთ სისტემის წონასწორობა ამ სხეულების ან წონასწორობა თითოეული სხეულისა ცალცალკე თანმიმდევრობით.

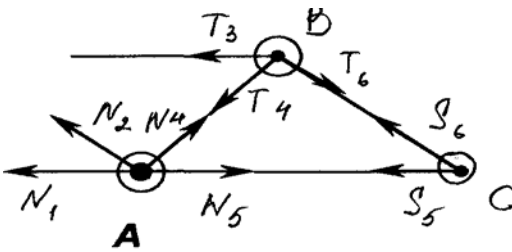
3. გამოსახულება მოქმედი (აქტიური) ძალების. მას შემდეგ რაც დავადგენთ თითოეული სხეულის ან სხეულების წონასწორობას განიხილება საჭიროება ნახაზზე გამოისახოს ამ სხეულზე (ან სხეულებზე) მოქმედი ყველა გარე ძალა, როგორც მოცემული, ასევე საძებნი, მათ შორის ყველა კავშირების რეაქციები.

4. წონასწორობის პირობების შედგენა. წონასწორობის პირობებს ადგენენ ძალებისათვის, რომლებიც მოქმედებენ სხეულზე (ან სხეულებზე), რომელთა წონასწორობა განიხილება.

5. განსაზღვრა, საყრდენთა რეაქციის, მთელი წამწის წონასწორობის განტოლების გამოყენებით, რომელიც განიხილება როგორც მყარი სხეული, ამოხსნის სისწორის შემოწმება და მიღებული შედეგების გამოკვლევა.

6. ამოგვეთოთ კვანძი, რომელშიც იკრიბება ორი ღერო ნახ.4.1 და განვიხილოთ მისი წონასწორობა აქტიური ძალების და გადაჭრილი ღეროების რეაქციათა მოქმედებით; განვსაზღვროთ ეს რეაქციები.

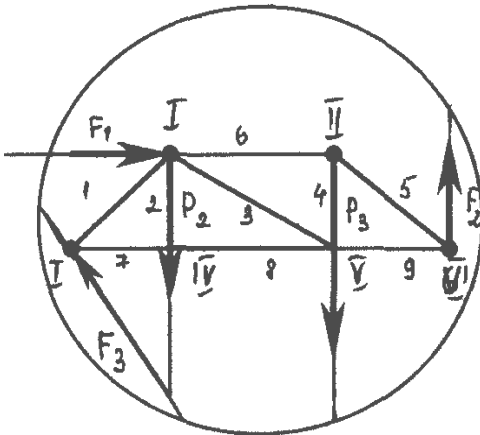
7. გადავიდეთ კვანძიდან კვანძზე და განვიხილოთ ანალოგიურად თითოეული კვანძის წონასწორობა



ნახ.4.1. წამწე ამოკვეთილი კვანძით.

4.4. წამწის ღეროების ძალვათა განსაზღვრა მაქსველ-კრემონის დიაგრამების საშუალებით

ეს არის გრაფიკული ხერხი [28] წამწის ღეროების ძალების გაანგარიშების. მაქსველ-კრემონის დიაგრამის აგება მდგომარეობს, ძალგური მრავალკუთხედის აგებაში, ფერმის ყველა კვანძისათვის, ერთ ნახაზში ისეთნაირად, რომ არცერთი ძალვა არ განმეორდეს ორჯერ (ნახ.4.2)



ნახ.4.2. მაქსველ-კრემონის დიაგრამა.

მაქსველ-კრემონის ხერხით წამწის გაანგარიშებისას საჭიროა შემდეგი თანამიმდევრობის დაცვა:

მთელი წამწე განიხილება როგორც მყარი სხეული და განისაზღვრება საყრდენების რეაქციები, წონასწორობის განტოლების გამოყენებით.

უგლვებელფყოთ საყრდენები და გამოვსახოთ წამწეზე მოდებული ყველა გარეგანი ძალა, მათ შორის საყრდენების რეაქციები, ისეთნაირად, რომ ეს ვექტორები განლაგდნენ წამწის კონტურის გარეთ.

სიბრტყის ნაწილი, შემოსაზღვრული წამწის კონტურით და გარეგანი ძალების მოქმედების ხაზებით, აგრეთვე რაც შემოსაზღვრულია წამწითა დეროებით, ავლნიშნოთ ასოებით: კვანძები ავლნიშნოთ რომაული ციფრებით, დეროები არაბული ციფრებით.

ავაგოთ შეკრული მრავალკუთხედი გარეგანი ძალების, გადავდოთ ძალები იმ თანამიმდევრობით, როგორც ისინი გვხვდებიან წამწის შემოვლისას (მიმართულება ნებისმიერად), ძალები აღინიშნება პატარა ასოებით, შესაბამისი აღნიშვნებით სიბრტყის მომიჯნავე ნაწილებში.

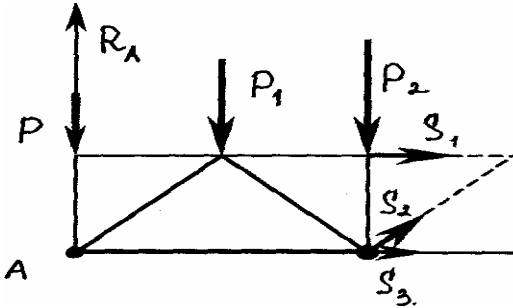
შესაბამისად იგივე ნახაზზე, ავაგოთ ძალური მრავალკუთხედი თითოეული კვანძისათვის (კვანძები შეირჩევა ისეთნაირად, რომ რიცხვი უცნობი ძალებისა დეროებში ტოლი იყოს ორის), კვანძის შემოვლის მიმართულება უნდა ემთხვეოდეს სიბრტყის შემოვლის მიმართულებას.

დერო ითვლება შეკუმშულად, თუ მიმართულება, მითითებული ცნობილი ძალებით, მიმართულია კვანძისაკენ, წინააღმდეგ შემთხვევაში დერო გაჭიმულია.

გავზომოთ დიაგრამებზე მონაკვეთები, რომლებიც ასახავენ საძიებელ ძალებს წამწის დეროებში, და ვიპოვოთ ძალვა ძალთა მიღებულ მაშტაბის გათვალისწინებით.

4.5. წამწის დეროების ძალების განსაზღვრა კვეთების მეთოდით (რიტერის მეთოდი)

წამწის ცალკეული დეროებში, ძალვათა განსასაზღვრავად, აგრეთვე მოხერხებულია რიტერის მეთოდით სარგებლობა [28], განსაკუთრებით მაშინ, როცა ვატარებთ შემოწმებით ანგარიშებს (ნახ.4.3).



ნახ.4.3. რიტერის სქემით
გაანგარიშებისათვის.

კვეთების მეთოდით გაანგარიშებისას რეკომენდებულია მოქმედებების შემდგომი თანამიმდევრობით შესრულება:

აქაც ისევე როგორც წინა შემთხვევაში, მთელი წამწვე განიხილება როგორც მყარი სხეული, რომელიც იმყოფება ძალების ბრტყელი სისტემის ზემოქმედების ქვეშ. განისაზღვრება საყრდენების რეაქციები, წონასწორობის განტოლების გამოყენებით.

წამწვეს ყოველ კვეთების ორ ნაწილად, რომლებიც გადიან სამ ღეროზე, რომლებშიც (ან ერთერთ რომელიდაცაში) მოითხოვება განისაზღვროს ძალები, და განიხილება წონასწორობა ერთერთ ამ ნაწილში. მოქმედებას უგულებელყოფილ ნაწილში ცვლიან შესაბამისი ძალებით, და მიმართავენ მას განკვეთილი ღეროს გასწვრივ კვანძიდან, ე.ი. თვლიან მას გაჭიმულად.

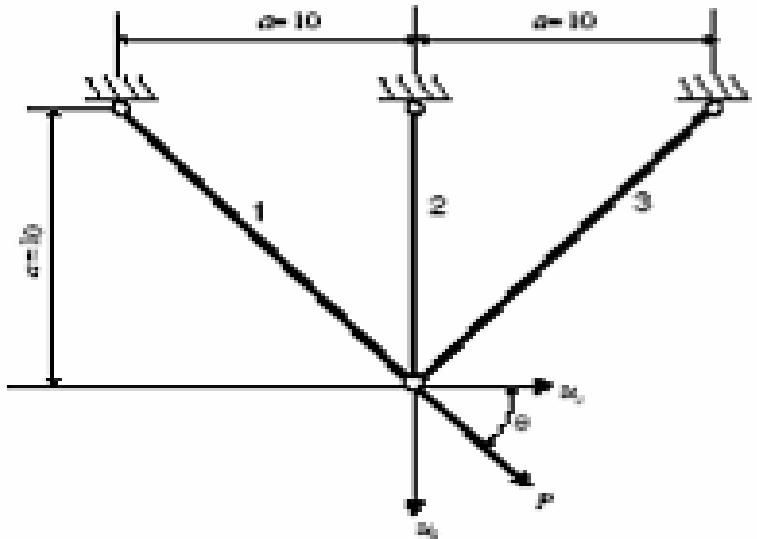
შემდეგ დგება წონასწორობის განტოლება ისეთნაირად, რომ თითოეულ განტოლებაში შედიოდეს ერთი უცნობი ძალა.

მიღებული განტოლებებიდან იპოვნიან უცნობ ძალებს ღეროებში. თუ პასუხში მიიღება ნიშანი “-“, ეს ნიშნავს, რომ ღერო შეკუმშულია, წინააღმდეგ შემთხვევაში ღერო გაჭიმულია.

4.6. სამღეროვანი წამწის ოპტიმიზაციის ანალიზური ამოხსნის მეთოდი

[1] შემოთავაზებულია სამღეროვანი წამწის ოპტიმიზაციის ანალიზური მეთოდი, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში:

ვთქვათ, მოცემულია სამღეროვანი წამწე ნახ. 4.4



ნახ.4.4. სამღეროვანი სიმეტრიული წამწე.

პროექტირების მიზანს წარმოადგენს ცალკეული დეროების b_1, b_2 და b_3 განივი კვეთების შერჩევა ისეთნაირად, რომ წამწის წონა იყოს მინიმალური და კმაყოფილდებოდნენ შეზღუდვები დადებული დაძაბულობაზე, გრძივი ღუნვისას მდგრადობაზე, წანაცვლებაზე და დეროების ზომებზე. ამგვარად ფუნქციონალი ψ_0 წარმოადგენს კონსტრუქციის წონას

$$\psi_0 = \rho \cdot g(a\sqrt{2} \cdot b_1 + ab_2 + a\sqrt{2}b_3),$$

(4.1)

სადაც $\rho \cdot g$ არის მასალის კუთრი წონა. საერთო კვანძის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური წანაცვლებები z_1 და z_2 მოცემული კონსტრუქციისათვის მიიღებიან დრეკადობის თეორიის მიხედვით სასრულო ელემენტების მეთოდის გამოყენებით. ამ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$K(b) \cdot z - S = 0,$$

(4.2)

სადაც $z = [z_1, z_2]^T$, $K(b)$ – სიხისტის დადებითად განსაზღვრული მატრიცა, S – დატვირთვის ვექტორი.

$$K(b) = \frac{\sqrt{2}E}{40} \begin{bmatrix} (b_1 + b_3) & (b_1 - b_3) \\ (b_1 - b_3) & (b_1 + b_3 + 2\sqrt{2}b_2) \end{bmatrix}, \quad (4.3)$$

$$S = \begin{bmatrix} P \cos \vartheta \\ P \sin \vartheta \end{bmatrix},$$

სადაც E იუნგის მოდულია, ϑ დატვირთვის მოდების კუთხეა, რომელიც ათოვლება ჰორიზონტალური ღერძიდან. ძაბვა თითოეულ ღეროზე მიიღება დეფორმაციის გამოთვლის გზით კვანძის წანაცვლებაზე დამოკიდებულებით და ჰუკის კანონის გამოყენებით:

$$\sigma_1 = \frac{E(z_1 + z_2)}{20}, \quad \sigma_2 = \frac{Ez_2}{10}, \quad \sigma_3 = \frac{E(z_2 - z_1)}{20}. \quad (4.4)$$

დასაშვები ძაბვების გამოყენებით σ_i^a , $i=1,2,3$, რომელიც განსაზღვრულია თითოეული ღეროსათვის, შეზღუდვები მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$\psi_1 = \frac{E}{20} |z_1 + z_2| - \sigma_1^a \leq 0, \quad (4.5)$$

$$\psi_2 = \frac{E}{10} |z_2| - \sigma_2^a \leq 0, \quad (4.6)$$

$$\psi_3 = \frac{E}{20} |z_2 - z_1| - \sigma_3^a \leq 0. \quad (4.7)$$

შეზღუდვები მდგრადობაზე განისაზღვრება დამოკიდებულებიდან, რომელიც არსებობს ინერციის მომენტსა და თითოეული ღეროს განივი კვეთის ფართობებს შორის, რომელსაც ექნება სახე $I = \beta b^2$, სადაც b ღეროს განივი კვეთის ფართია, β - უგანზომილებო მუდმივი. ასეთი დამოკიდებულება მიიღება თუ დავაფიქსირებთ განივი კვეთის ფორმას და მისი ყველა ზომა იცვლება ერთი და იგივე პროპორციით. ღერძულ დატვირთვებს აქვს სახე $F_i = b_i \cdot \sigma_i$, $i = 1, 2, 3$, ცხადია ღეროების გაჭიმვა ითვლება დადებითად. ყოველივე ზემოთაღნიშნულის შემდეგ შეზღუდვებს მდგრადობაზე აქვთ სახე $F_i \leq \pi^2 E \cdot I_i / L_i^2$, $i = 1, 2, 3$, თუ გამოვიყენებთ (4.4) ფორმულებს, მივიღებთ:

$$\psi_4 = -\frac{E(z_1 + z_2) \cdot b_1}{20} - \frac{\pi^2 E \cdot \beta \cdot b_1^2}{200} \leq 0, \quad (4.8)$$

$$\psi_5 = -\frac{E \cdot z_2 \cdot b_2}{10} - \frac{\pi^2 E \cdot \beta \cdot b_2^2}{100} \leq 0, \quad (4.9)$$

$$\psi_6 = -\frac{E(z_2 - z_1) \cdot b_3}{20} - \frac{\pi^2 E \cdot \beta \cdot b_3^2}{200} \leq 0. \quad (4.10)$$

შეზღუდვები წანაცვლებაზე შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგნაირად:

$$\psi_7 = |z_1| - z_1^a \leq 0, \quad (4.11)$$

$$\psi_8 = |z_2| - z_2^a \leq 0, \quad (4.12)$$

სადაც z_1^a და z_2^a მოცემული ზედა საზღვრებია z_1 და z_2 ცვლადებისათვის.

ბოლოს მოითხოვება, რომ განივი კვეთის ფართობები იყვნენ არა უარყოფითები, ე. ი. სრულდებოდეს პირობა:

$$\psi_9 = -b_1 \leq 0, \quad \psi_{10} = -b_2 \leq 0, \quad \psi_{11} = -b_3 \leq 0. \quad (4.13)$$

ამგვარად წამწის პროექტირების ამოცანა განიხილება როგორც b_1, b_2, b_3 ცვლადების ისეთი მნიშვნელობების არჩევაში, რომლებიც აკეთებენ წამწის წონის ფუნქციის (4.1) მინიმიზაციას და აკმაყოფილებენ შეზღუდვებს (4.5-4.13).

უნდა აღვნიშნოთ, რომ გადაადგილებები z_1 და z_2 მოცემულ ფორმულირებაში თამაშობენ მნიშვნელოვან როლს, თვლიან რომ ისინი გამოითვლებიან კონსტრუქციისათვის, რომელიც აღიწერება (4.2) განტოლებით. ეს ცვლადები განსაზღვრავენ კონსტრუქციის გამოძახილს მოდებულ დატვირთვაზე და იწოდებიან მდგომარეობის ცვლადებად, ხოლო განტოლება (4.2) მდგომარეობის განტოლებად.

რამდენადაც $K(b)$ დადებითად განსაზღვრული მატრიცაა, ის არის არაგანსაკუთრებული. გარდა ამისა, ის არის დიფერენცირებადი ფუნქცია პროექტირების ცვლადების მიმართ. თანახმად თეორემისა არაცხადი ფუნქციის შესახებ (ე.ხოგი [1], პარაგრაფი 1.4, თეორემა 1.3), განტოლება (4.2) განსაზღვრავს z -ს, როგორც b -ს მიმართ დიფერენცირებად ფუნქციას. ამდენად პრინციპში შესაძლებელია ამოიხსნას (4.2) განტოლება z -ს მიმართ, ე.ი. $z = \varphi(b)$. ამის შემდეგ შესაძლებელია ჩაისვას მიღებული მნიშვნელობები (4.5-4.12) შეზღუდვებში, მაშინ მივიღებთ ოპტიმიზაციის ამოცანას ცხადი სახით პროექტირების ცვლადების მიმართ.

აქვე უნდა მივაქციოთ ყურადღება ე. ხოვის მიერ გაკეთებულ შენიშვნას, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ თუნდაც ასეთ მარტივ შემთხვევაშიც კი მსგავსი გარდაქმნები არა პრაქტიკულიაო, რადგანაც რეალურ, ე.ი დიდი განზომილების მქონე ამოცანებში ეს შეუძლებელიაო. (ჩვენ ქვემოთ შევეცდებით ე. ხოვის მიერ გამოთქმულ ამ შენიშვნას დავუპირისპიროთ მოცემული საკითხის გადაწყვეტის უფრო ეფექტური ხერხი.)

ზემოთ აღნიშნული სიძნელის გამო ე. ხოვი ამარტივებს ამოცანას და განიხილავს სამდეროვანი წამწის იმ შემთხვევას, როდესაც დატვირთვა $P = 20000$ ფუნტს მოდებულია დატვირთვის ორი კუთხით: $\theta_1 = \theta$ და $\theta_2 = \pi - \theta$, და დადებულია შეზღუდვა მხოლოდ ძაბვებზე, ფერმა ჩათვლილია სიმეტრიულად ისე, რომ $b_1 = b_3$.

ძაბვის სიდიდე 1-ლ ღეროზე, როცა $\theta_1 = \theta$ იგივეა რაც ძაბვის სიდიდე მე-3 ღეროზე, როცა $\theta_2 = \pi - \theta$ და პირიქით. შესაბამისად, საკმარისია განვიხილოთ პირველი პირობა და დავადოთ შეზღუდვა ძაბვაზე მხოლოდ 1 და 2 ღეროებისათვის. ნაგულისხმევია აგრეთვე, რომ θ იცვლება 0-დან 90 გრადუსამდე. ამ შემთხვევაში გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ განტოლება (4.1) დებულობს შემდეგ სახეს:

$$\begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_1 + \sqrt{2} \cdot b_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \frac{10 \cdot \sqrt{2}}{E} \cdot \begin{bmatrix} P \cdot \cos \theta \\ P \cdot \sin \theta \end{bmatrix}. \quad (4.14)$$

(4.1) განტოლებათა სისტემის ამოხსნას ექნება შემდეგი სახე:

$$z_1 = \frac{10 \cdot \sqrt{2} \cdot s_1}{b_1 \cdot E}, \quad z_2 = \frac{10 \cdot \sqrt{2} \cdot s_2}{(b_1 + \sqrt{2} \cdot b_2) \cdot E}, \quad (4.15)$$

სადაც $s_1 = P \cos \theta$ და $s_2 = P \sin \theta$. ჩავსვათ z_1, z_2 -ის მნიშვნელობები (4.5) და (4.6) ფორმულებში და

გავითვალისწინოთ აგრეთვე $\sigma_1^a = \sigma_2^a = 20000$
 ფუნქცი/დიუმი². შესაბამისად შეზღუდვებისათვის
 გვექნება:

$$\psi_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} \left(\frac{s_1}{b_1} + \frac{s_2}{b_1 + \sqrt{2} \cdot b_2} \right) - 20000 \leq 0, \quad (4.16)$$

$$\psi_2 = \sqrt{2} \cdot \frac{s_2}{b_1 + \sqrt{2} \cdot b_2} - 20000 \leq 0, \quad (4.17)$$

რადგანაც $0 \leq \vartheta \leq \pi/2$ სიდიდეები s_1 და s_2 არაუარყოფითია. საპროექტო ცვლადები ასევე უნდა იყვნენ არაუარყოფითი, ამიტომ

$$\psi_3 = -b_1 \leq 0 \quad \text{და} \quad \psi_4 = b_2 \leq 0. \quad (4.18)$$

თუ მხედველობაში არ მივიღებთ მუდმივებს 10. რ. გ, რომლებიც პრინციპში არ ცვლიან პროექტირების ამოცანას, მივიღოთ წონის ფუნქციონალი (4.1) ასეთი სახით:

$$\psi_0 = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot b_1} + b_2 \quad (4.19)$$

4.7. ფუნქციათა ამოზნექილობის შემოწმება

მიზნის ფუნქცია ψ_0 და ფუნქციები ψ_3 და ψ_4 , რომლებითაც მოცემულია შეზღუდვები, წარმოადგენენ წრფივ ფუნქციებს და ამიტომ არიან ამოზნექილნი.

ψ_1 და ψ_2 ფუნქციების (4.16) და (4.17) მეორე რიგის წარმოებულების მატრიცები შესაბამისად ტოლია [1]:

$$\frac{\sqrt{2} \cdot s_2}{(b_1 + \sqrt{2} \cdot b_2)^3} \begin{bmatrix} 1 + (1 + \sqrt{2} \cdot b_2 / b_3)^3 \cdot \frac{s_1}{s_2} & \sqrt{2} \\ \sqrt{2} & 2 \end{bmatrix}$$

და

$$\frac{\sqrt{2} \cdot s_2}{(b_1 + \sqrt{2} \cdot b_2)^3} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & 2 \\ 2 & 2\sqrt{2} \end{bmatrix}.$$

პირველი მატრიცა დადებითად განსზღვრულია, ხოლო მეორე ნახევრად დადებითად განსზღვრულია, ამგვარად ამოცანა აგრეთვე ამოხსნილია. შესაბამისად თეორემებისა [ე. ხოგი 2.6, 2.7] და კუნა-ტაკერის პირობებიდან გამომდინარე მივდივართ შემდეგ განტოლებებამდე:

$$2\sqrt{2} - v_1 \left[\frac{s_1}{\sqrt{2} \cdot b_1^2} + \frac{s_2}{\sqrt{2}(b_1 + \sqrt{2}b_2)^2} \right] - v_2 \left[\frac{\sqrt{2} \cdot s_2}{(b_1 + \sqrt{2}b_2)^2} \right] - v_3 = 0, \quad (4.2.1)$$

$$1 - v_1 \left[\frac{s_2}{\sqrt{2}(b_1 + \sqrt{2}b_2)^2} \right] - v_2 \left[\frac{2 \cdot s_2}{(b_1 + \sqrt{2}b_2)^2} \right] - v_4 = 0, \quad (4.2.2)$$

$$v_1 \left[\frac{s_1}{\sqrt{2} \cdot b_1} + \frac{s_2}{\sqrt{2}(b_1 + \sqrt{2}b_2)} \right] - 20000 = 0, \quad (4.2.3)$$

$$v_2 \left[\frac{\sqrt{2} \cdot s_2}{b_1 + \sqrt{2}b_2} \right] - 20000 = 0, \quad (4.2.4)$$

$$v_3 \cdot b_1 = 0, \quad (4.2.5)$$

$$v_4 \cdot b_2 = 0, \quad (4.2.6)$$

სადაც $v_i \geq 0, i = 1, 2, 3, 4$.

რადგანაც გვაქვს ოთხი შეზღუდვა მოცემული უტოლობის სახით, ამიტომ არსებობს $2^4 = 16$ შესაძლო შემთხვევა აქტიური შეზღუდვების. ამ შემთხვევაში $b_1 = 0$ (შესაბამისად $b_3 = 0$) შესაძლებელია მხოლოდ როცა $\vartheta = 90^\circ$ და განიხილება როგორც კერძო შემთხვევა. თუ $b_2 = 0$, მაშინ წამწე სტატიკურად რკვევადია და ოპტიმალური პროექტი პასუხობს მთლიანად ღეროების ძაბვებს. დანარჩენ შემთხვევებში

შეიძლება ავიღოთ $b_1 > 0$ და $b_2 > 0$, შესაბამისად თანახმად (4.20) და (4.21), $v_3 = v_4 = 0$. თანახმად (4.20) და (4.21) გამომდინარეობს, რომ შემთხვევა $v_1 = v_2 = 0$ შეუძლებელია, ამიტომ აუცილებელია განხილულ იქნას ოთხი სხვადასხვა შემთხვევა.

შემთხვევა 1. სიდიდეები v_1 და v_2 არ არიან 0-ის ტოლი, ანუ $\psi_1 = 0$ და $\psi_2 = 0$, ამიტომ პირველი ღერო (შესაბამისად მესამე ღერო) და მეორე ღერო მთლიანად არიან დატვირთულები. (4.22) და (4.23) - დანვლებულობთ, რომ

$$b_1 = \frac{s_1}{(10^4 \cdot \sqrt{2})}, \quad b_2 = 5 \cdot 10^{-5} (s_2 - s_1). \quad \text{უნდა}$$

აღინიშნოს, რომ უტოლობიდან $s_1 > s_2$ გამომდინარეობს უტოლობა $b_2 < 0$, რაც შეუძლებელია. ამიტომ ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს მხოლოდ უტოლობას $s_1 \leq s_2$ (ანუ $\vartheta \geq 45^\circ$).

(4.20) და (4.21) განტოლებების ამოხსნისას v_1 და v_2 მიმართ, მივიღებთ:

$$v_1 = 3b_1^2 / s_1, \quad v_2 = 2,5 \cdot 10^{-9} (s_2 - 3s_1). \quad \text{ამიტომ } v_2 \geq 0 \text{ სათვის}$$

სამართლიანია $s_2 \geq 3s_1$ ან $\text{tg } \vartheta \geq 3$ ($\vartheta \geq 71.6^\circ$).

შემთხვევა 2. აქ $v_1 \neq 0$ და $v_2 = 0$ ანუ $\psi_1 = 0$ და პირველი ღერო (და შესაბამისად მესამე ღერო) მთლიანად დაძაბულია. (4.21)- დან გვაქვს $v_1 = (b_1 + \sqrt{2} \cdot b_2)^2 / s_2$. ჩავსვათ ეს გამოსახულება (4.20)-ში და ამოვხსნათ მიღებული განტოლება $\psi_1 = 0$ -თან ერთად, მივიღებთ:

$$b_1 = 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-5} \left(s_1 + \sqrt{\frac{s_1 \cdot s_2}{3}} \right), \quad (4.26)$$

$$b_2 = 2.5 \cdot 10^{-5} \left(\sqrt{\frac{3s_2}{s_1} - 1} \right) \left(s_1 + \sqrt{\frac{s_1 \cdot s_2}{3}} \right). \quad (4.27)$$

იმისათვის, რომ შესრულდეს უტოლობა $b_2 \geq 0$ საჭიროა $3s_2 \geq s_1$ ან $\vartheta \geq 18.4^\circ$.

საჭიროა კიდევ შემოწმდეს შეზღუდვა ψ_2 -სათვის (4.17). ჩავსვათ (4.17)-ში b_1 და b_2 და (4.26) და (4.27)-დან ვღებულობთ უტოლობას $s_2/s_1 \leq 3$. ეს ნიშნავს, რომ შეზღუდვა ψ_2 -სათვის სრულდება მხოლოდ $\vartheta \leq 71.6^\circ$. ამდენად მოცემული შემთხვევა მიგვიყვანს ოპტიმალურ ამოსხნამდე მხოლოდ მაშინ, როცა $18.4^\circ \leq \vartheta \leq 71.6$.

შემთხვევა 3. აქ $v_1 = 0$ და $v_2 \neq 0$ ანუ $\psi_2 = 0$ და მხოლოდ მეორე ღერო არის სრულად დაძაბული. (4.20) –დან გამომდინარეობს, რომ $v_2 = 2(b_1 + \sqrt{2}b_2)^2 / s_2$ და (4.21)-დან $v_2 = (b_1 + \sqrt{2}b_2)^2 / s_2$. ეს ორი თანაფარდობა არათავსებადია, ამიტომ ამ შემთხვევაში ამონახსნი არ არსებობს.

შემთხვევა 4. განსაკუთრებულად განვიხილოთ ზემოთ აღნიშნული შემთხვევები, როდესაც ან $b_1 = 0$, ან $b_2 = 0$. ორივე შემთხვევაში წამწე ხდება სტატიკურად რკვევადი და ზემოთ გამოყენებული განტოლებები ძაბვებისათვის აღმოჩნდება უვარგისი. შემთხვევისათვის $b_2 = 0$ დატვირთვა P_1 და P_3 , რომლებიც მოქმედებენ პირველ და მესამე ღეროებზე, ტოლია:

$$P_1 = 10000\sqrt{2} \cdot (\sin \vartheta + \cos \vartheta), \quad P_3 = 10000\sqrt{2} \cdot (\sin \vartheta - \cos \vartheta).$$

რადგანაც P_1 და P_3 პროექტისათვის, რომელიც არის მთლიანად დაძაბულ ელემენტებიანი (თანაბრადგამძლე)

$$b_1 = \frac{P}{20000} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sin \vartheta - \cos \vartheta) = b_3.$$

$$\text{რადგანაც } b_1 > 0, \quad \text{მაშინ } v_3 = 0. \quad (4.2.1)$$

გამომდინარეობს, რომ $v_1 = 4 \cdot b_1^2 / (s_1 + s_2) > 0$, ხოლო (4.21) –დან $v_4 = (-3s_2 + s_1) / (s_1 + s_2)$. ამიტომ $v_4 \geq 0$ უტოლობის

შესრულებისათვის აუცილებელია, რომ $-3 - 3s_2 + s_1 \geq 0$, ეი $\theta \leq 18.4^\circ$. ამგვარად ოპტიმალური ამონახსი არსებობს, როცა $\theta \leq 18.4^\circ$. თუ $b_1 = 0$, მაშინ ამონახსი არსებობს მხოლოდ, როცა $\theta = 90^\circ$. შესაბამისად $b_2 = 1$ დიუმი². ამგვარად, მოდებული დატვირთვის ნებისმიერი მიმართულებით მოდებისას არსებობს ამოცანის ერთადერთი ოპტიმალური ამონახსნი.

4.8. სამღეროვანი წამწის ოპტიმიზაციის გრაფიკული მეთოდი შემოთავაზებული ს. რიჩკოვის მიერ

[39] განხილულია ს. რიჩკოვის მიერ შემოთავაზებული მეთოდი სამღეროვანი წამწის ნახ.4.4 პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობების საპოვნელად. დასმულია ზუსტად იგივე ამოცანა როგორც ეს წინა პარაგრაფში იყო.

დრეკადობის თეორიის წრფივი დამოკიდებულებით მიიღება საერთო კვანძის ჰორიზონტალური u_1 და ვერტიკალური u_2 წანაცვლებები, რომლებიც იქნებიან ფუნქციები დრეკადობის E მოდულის, ზომის a , ღეროების განივი კვეთების (b_1, b_2, b_3) და მოდებული R დატვირთვის. ამ დამოკიდებულებას მატრიცული ფორმით ექნება სახე:

$$[K(b)] \cdot [u] - [R] = 0. \quad (4.28)$$

აქაც ძაბვები თითოეულ ღეროებზე მიიღება დეფორმაციის გამთვლით კვანძების წანაცვლების გზით და ჰუკის კანონის გამოყენებით.

$$\sigma_1 = \frac{E(u_1 + u_2)}{2a}, \sigma_2 = \frac{Eu_2}{a}, \sigma_3 = \frac{E(u_2 - u_1)}{2a}. \quad (4.29)$$

სათანადო შეზღუდვებს აქვთ შედეგი სახე:

$$g_1 = \frac{E}{2a} |u_1 + u_2| - \sigma_1^a \leq 0, \quad (4.30)$$

$$g_2 = \frac{E}{a} |u_2| - \sigma_2^a \leq 0, \quad (4.31)$$

$$g_3 = \frac{E}{2a} |u_2 - u_1| - \sigma_3^a \leq 0. \quad (4.32)$$

$$-b_1 \leq 0, \quad -b_2 \leq 0, \quad -b_3 \leq 0. \quad (4.33)$$

(4.28) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შედეგად მიიღება:

$$u_1 = \frac{aP}{b_1 E}, \quad u_2 = \frac{aP}{2(b_1 + \sqrt{2}b_2)E}.$$

გამოვრიცხოთ მდგომარეობის ცვლადები (4.30) და (4.31) დან, მივიღებთ:

$$g_1 = \frac{P}{2b_1} + \frac{P}{2(b_1 + \sqrt{2}b_2)} - \sigma^0 \leq 0, \quad (4.34)$$

$$g_2 = \frac{P}{b_1 + \sqrt{2}b_2} - \sigma^0 \leq 0, \quad (4.35)$$

$$-b_1 \leq 0, \quad -b_2 \leq 0. \quad (4.36)$$

სათანადო გამარტივების შემდეგ მიზნის ფუნქციას ექნება სახე:

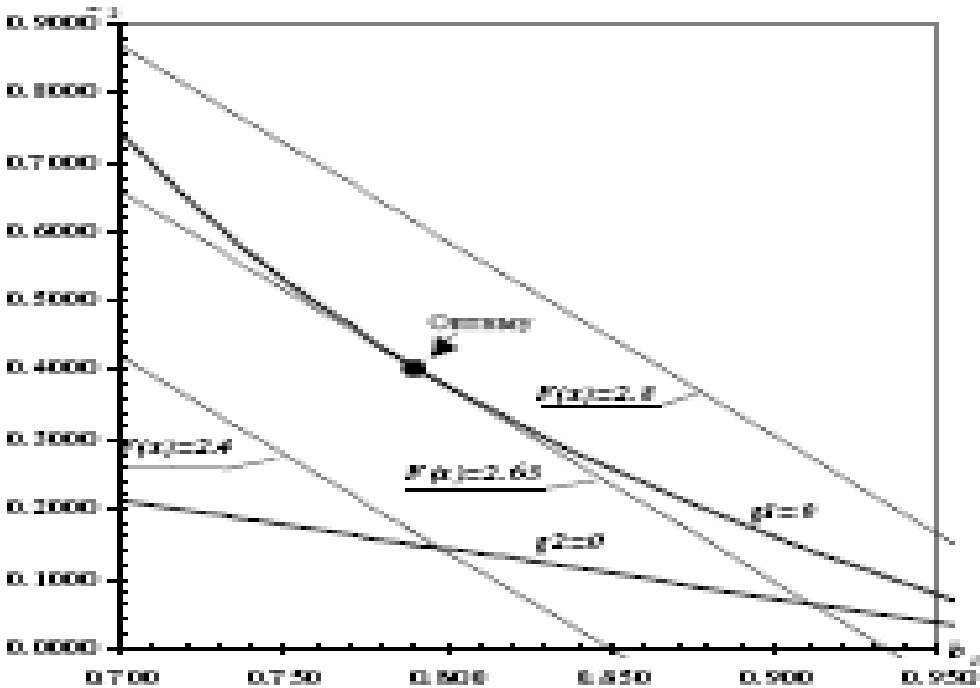
$$F(b) = 2\sqrt{2}b_1 + b_2. \quad (4.37)$$

პირობიდან $g_1 = 0$ და $g_2 = 0$ მიიღება ფუნქციები $b_2 = f_1(b_1)$ და $b_2 = f_2(b_1)$, რომლებსაც გააჩნიათ სახე:

$$b_2 = \frac{\sqrt{2}b_1(1-b_1)}{1-2b_1}, \quad (4.38)$$

$$b_2 = \frac{\sqrt{2}(1-b_1)}{2} \quad (4.39)$$

არეები, სადაც შეზღუდვები ირღვევა, მდებარეობენ g_1 და g_2 მრუდების ქვემოთ (ნახ.4.5).



ნახ. 4.5. მიზნის ფუნქცია $f(x)$ და g_1, g_2 შეზღუდვების ფუნქციები b_1 და b_2 პარამეტრების სივრცეში.

თუ რომელიმე კვეთისათვის ცვლადების მნიშვნელობების არც ერთი შეზღუდვა არ ირღვევა, მაშინ ის მიუთითებს, რომ ასეთი კონსტრუქცია შესაძლებელია (თუმცა შესაძლოა არა ოპტიმალური). თუ ერთერთი შეზღუდვებიდან დარღვეულია, კონსტრუქცია არ არის შესაძლებელი.

მთელი რიგი მიზნის ფუნქციის F_k მნიშვნელობებისათვის ავაგოთ ფუნქციები

$b_2 = F_k - 2\sqrt{2}b_1$. შევარჩიოთ ისეთი მნიშვნელობა, რომ ერთერთ წერტილში $\{b_1 > 0, b_2 > 0\}$, გრაფიკი $b_2 = F_k - 2\sqrt{2}b_1$ ფუნქციისა ეხებოდეს გრაფიკს $b_2 = f_1(b_1)$. მოცემული პირობებისათვის ოპტიმალური არის კონსტრუქცია, რომელიც შეესაბამება წერტილებს $\{b_1 = 0.79, b_2 = 0.4045\}$, რომელშიც ფუნქციის $F(b) = 2\sqrt{2}b_1 + b_2 = 2.639$ მნიშვნელობის წრფე ეხება შეზღუდვის წირს $g_1 = 0$.

ამ მეთოდების განხილვის შემდეგ შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: ზოგადად დასმული ამოცანის გადაწყვეტა წარმოადგენს რთულ საკითხს. ამიტომ ავტორები ამარტივებენ ამოცანას და განიხილავენ შემთხვევას როცა $b_1 = b_3$. ყოველივე ეს იძლევა საშუალებას გამარტივდეს მიზნის ფუნქცია და შეზღუდვები. მიუხედავად ამისა მაინც საჭიროა შრომატევადი ანალიზური კვლევების ჩატარება (კუნა-ტაკერის აუცილებელი პირობის განხილვა), რათა დაამტკიცონ ფუნქციათა ამოზნექილობა, რაც ამოცანის მცირედით გართულების შემთხვევაში პრაქტიკულად შეუძლებელია.

რაც შეეხება [39] განხილულ გრაფიკულ მეთოდს ისიც ასევე მარტივი შემთხვევისათვის არის განკუთვნილი და შეიძლება ითქვას, რომ ატარებს საილუსტრაციო ხასიათს და არ გამოდგება ზოგადი ხასიათის ამოცანების გადასაწყვეტად.

ყოველივე ზემოთქმულის გამო მიზანშეწონილია უფრო სრულყოფილი მეთოდების დამუშავება.

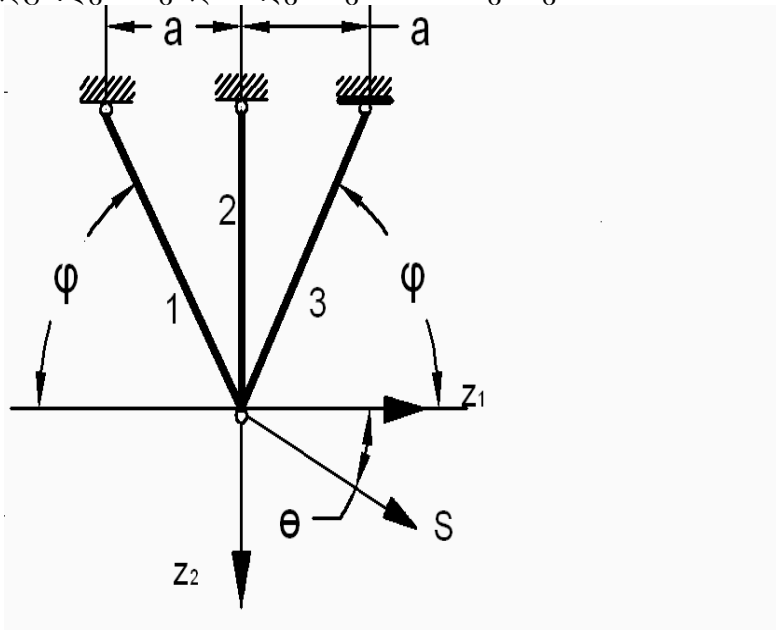
4.9. სამღეროვანი წამწის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდი შემთხვევითი ძეხნის ალგორითმის გამოყენებით

4.9.1. ამოცანის დასმა

სამღეროვანი სიმეტრიული წამწის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის ამოცანები დასმულია და ნაწილობრივ, გამარტივებული შემთხვევებისათვის, გადაწყვეტილიცაა ე. ხოგის და ი. არორას [1] და ს. რინკოვის [39] წიგნებში. მაგრამ [1, 39] – ის ავტორები მიზნის ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობის მოსანახად იყენებენ გრადიენტის მეთოდს. ცნობილია, რომ ამ მეთოდის გამოყენებისას საჭიროა გამოითვალოს არა მარტო ფუნქციის, არამედ მისი გრადიენტის მნიშვნელობაც, რაც ქმნის დამატებით სიძნელეებს. ამასთან, ამ მეთოდის გამოყენებისას აუცილებლად უნდა ვიყოთ დარწმუნებული იმაში, რომ მიზნის ფუნქციას აქვს ერთადერთი მინიმუმის წერტილი, რაც პრაქტიკაში ყოველთვის არ სრულდება. არ გამოდგება იმ შემთხვევაშიც, როცა მიზნის ფუნქცია არის მრავალექსტრემუმიანი.

გარდა ამისა აღნიშნული ავტორების წიგნებში არ არის გამოყვანილი სამღეროვანი წამწის სიხისტის ფუნქციის ზოგადი ფორმულა, რაც ჩარჩოს კონფიგურაციის მცირედით შეცვლისას შეუძლებელს ხდის კონკრეტული სიხისტის ფუნქციის გამოყენებას შემდგომი გამოთვლებისათვის. ამიტომ ამ მიმართულებით ახალი, უფრო სრულყოფილი, მეთოდების დამუშავება კვლავაც აქტუალურია. მონოგრაფიაში შემოთავაზებული მეთოდი დაცულია ზემოთ აღნიშნული ნაკლოვანებებისაგან [12].

განვიხილოთ სამღეროვანი სიმეტრიული წამწის დაპროექტების ამოცანა (ნახ.4.6). დაპროექტების მიზანს წარმოადგენს წამწის ღეროების განივი კვეთების ფართობების არჩევა ისეთნაირად, რომ წამწე იყოს რაც შეიძლება მსუბუქი და აკმაყოფილებდეს მისი სტატიკური დატვირთვისას შეზღუდვებს: დაძაბულობაზე, გრძივი ღუნვისას მდგრადობაზე, გადაადგილებაზე და ღეროების ზომებზე.



ნახ.4.6. სამღეროვანი წამწე

მოცემული წამწის წონის ფუნქციას ექნება სახე:

$$\psi_0 = \rho a (b_1 + b_2 \cdot \sin \varphi + b_3) / \cos \varphi, \quad (4.40)$$

სადაც b_1, b_2, b_3 არის წამწის 1,2,3 ღეროების განივი კვეთების ფართობები შესაბამისად (საძიებელი პარამეტრებია). φ -კუთხე, რომელსაც წამწის კიდურა ღეროები ადგენენ აბცისთა z_1 ღერძთან. θ -დატვირთვის მოღების კუთხე. ρ - წამწის ღეროების

მასალის კუთრი წონა, რომლისგანაც დამზადებულია წამწე. S -სტატიკური დატვირთვა, რომელიც მოდებულია საერთო კვანძზე. a - ნახაზზე ნაჩვენები ზომა.

საერთო კვანძის ჰორიზონტალური z_1 და ვერტიკალური z_2 გადაადგილებები მიიღება დრეკადობის თეორიის წრფივი დამოკიდებულებიდან. მოცემული წამწის შემთხვევაში ამ დამოკიდებულებებს მატრიცული სახით [1] შემდეგი სახე აქვს:

$$K(b)z - S = 0, \quad (4.41)$$

სადაც $z = [z_1, z_2]^T$, $K(b)$ - სიხისტის დადებითად განსაზღვრული მატრიცა. ის არის საძიებელი პარამეტრების დიფერენცირებადი ფუნქცია და არაცხადი ფუნქციის შესახებ თანახმად თეორემისა [1] z განისაზღვრება როგორც b -ს დიფერენცირებადი ფუნქცია. S სტატიკური დატვირთვის ვექტორია.

დაძაბულობა თითოეულ ღეროზე მიიღება დეფორმაციის გამოთვლის გზით, საერთო კვანძის გადაადგილებით და ჰუკის კანონის გამოყენებით:

$$\sigma_1 = \frac{E(z_1 + z_2)}{2a}, \quad \sigma_2 = \frac{Ez_2}{a}, \quad \sigma_3 = \frac{E(z_2 - z_1)}{2a}, \quad (4.42)$$

სადაც E - იუნგის მოდული.

დასაშვები დაძაბულობის გამოყენებისას $\sigma_i^0, i=1,2,3$, რომელიც განსაზღვრულია თითოეული ღეროსათვის, შეზღუდვები მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$\psi_1 = E|z_1 + z_2|/2a - \sigma_1^0 \leq 0 \quad (4.43)$$

$$\psi_2 = E|z_2|/a - \sigma_2^0 \leq 0, \quad (4.44)$$

$$\psi_3 = E|z_2 - z_1|/2a - \sigma_3^0 \leq 0. \quad (4.45)$$

იმისათვის, რომ გვექონდეს შეზღუდვები მდგრადობაზე ინერციის მომენტებსა და განივი კვეთების ფართობებს შორის (თითოეული ღეროსათვის) დამოკიდებულებას მივცეთ შემდეგი სახე: $I = \beta b^2$, სადაც b განივი კვეთის ფართობია, ხოლო β -

უგანზომილებო მუდმივი. I - ინერციის მომენტი. დერძულ ძალებას აქვს სახე $F_i = b_i \cdot \sigma_i$, $i = 1, 2, 3$, ამასთან, დერძების გაჭიმვა მიღებულია დადებითად. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $-F_i \leq \pi^2 \cdot EI_i / \ell_i^2$, $i = 1, 2, 3$. შეზღუდვებს მდგრადობაზე ექნებათ შემდეგი სახე:

$$\psi_4 = -E(z_1 + z_2) / 2a - \pi^2 E\beta b_1 \cdot \cos^2 \varphi / (a \sin^2 \varphi) \leq 0, \quad (4.46)$$

$$\psi_5 = -Ez_2 / a - \pi^2 E\beta b_2 \cos^2 \varphi / (a \cdot \sin^2 \varphi) \leq 0, \quad (4.47)$$

$$\psi_6 = -E(z_2 - z_1) / 2a - \pi^2 E\beta b_3 \cos^2 \varphi / (a \cdot \sin^2 \varphi) \leq 0. \quad (4.4.8)$$

შეზღუდვები გადაადგილებაზე შეიძლება ჩამოვაცალიბოთ შემდეგნაირად:

$$\psi_7 = |z_1| - z_1^0 \leq 0, \quad (4.49)$$

$$\psi_8 = |z_2| - z_2^0 \leq 0, \quad (4.50)$$

სადაც z_1^0 და z_2^0 წინასწარ მოცემული შეზღუდვების ზედა ზღვრებია შესაბამისად.

ბოლოს მოითხოვება, რომ კვეთების ფართობები აკმაყოფილებდნენ პირობებს:

$$b_1' \leq b_1 \leq b_1'', \quad b_2' \leq b_2 \leq b_2'', \quad b_3' \leq b_3 \leq b_3'', \quad (4.51)$$

სადაც $b_1', b_1'', b_2', b_2'', b_3'$ და b_3'' საძიებელი პარამეტრების ზედა და ქვედა საზღვრებია, შესაბამისად.

ამგვარად წამწის დაპროექტების ამოცანა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ისეთი საპროექტო პარამეტრების b_1, b_2, b_3 არჩევის ამოცანა, რომელიც მინიმიზაციას გაუკეთებს წამწის წონას (4.40) და დააკმაყოფილებს (4.43–4.51) პირობებს.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ გადაადგილებები z_1 და z_2 მოცემულ ფორმულირებაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. ეს ცვლადები განსაზღვრავენ კონსტრუქციას მოდებულ დატვირთვაზე და იწოდებიან მდგომარეობის ცვლადებად.

ზემოთ აღნიშნული ოპტიმიზაციის ამოცანის გადასაწყვეტად პირველ რიგში საჭიროა დავადგინოთ $K(b)$ სიხისტის ფუნქციის სახე. ვინაიდან აღნიშნული ამოცანა სახელმძღვანელოებში იწოდება როგორც წამწის კლასიკური ამოცანა, ამიტომ მიზანშეწონილია სიხისტის ფუნქციის განსაზღვრის საკითხი ჩამოვყალიბოთ თეორემის სახით.

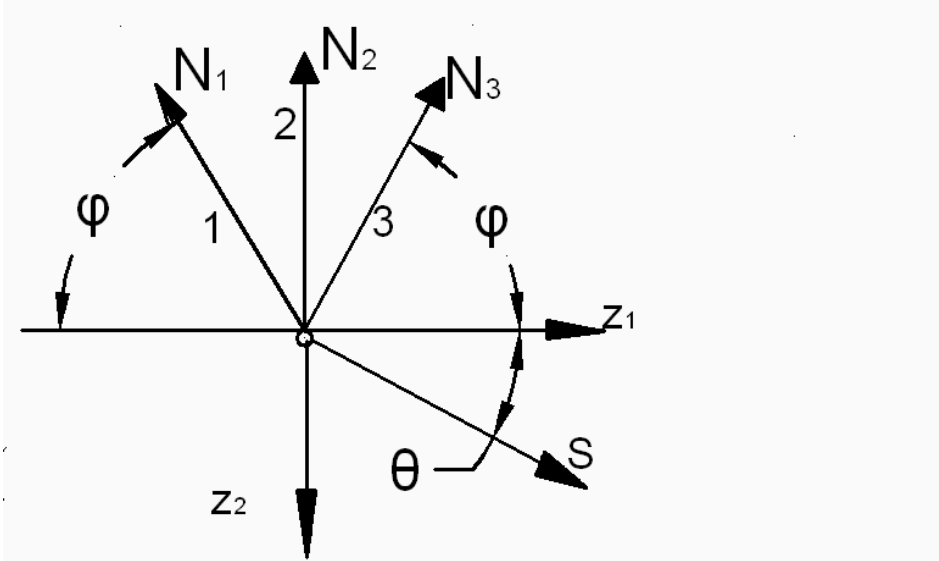
4.9.2 სამღეროვანი წამწის სიხისტის ფუნქციის განსაზღვრა

თეორემა. თუ სამღეროვანი წამწე არის სიმეტრიული ცენტრალური ღეროს მიმართ (იხ. ნახ.4.6), წამწის კიდურა ღეროების აბცისთა ღერძთან დახრის კუთხე $0 < \varphi < \pi/2$ ღებულობს ნებისმიერ მაგრამ ფიქსირებულ მნიშვნელობას. თუ წამწეზე მოდებულია სტატიკური დატვირთვა S , რომლის მოდების კუთხე იცვლება $0 < \theta < \pi/2$, მაშინ ასეთი წამწის სიხისტის ფუნქციას ექნება შემდეგი სახე:

$$K(p) = \begin{bmatrix} (Eh/l_1 \cos^2 \varphi + Eh_3/l_3 \cos^2 \varphi) & (Eh/l_1 \sin \varphi \cos \varphi - Eh_3/l_3 \sin \varphi \cos \varphi) \\ (Eh/l_1 \cos \varphi \sin \varphi - Eh_3/l_3 \cos \varphi \sin \varphi) & (Eh/l_1 \sin^2 \varphi + Eh_2/l_2 + Eh_3/l_3 \sin^2 \varphi) \end{bmatrix} \quad (5.52)$$

სადაც $l_i, i=1,2,3$ წამწის ღეროების სიგრძეებია, შესაბამისად.

დამტკიცება: ამოკვეთოთ კვანძი და განვიხილოთ მისი წონასწორობა (ნახ.4.7).



ნახ.4.7. სამღეროვანი წამწე ამოკვეთილი კვანძით.

წამწვის წონასწორობის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned} \sum X &= -N_1 \cdot \cos \varphi + N_3 \cdot \cos \varphi + S \cdot \cos \theta = 0, \\ \sum Y &= -N_1 \cdot \sin \varphi - N_2 - N_3 \cdot \sin \varphi + S \cdot \sin \theta = 0. \end{aligned} \quad (4.53)$$

მატრიცული სახით ეს უკანასკნელი ჩაიწერება შემდეგნაირად [4]

$$\begin{pmatrix} -\cos \varphi & 0 & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & -1 & -\sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} S \cdot \cos \theta \\ S \cdot \sin \theta \end{pmatrix} = 0. \quad (4.54)$$

უფრო კომპაქტურია მისი ჩაწერა ვექტორული სახით:

$$A \cdot \vec{N} + \vec{S} = 0, \quad (4.55)$$

შადაც

$$A = \begin{pmatrix} -\cos \varphi & 0 & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & -1 & -\sin \varphi \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} S \cdot \cos \theta \\ S \cdot \sin \theta \end{pmatrix}. \quad (4.56)$$

A მატრიცის ტრანსპონირებულ მატრიცას აქვს სახე:

$$A^T = \begin{pmatrix} -\cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & -1 \\ \cos \varphi & -\sin \varphi \end{pmatrix}. \quad (4.57)$$

გადაადგილებებსა და დეფორმაციებს შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა:

$$A^T \cdot \vec{Z} + \vec{\Delta} = 0. \quad (4.58)$$

ფიზიკურ განტოლებებს (ჰუკის კანონის მიხედვით) ექნებათ სახე:

$$\vec{\Delta} = B \cdot \vec{N}, \quad (4.59)$$

სადაც

$$B = \begin{pmatrix} l_1 / (Eb_1) & 0 & 0 \\ 0 & l_2 / (Eb_2) & 0 \\ 0 & 0 & l_3 / (Eb_3) \end{pmatrix}. \quad (4.60)$$

ამგვარად გვაქვს შემდეგი ალგებრული განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{cases} A \cdot \vec{N} + \vec{S} = 0 \end{cases} \quad (4.61)$$

$$\begin{cases} A^T \cdot \vec{Z} + \vec{\Delta} = 0 \end{cases} \quad (4.62)$$

$$\begin{cases} \vec{\Delta} = B \cdot \vec{N} = 0 \end{cases} \quad (4.63)$$

ჩავსვათ (4.63)-ის გამოსახულება (4.62)-ში მივიღებთ:

$$\begin{cases} A \cdot \vec{N} + \vec{S} = 0 \\ A^T \cdot \vec{Z} + B \cdot \vec{N} = 0 \end{cases} \quad (4.64)$$

(4.64) განტოლებათა სისტემის მეორე განტოლება გადავწეროთ შემდეგნაირად:

$$\vec{N} = -B^{-1} \cdot A^T \cdot \vec{Z}, \quad (4.65)$$

სადაც B^{-1} , წარმოადგენს B მატრიცის შებრუნებულ მატრიცას და აქვს სახე:

$$B^{-1} = \begin{pmatrix} Eb_1/l_1 & 0 & 0 \\ 0 & Eb_2/l_2 & 0 \\ 0 & 0 & Eb_3/l_3 \end{pmatrix}.$$

(4.65)-ის მნიშვნელობა შევიტანოთ (4.64) სისტემის პირველ განტოლებაში, მაშინ გვექნება:

$$A.B^{-1}.A^T.\vec{Z}-\vec{S}=0. \quad (4.66)$$

ავღნიშნოთ $K(b) = A.B^{-1}.A^T$ და ვუწოდოთ სიხისტის მატრიცა.

ეხლა შევიტანოთ ამ უკანასკნელში შესაბამის მატრიცათა მნიშვნელობები, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} K(b) &= A.B^{-1}.A^T = \\ &= \begin{pmatrix} -\cos \varphi & 0 & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & -1 & -\sin \varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Eb_1/l_1 & 0 & 0 \\ 0 & Eb_2/l_2 & 0 \\ 0 & 0 & Eb_3/l_3 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} -\cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & -1 \\ \cos \varphi & -\sin \varphi \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} -\cos \varphi & 0 & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & -1 & -\sin \varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -Eb_1 \cdot \cos \varphi / l_1 & -Eb_1 \cdot \sin \varphi / l_1 \\ 0 & -Eb_2 / l_2 \\ Eb_3 \cos \varphi / l_3 & -Eb_3 \cdot \sin \varphi / l_3 \end{pmatrix} = \\ &= \left\{ \begin{pmatrix} (Eb_1/l_1 \cdot \cos^2 \varphi + Eb_3/l_3 \cdot \cos^2 \varphi) & (Eb_1/l_1 \cdot \sin \varphi \cos \varphi - Eb_3/l_3 \cdot \sin \varphi \cos \varphi) \\ (Eb_1/l_1 \cdot \cos \varphi \sin \varphi - Eb_3/l_3 \cdot \cos \varphi \sin \varphi) & (Eb_1/l_1 \cdot \sin^2 \varphi + Eb_2/l_2 + Eb_3/l_3 \cdot \sin^2 \varphi) \end{pmatrix} \right\} \quad (4.67) \end{aligned}$$

რაც უნდა დაგვემტკიცებინა.

კონკრეტული მაგალითის შემთხვევაში, როცა $\varphi = 45^\circ$, $l_1 = l_3 = a\sqrt{2}$, $l_2 = a$, მაშინ სიხისტის ფუნქცია

$K(b)$ ტოლია:

$$K(b) = \sqrt{2} \cdot E / (4 \cdot a) \begin{pmatrix} (b_1 + b_3) & (b_1 - b_3) \\ (b_1 - b_3) & (b_1 + b_3 + 2\sqrt{2} \cdot b_2) \end{pmatrix}, \quad (4.68)$$

თუ (4.68)-ს შევიტანთ (4.41)-ის გამოსახულებაში, გვექნება:

$$\sqrt{2} \cdot E / (4 \cdot a) \begin{pmatrix} (b_1 + b_3) & (b_1 - b_3) \\ (b_1 - b_3) & (b_1 + b_3 + 2\sqrt{2} \cdot b_2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \end{pmatrix}. \quad (4.69)$$

ეს უკანასკნელი შეიძლება გადავწეროთ შემდეგნაირად:

$$\begin{cases} (b_1 + b_3)z_1 + (b_1 - b_3)z_2 = S \cdot \cos \theta \\ (b_1 - b_3)z_1 + (b_1 + b_3 + 2\sqrt{2} \cdot b_2) \cdot z_2 = S \cdot \sin \theta \end{cases}. \quad (4.70)$$

მუდმივი სიდიდე $\sqrt{2} \cdot E / (4 \cdot a)$ შეიძლება გავითვალისწინოთ (4.70) სისტემის ამოხსნის შემდეგ. (4.70) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის ექნება შემდეგი სახე:

$$z_1 = \frac{S \cdot \cos \theta \cdot (b_1 + b_3 + 2\sqrt{2} \cdot b_2) - S \cdot \sin \theta \cdot (b_1 - b_3)}{(b_1 + b_3) \cdot (b_1 + b_3 + 2\sqrt{2} \cdot b_2) - (b_1 - b_3)^2}, \quad (4.71)$$

$$z_2 = \frac{S \cdot \sin \theta \cdot (b_1 + b_3) - S \cdot \cos \theta \cdot (b_1 - b_3)}{(b_1 + b_3) \cdot (b_1 + b_3 + 2\sqrt{2} \cdot b_2) - (b_1 - b_3)^2}, \quad (4.72)$$

(4.70) განტოლებათა სისტემის ამოხსნისას გასათვალისწინებელია, რომ სისტემის დეტერმინანტი არ უნდა უდრიდეს ნულს.

$$\det K(b) = (b_1 + b_3) \cdot (b_1 + b_3 + 2\sqrt{2} \cdot b_2) - (b_1 - b_3)^2 \neq 0. \quad (4.73)$$

4.9.3. ზოგადი მაგალითის ამოხსნა

დავწეროთ ზოგადი წრფივი ალგებრულ განტოლებათა სისტემის დეტერმინანტის მნიშვნელობა:

$$\begin{aligned} \Delta &= \left(\frac{b_1}{l_1} \cos^2 \varphi + \frac{b_3}{l_3} \cos^2 \varphi \right) \left(\frac{b_1}{l_1} \sin^2 \varphi + \frac{b_2}{l_2} + \frac{b_3}{l_3} \sin^2 \varphi \right) - \\ &- \left(\frac{b_1}{l_1} \sin \varphi \cos \varphi - \frac{b_3}{l_3} \sin \varphi \cos \varphi \right) \left(\frac{b_1}{l_1} \cos \varphi \sin \varphi - \frac{b_3}{l_3} \cos \varphi \sin \varphi \right) = \\ &= \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi \left[\left(\frac{b_1}{l_1} + \frac{b_3}{l_3} \right) \left(\frac{b_1}{l_1} + \frac{b_2}{l_2 \sin^2 \varphi} + \frac{b_3}{l_3} \right) - \left(\frac{b_1}{l_1} - \frac{b_3}{l_3} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (4.74)$$

ნახ.4.6-ზე წამწის ღეროები ქმნიან მართკუთხა სამკუთხედებს, სადაც a და l_2 არიან კათეტები, ხოლო l_1 და l_3 არიან ჰიპოტენუზები. ამდენად შეგვიძლია დავწეროთ:

$$l_1 = \frac{a}{\cos \varphi}, \quad l_2 = a \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad l_3 = \frac{a}{\cos \varphi}.$$

ამავე დროს კუთხე φ -ს გრადუსული ზომა გადავიყვანოთ რადიანულზე, მივიღებთ:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varphi}{360^0} = 0.0174 \varphi \quad \text{და} \quad \text{გამოთვლითი ფორმულების}$$

გამარტივების მიზნით შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$$\sin \alpha = \sin(0.0174 \cdot \varphi) = r,$$

$$\cos \alpha = \cos(0.0174 \cdot \varphi) = p,$$

$$\sin \gamma = \sin(0.0174 \cdot \vartheta) = q,$$

და

$$\cos \gamma = \sin(0.0174 \cdot \vartheta) = v.$$

ყოველივე ზემოთაღნიშნულის და სათანადო გამარტივების შემდეგ ფორმულა (4.6.1) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\Delta = r^2 \cdot p^2 \left[\left(\frac{b_1 \cdot p}{a} + \frac{b_3 \cdot p}{a} \right) \left(\frac{b_1 \cdot p}{a} + \frac{b_2 \cdot p}{a \cdot r^3} + \frac{b_3 \cdot p}{a} \right) - \left(\frac{b_1 \cdot p}{a} - \frac{b_2 \cdot p}{a} \right)^2 \right] =$$

$$= r^2 \cdot \frac{p^4}{a} \left[(b_1 + b_3) \cdot \left(b_1 + \frac{b_2}{r^3} + b_3 \right) - (b_1 - b_2)^2 \right]. \quad (4.75)$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} S \cdot \cos \vartheta & \left(E \frac{b_1}{l_1} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi - E \frac{b_3}{l_3} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \right) \\ S \cdot \sin \vartheta & \left(E \frac{b_1}{l_1} \cdot \sin^2 \varphi + E \frac{b_2}{l_2} + E \frac{b_3}{l_3} \cdot \sin^2 \varphi \right) \end{vmatrix}.$$

ზემოთ მიღებული აღნიშვნებისა და სათანადო გამარტივების შემდეგ ეს უკანასკნელი გადაიწერება შემდეგნაირად:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} S \cdot v & \left(E \frac{b_1}{a} \cdot r \cdot p^2 - E \frac{b_3}{a} \cdot r \cdot p_2 \right) \\ S \cdot q & \left(E \frac{b_1}{a} \cdot r^2 \cdot p + E \frac{b_2 \cdot p}{a \cdot r} + E \frac{b_3}{a} \cdot r^2 \cdot p \right) \end{vmatrix} =$$

$$= \frac{E}{a} \left[sv(b_1 \cdot r^2 \cdot p + b_2 \cdot \frac{p}{r} + b_3 \cdot r^2 \cdot p) - s \cdot q \cdot (b_1 \cdot r \cdot p^2 - b_3 \cdot r \cdot p^2) \right]. \quad (4.76)$$

Δ_2 -ისათვის გვექნება:

$$\Delta_2 = \begin{pmatrix} (Eb_1 / l_1 \cdot \cos^2 \varphi + Eb_3 / l_3 \cdot \cos^2 \varphi) & S \cdot \cos \vartheta \\ (Eb_1 / l_1 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi - Eb_3 / l_3 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi) & S \cdot \sin \vartheta \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} (Eb_1 / a \cdot \cos^3 \varphi + E \cdot b_3 / a \cdot \cos^3 \varphi & S \cdot \cos \vartheta \\ (Eb_1 / a \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin \varphi - E \cdot b_3 / a \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin \varphi) & S \cdot \sin \vartheta \end{pmatrix}.$$

თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ მიღებულ აღნიშვნებს გვექნება:

$$\Delta_2 = \frac{E \cdot S}{a} [(b_1 + b_3) \cdot p^3 \cdot q - (b_1 - b_3) \cdot p^2 \cdot r \cdot q], \quad (4.77)$$

ამგვარად სისტემის ამონახსნს ექნება სახე:

$$z_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad \text{და} \quad z_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}. \quad (4.78)$$

4.9.4. ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი.

ამოცანის ამოხსნისთვის ვიყენებთ გლობალური ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნის ალგორითმს [23].

ქვემოთ მოყვანილია ამოცანის გადაწყვეტის ფორმალური მეთოდი;

1. წინასწარ განისაზღვრება მეთოდის მუშაობისათვის საჭირო საწყისი მონაცემები.

- დამოუკიდებელი ცვლადების რაოდენობა - N ;

- შეზღუდვათა რაოდენობა M ;

- საძიებელი პარამეტრების ქვედა და ზედა საზღვრები;

- სტატიკური ცდების რაოდენობა - S ;

- D_{min} რიცხვის მნიშვნელობა (მაქსიმალურად შესაძლო დიდი რიცხვი).

2. დაიწყება სტატიკური ცდების ციკლი.

3. შემთხვევითი რიცხვის გენერატორი ციკლურად გამოიმუშავებს შემთხვევით რიცხვებს, რომლებიც ფორმირდება როგორც საძიებელი პარამეტრები.

4. გამოითვლება დეტერმინანტი ფორმულით (4.75) და შემოწმდება პირობაზე $\det \llcorner 0$. მისი დაკმაყოფილების შემთხვევაში ამოიხსნება განტოლებათა სისტემა z_1 და z_2 -ის მიმართ. ამასთან ერთად გამოითვლება ყველა შეზღუდვის მნიშვნელობები.

5. z_1 და z_2 მნიშვნელობების გათვალისწინებით ციკლურად შემოწმდება პირობით მოთხოვნილი შეზღუდვები. თუ ყველა პირობა ერთდროულად დაკმაყოფილდა გაგრძელდება მე-6 პუნქტი. ერთერთი შეზღუდვის დაუკმაყოფილების შემთხვევაში პროგრამა უბრუნდება მე-2 პუნქტის შესრულებას.

6. გამოითვლება მიზნის ფუნქციის მიმდინარე მნიშვნელობა ψ_0 და შემოწმდება პირობა $\psi_0 \leq D \min$. თუ ეს პირობა შესრულდება, მაშინ $D \min$ -ს მიენიჭება ψ_0 -ის მნიშვნელობა, რომელიც შეინახება (მასთან ერთად შეინახება საძიებელი პარამეტრების მიმდინარე მნიშვნელობები), რათა გამოყენებულ იქნას შემდეგი ციკლის განმეორების შემთხვევაში.

წინააღმდეგ შემთხვევაში, ე.ი. როცა $\psi_0 > D_{\min}$ პროგრამა უბრუნდება 2-ე პუნქტის შესრულებას.

ზემოთ აღნიშნული პროცესი მეორდება მანამ სანამ ჩატარებული სტატიკური ცდების რაოდენობა არ იქნება მეტი N -ზე. პროგრამის მუშაობის საბოლოო შედეგები იქნება b_1, b_2, b_3 მნიშვნელობები, რომლებიც მიანიჭებენ ψ_0 ფუნქციას მინიმალურ მნიშვნელობას.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის შედეგად შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: დამუშავებულია სამდეროვანი სიმეტრიული წამწის სიხისტის ფუნქციის ზოგადი ფორმულა და წამწის ღეროების განივი კვეთების ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრის მეთოდი. აღნიშნული მეთოდი იძლევა საშუალებას შევარჩიოთ ღეროების განივი კვეთების ფართობები

ისეთნაირად, რომ წამწის წონა იყოს მინიმალური მოცემული დატვირთვებისა და შეზღუდვების დროს. მეთოდი ეყრდნობა გლობალური ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნის ალგორითმს. დამუშავებულია გამოყენებითი პროგრამების კომპლექსი, რომელიც იძლევა, ინჟინრული თვალსაზრისით, მისაღები სიზუსტით დადგინდეს წამწის ოპტიმალური პარამეტრები.

დანართიში მოცემულია სამღეროვანი წამწის ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშების პროგრამა (**WAMWE**).

თავი V

სვეტების და კოჭის ოპტიმალური განივი კვეთის გაანგარიშება

სვეტს ფართოდ იყენებენ, როგორც საყრდენ კონსტრუქციულ ელემენტს, კოჭებიანი მოედნების, სართულთშორისი გადახურვის, ესტაკადების, გზაგამტარების, მილსადენებისა და სხვა მრავალი დანიშნულების ობიექტზე.

ამჟამად არსებობს მრავალი მეთოდი სვეტის გასაანგარიშებლად [6,33,34]. განივი კვეთის შერჩევას აუცილებელია მივიღოთ რაც შეიძლება ეკონომიური გადაწყვეტა, დატვირთვის სიდიდის გათვალისწინებით. არსებული მეთოდების უმეტესობა ძირითადად ეყრდნობა ხელით გაანგარიშებას. თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების არსებობამ მოითხოვა, ერთი მხრივ, არსებული მეთოდების კომპიუტერული რეალიზაცია და, მეორე მხრივ, ისეთი ალგორითმებისა და მეთოდების დამუშავება, სადაც გაანგარიშებები მთლიანად შესრულდება კომპიუტერული პროგრამების მიერ.

დისერტაციის ქვემოთ მოყვანილი პარაგრაფები მიძღვნილია სწორედ ასეთი საკითხების გადაჭრისადმი.

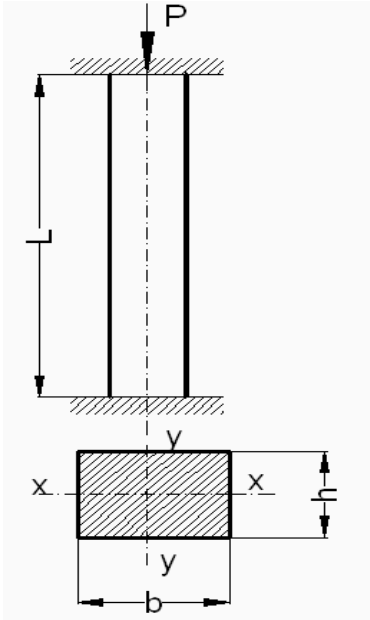
5.1. სვეტის განივი კვეთის გაანგარიშება იტერაციული მეთოდით და მისი კომპიუტერული რეალიზაცია

ვთქვათ, მოცემულია მართკუთხა განივი კვეთის მქონე ფოლადის სვეტი [32], რომელიც ჩამაგრებულია ორივე ბოლოთი (ნახ.5.1). სვეტის სიგრძეა L და იკუმშება

P ძალით. სვეტის განივი კვეთის გვერდებს შორის არსებობს თანაფარდობა, $b(i):h(i)=3:2$. მოცემულია აგრეთვე კუმშვის დასაშვები ძაბვა R_y . ამოცანაა სვეტის სასურველი განივი კვეთის შერჩევა წინასწარ მოცემული სიზუსტით.

იტერაციული მეთოდით ამოცანის ამოხსნა გულისხმობს სვეტის განივი კვეთის თანამიმდევრობით შერჩევას, რომლის დროსაც არ დაირღვევა მდგრადობის პირობა:

$$\sigma_p(i) = \frac{P}{\varphi(i) \cdot A(i)} \leq R_y \cdot \gamma_c, (5.1)$$



ნახ. 5.1. მართკუთხა განივკვეთიანი სვეტი.

სადაც $\sigma_p(i)$ არის გასაანგარიშებელი (პირობითი) ძაბვა, $A(i)$ – სვეტის განივი კვეთის ფართობი, $\varphi(i)$ - გრძივი ღუნვისას საანგარიშო წინააღობის შემამცირებელი კოეფიციენტი, რომელიც აიღება [34]-ში მოცემული ცხრილიდან, რომლის ფრაგმენტი მოცემულია ცხრილ №5.1-ში, γ_c მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში მიჩნეულია 1-ის ტოლად, ე.ი $\gamma_c=1$, ხოლო i იტერაციის ნომერია.

განვიხილოთ ეს მეთოდი უფრო დაწვრილებით. მითითებული ცხრილიდან აიღებენ φ ნებისმიერ მნიშვნელობას, მაგალითად $\varphi(i) = \varphi(1)$ და განსაზღვრავენ დასაშვებ ძაბვას მდგრადობაზე, რომელიც ტოლი იქნება:

გრძივი ღუნვის შემამცირებელი კოეფიციენტის
დამოკიდებულება მოქნილობაზე ცხრილი №5.1

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ღეროს მოქნილ. კოეფიცი. $\lambda(k)$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
ფოლა- დის მარკა. Cr2. Cr3. Cr4 $\varphi(k)$	1	0.99	0.96	0.94	0.92	0.89	0.86	0.81	0.75	0.69	0.60	0.52	0.45	0.40	0.36	0.32

$$\sigma_y(i) = \varphi(i) \cdot R_y. \quad (5.2)$$

განსაზღვრავენ სვეტის განივი კვეთის ფართობს
(5.1) ფორმულიდან:

$$A(i) = \frac{P}{\sigma_{av}(i)}, \quad (5.3)$$

სადაც $\sigma_{av}(i)$ არის ძაბვების მიმდინარე საშუალო მნიშვნელობა, რომლის შესახებ ლაპარაკი გვექნება ქვემოთ. საწყისი მომენტისათვის მისი მნიშვნელობა ტოლია $\sigma_y(i)$.

სვეტის განივი კვეთის ფართობი გამოითვლება აგრეთვე დამოკიდებულებიდან:

$$A(i) = b(i) h(i) = \frac{3}{2} h^2(i), \text{ საიდანაც } h(i) = \sqrt{\frac{2}{3} A(i)}.$$

ინერციის რადიუსი განისაზღვრება ფორმულით:

$$j(i) = \sqrt{\frac{I_x}{A(i)}} = \sqrt{\frac{b(i).h^3(i)}{12.b(i).h(i)}} = \sqrt{\frac{h^2(i)}{12}}$$

დეროს მოქნილობა $\lambda'(i)$ განისაზღვრება ფორმულით:

$$\lambda'(i) = \frac{\mu.l}{j(i)}, \quad (5.4)$$

სადაც μ არის სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტი და იგი ორივე ბოლოთი დამაგრებული დეროს შემთხვევაში აიღება 1/2-ის ტოლი.

დეროს მოქნილობის განგარიშებული კოეფიციენტით განისაზღვრება უკვე მითითებული №5.1 ცხრილის მიხედვით φ კოეფიციენტის ახალი მნიშვნელობა:

$$\varphi(i+1) = \varphi(k) - \frac{\varphi(k) - \varphi(k+1)}{10} [\lambda'(i) - \lambda(k)], \quad (5.5)$$

სადაც $\lambda(k)$ დეროს მოქნილობის კოეფიციენტის k -ური მნიშვნელობაა.

$\varphi(i+1)$ კოეფიციენტის მიხედვით განისაზღვრება მდგრადობაზე დასაშვები ძაბვის ახალი მნიშვნელობა:

$$\sigma_y(i+1) = \varphi(i+1).R_y. \quad (5.6)$$

მოქმედი ძაბვა ტოლი იქნება:

$$\sigma(i) = \frac{P}{A(i)}, \quad (5.7)$$

განსხვავება პროცენტებში გამოითვლება ფორმულით:

$$\frac{\sigma_y(i+1) - \sigma(i)}{\sigma_y(i+1)} \cdot 100 \% \leq 5 \% \quad (5.8)$$

თუ ეს უკანასკნელი აღმოჩნდება დასაშვები პროცენტის ფარგლებში (მაგალითად 5%), მაშინ იტერაციული პროცესი დამთავრებულად ჩაითვლება, წინააღმდეგ შემთხვევაში $\varphi(i)$ -ს მიენიჭება $\varphi(i+1)$ ტოლი მნიშვნელობა, ე.ი. $\varphi(i) = \varphi(i+1)$, ხოლო მიღებული ორი ძაბვიდან განისაზღვრება საშუალო

$$\sigma_{av}(i+1) = \frac{\sigma_y(i+1) + \sigma(i)}{2}, \text{ პროცესი დაიწყება}$$

თავიდან და გაგრძელდება მანამ, სანამ არ დაკმაყოფილდება მოთხოვნილი პირობა (5.8).

იტერაციული პროცესის დამთავრების შემდეგ უნდა შემოწმდეს პირობა

$$\sigma_{cr} \leq \sigma_z, \quad (5.9)$$

ე.ი კრიტიკული ძაბვა σ_{cr} უნდა იყოს ნაკლები ზღვრულ

σ_z ძაბვაზე (σ_z გარკვეული მარკის ფოლადებისათვის განსაზღვრულია და წინასწარაა ცნობილი), რაც შეიძლება განხორციელდეს ქვემოთ მოცემული თანამიმდევრობით.

მდგრადობის პირობიდან გამომდინარე დასაშვები მკუმშავი ძალა P_d ტოლია:

$$P_d = \sigma_y(i) \cdot A(i) = \varphi(i) R_y \cdot A(i)$$

კრიტიკული ძალა იქნება:

$$P_{cr} = m \cdot P_d = m \cdot \sigma_y(i) \cdot A(i). \quad (5.10)$$

კრიტიკული ძაბვა გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A(i)} = \frac{m\varphi(i)R_y \cdot A(i)}{A(i)} = m\varphi(i)R_y, (5.11)$$

სადაც m არის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი და გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$m = \frac{\sigma_{cr}}{\varphi(i) \cdot R_y} \cdot (5.12)$$

ცხრილ №5.2-ში მოყვანილია იტერაციული მეთოდის კომპიუტერზე რეალიზაციის შედეგები მოცემული კონკრეტული მაგალითისათვის: $P=20$ ტ., $L=2\text{მ.}$, $R_y = 1600$ კგ/სმ², $\sigma_z = 2200$ კგ/სმ².

იტერაციული მეთოდით მიღებული შედეგები. ცხრილი №5.2

იტე- რა-- ცი- ის ნო- მერი i	კოეფი- ციენტ $\varphi(i) = x_1(i)$ მნიშვნე- ლობა	განივი კვეთის სიგანე $b(i) = x_2(i)$ (სმ)	განივი კვეთის სიმაღლე $h(i) =$ $= \frac{2}{3} \cdot x_2(i)$ (სმ)	განივი კვეთის ფართობი $A(i)$ (სმ ²)	ლეროს მოქნი- ლობა $\lambda(i)$	მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა $\frac{(\sigma_y(i) - \sigma(i)) \cdot 100}{\sigma_y(i)}$ (%)
1	1	4.330127	2.8867751	12.5	120	122.2222
2	0.45	5.085476	3.390317	17.24138	102.1763	24.44441
3	0.5825894	5.355252	3.570168	19.11915	97.02909	4.317034
4	0.6267332	5.411532	3.607688	19.52312	96.01998	0.699289
5	0.6358202	5.420952	3.613968	19.59115	95.85313	0.11321
6	0.6373218	5.422485	3.61499	19.60223	95.82603	0.01832661
7	0.6375657	5.422733	3.615156	19.60403	95.82164	0.00295528
8	0.6376052	5.422773	3.615182	19.60432	95.82093	0.000478623
9	0.6376116	5.422781	3.615187	19.60436	95.82081	0.000053845
10	0.6376128	5.422781	3.615187	19.60437	95.8208	0.000017948

იტერაციული მეთოდის ანალიზის შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ: მის ღირსება არის ის, რომ იგი არ იყენებს რთულ მათემატიკურ აპარატს, რაც ადვილ გასაგებს ხდის მას მომხმარებლისათვის. ასევე ადვილია მისი პროგრამული რეალიზაცია- ადვილად პროგრამირებადია.

მეთოდის ნაკლად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ:

1. მეთოდი იტერაციულია და არ არის მოცემული მისი კრებადობის მკაცრი მათემატიკური დასაბუთება. თუმცა ინტუიციურად პროცესი კრებადი უნდა იყოს, რასაც ადასტურებს კომპიუტერზე ჩატარებული გამოთვლები.

2. მეთოდი არ არის განკუთვნილი სვეტის განივი კვეთის ოპტიმალური პარამეტრების განსასაზღვრავად. მისი გამოყენებისას, უკეთეს შემთხვევაში, შეიძლება მივიღოთ მხოლოდ პირველი დათვლის შედეგად მიღებული პარამეტრების გაუმჯობესებული ვარიანტი და არა ოპტიმალური პარამეტრები.

3. მეთოდში იტერაციული პროცესის შეწყვეტის მიზნით გამოიყენება ძაბვების ორი მეზობელი მნიშვნელობის სხვაობის სიმცირე, რაც გლუვი ფუნქციის შემთხვევაში (და განსაკუთრებით იმ ფუნქციების შემთხვევებში, რომლებსაც აქვთ უბან-უბან მუდმივი ჰიპერსიბრტყეები) არ არის მიზანშეწონილი, რადგანაც იტერაციული პროცესი შეიძლება გაჩერდეს უფრო ადრე ვიდრე მიიღება სასურველი და, მით უფრო, ოპტიმალური პარამეტრები.

4. იტერაციული პროცესის დამთავრების შემდეგ საჭიროა, დამატებით კიდევ შესრულდეს გაანგარიშების ბოლო ეტაპი, ეგრეთ წოდებული, საკონტროლო გაანგარიშება. საკონტროლო გაანგარიშების შესრულების შემდეგ შესაძლებელია აღმოჩნდეს, რომ არ სრულდება პირობა (5.9), მაშინ

გაურკვეველი ხდება, თუ როგორ უნდა მოიქცეს მომხმარებელი და რა ღონისძიება უნდა გაატაროს კონკრეტულად, რათა გააუმჯობესოს გამოთვლების შედეგები.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნული ნაკლოვანებებისაგან თავისუფალია ქვემოთ წარმოდგენილი მეთოდი, რომელიც ეფუძნება გლობალური ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნის მეთოდს.

5.2 სვეტის განივი კვეთისა და φ კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრა

ზემოთ განხილული ამოცანა მცირე მოდიფიკაციის შემდეგ ადვილად დაიყვანება არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანაზე, თუ შეზღუდვას დავადებთ სვეტის განივი კვეთის ერთ-ერთ გვერდს, ვთქვათ b -ს. რაც შეეხება φ კოეფიციენტს, მასზე ისედაც დადებულია შეზღუდვები ზემოთ მოცემული №5.1 ცხრილიდან გამომდინარე, იგი იცვლება 0 – დან 1-ის ჩათვლით, ე.ი $\varphi \in (0,1]$. შეზღუდვები შეიძლება დავადოთ ღეროს მოქნილობა λ -ს და აგრეთვე მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტ m -ს ე.ი. გვექნება:

$$0 < \varphi(i) \leq 1, \quad (5.13)$$

$$b_1 \leq b(i) \leq b_2, \quad (5.14)$$

$$\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2 \quad (5.15)$$

$$\frac{\sigma_{cr}}{\varphi(i) \cdot R_y} - m \geq 0, \quad (5.16)$$

სადაც b_1 და b_2 შესაბამისად არის სვეტის განივი კვეთის b გვერდზე დადებული შეხლუდვის ზედა და ქვედა ზღვარია, ხოლო λ_1 და λ_2 - ღეროს მოქნილობის ზედა და ქვედა ზღვარი. λ შეიძლება განისაზღვროს ორი გზით, ერთი იქნება მის ზუსტი განსაზღვრა (5.4) ფორმულის თანახმად, რომელიც სათანადო გარდაქმნის შემდეგ ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{j(i)} = \frac{3\sqrt{3} \cdot \mu \cdot l}{b(i)}, \quad (5.17)$$

ხოლო მეორე მხრივ ის შეიძლება განისაზღვროს №5.1 ცხრილის მიხედვით

$$\lambda = \lambda(k) + (\varphi(k) - \varphi(i)) \cdot 10 / [\varphi(k) - \varphi(k+1)], \quad (5.18)$$

სადაც k განსაზღვრავს №5.1 ცხრილში λ -სა და φ -ს განთავსების ნომერს, ხოლო i შემთხვევით არჩეული φ -ის ნომერია. არჩევანი ამ ორი ფორმულიდან არის უშალოდ კონსტრუქტორის პრეროგატივა. მიზნის ფუნქციად მივიღოთ:

$$\psi(i) = \left| \sigma_p(i) - R_y \right| = \left| \frac{P}{\varphi(i) \cdot A(i)} - R_y \right|, \quad (5.19)$$

მაშინ ამოცანა ჩამოყალიბდება, როგორც არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანა. შემოვიღოთ აღნიშვნები: $\varphi(i) = x_1(i)$, $b(i) = x_2(i)$. ამ უკანასკნელთა მნიშვნელობები განვიხილოთ როგორც შემთხვევითი სიდიდეები და შევიტანოთ (5.1) ფორმულაში, გვექნება:

$$\sigma_p(i) = \frac{3.P}{2.x_1(i).x_2^2(i)} \quad (5.20)$$

(5.20) გამოსახულების ჩასმა (5.19) –ში მოგვცემს მიზნის ფუნქციის შემდეგ გამოსახულებას:

$$\psi(i) = \left| \frac{3P}{2x_1(i).x_2^2(i)} - R_y \right|. \quad (5.21)$$

ყოველივე ამის შემდეგ ოპტიმიზაციის ამოცანა შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ:

ვიპოვოთ $x_1(i)$ და $x_2(i)$ ცვლადების ის მნიშვნელობები, რომლის დროსაც $\psi(i)$ ფუნქცია მიიღებს მინიმალურ მნიშვნელობას შეზღუდვების (5.13,5.14,5.15 და 5.16) გათვალისწინებით.

$\psi(i)$ ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობის მოსაძებნად გამოვიყენოთ ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნის მეთოდი [23]. ანალოგიური მიდგომები გამოყენებულია აგრეთვე სხვადასხვა ტექნიკური ხასიათის ამოცანების გადასაწყვეტად [35,36].

ალგორითმი მუშაობს შემდეგნაირად:

1. წინასწარ განსაზღვრავენ საწყის მონაცემებს, ესაა:

ა). ამოცანის პირობიდან გამომდინარე

მონაცემები $P=20000$ კგ, $R_y=1600$ კგ/სმ², $\sigma_z=2200$

კგ/სმ², $\lambda_1=92$, $\lambda_2=96$, $m \geq 1.35$, $b_1=4,1$ სმ და $b_2=6,15$ სმ.

ბ). შეზღუდვათა რაოდენობა $M=7$ და

საძიებელი ცვლადების რაოდენობა $N=2$.

გ). ჩასატარებელი ცდების რაოდენობა $S=10^6$ და თეორიულად შესაძლო მაქსიმალური რიცხვი, ვთქვათ $D=99000$..

2. ციკლურად პროგრამის მიერ მოხდება საძიებელი ცვლადების შემთხვევითი მნიშვნელობების არჩევა, მათი ფორმირება წინასწარ მოცემული შეზღუდვების გათვალისწინებით და შეზღუდვათა მნიშვნელობების გამოთვლა.
3. შემოწმდება შეზღუდვები და ყველა მათგანის შესრულების შემთხვევაში გამოითვლება საშუალო ცვლადი LL-ის მნიშვნელობა, წინააღმდეგ შემთხვევაში პროგრამა უბრუნდება მე-2 პუნქტის შესრულებას.
4. შემოწმდება პირობა $LL=M$. მისი შესრულების შემთხვევაში (5.21) ფორმულით გამოითვლება მიზნის ფუნქცია $\Psi(i)$ -ის მნიშვნელობა.
5. შემოწმდება პირობა $\Psi(i) < D$. თუ ეს პირობა შესრულდა, მაშინ $D = \Psi(i)$ და დაიბეჭდება №5.3 ცხრილის მთელი სტრიქონი. წინააღმდეგ შემთხვევაში მართვა გადაეცემა პროგრამის მე-2 პუნქტს. ეს პროცესი გაგრძელდება ციკლურად მანამ, სანამ ციკლი არ შესრულდება S- ჯერ.
6. შედეგად მიიღება მიზნის ფუნქციის გლობალური მინიმუმის მნიშვნელობა და საბოლოოდ დაიბეჭდება საძიებელ სიდიდეთა ოპტიმალური მნიშვნელობები, რომელიც ასახულია №5.3 ცხრილის ბოლო სტრიქონში. თუ გლობალური მინიმუმების რაოდენობა იქნება ერთზე მეტი, მაშინ პროგრამა უბრუნველყოფს მათ გამოყოფას და გაანალიზებს ცხრილ №5.3-ში მოცემულია გასაანგარიშებელი პარამეტრების ცვლილების დინამიკა მიზნის ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობისკენ მისწრაფების პროცესში.

მართკუთხა კვეთის მქონე სვეტის
საანგარიშო პარამეტრების ცვლილების დინამიკა. ცხრილი №5.3

იტე- რა- ცი- ის ნომე- რი i	კოეფ- $\varphi(i) = x_1(i)$ მნიშ-ბა	განივი კვეთის სიგანე $b(i) =$ $x_2(i)$	განივი კვეთის სიმაღლე $h(i) =$ $\frac{2}{3} \cdot x_2(i)$	განივი კვეთის ფართობი $A(i)$	მდგრა- დობის მარაგის კოეფ- მ	ღეროს მოქნი- ლობა $\lambda(i)$	მიზნის ფუნქციის მნიშვნ- ელობა $\psi(i)$
1	0.833041	5.553528	3.702352	20.56111	1.650579	93.56489	432.3385
2	0.660427	5.428033	3.618689	19.64236	2.081986	95.72808	58.25903
3	0.6049361	5.523695	3.682463	20.34081	2.272996	94.07023	25.37048
4	0.6194906	5.490804	3.660536	20.09928	2.219565	94.63373	6.255737
5	0.6278929	5.456161	3.63744	19.84646	2.189864	95.2346	4.949585
6	0.6227601	5.478972	3.652648	20.01276	2.207913	94.83809	4.730957
7	0.6325184	5.438817	3.625878	19.72048	2.17385	95.53829	3.390381
8	0.6323828	5.443747	3.629165	19.75625	2.174316	95.45176	0.830444
9	0.6077284	5.555163	3.703442	20.57323	2.262524	93.53735	0.375366
10	0.6370887	5.425104	3.616736	19.62117	2.158255	95.77979	0.054199
11	0.6206809	5.496184	3.664123	20.13869	2.215330	94.5411	0.038330
12	0.6063724	5.560676	3.707117	20.61408	2.267584	93.44461	0.024658
13	0.6124895	5.532889	3.688593	20.40858	2.244936	93.9139	0.005004
14	0.6366367	5.426941	3.617961	19.63446	2.159788	95.74736	0.002075
ოპტ. მნიშ.	0.6366367	5.426941	3.617961	19.63446	2.159788	95.74736	0.002075

ამგვარად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ დამუშავებულია სვეტის განივი კვეთის პარამეტრებისა და სვეტის გრძივი ღუნვისას საანგარიშო წინააღმდეგობის შემამცირებელი კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრის მეთოდი მოცემული დატვირთვის გათვალისწინებით. ამოცანა წარმოდგენილია როგორც არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანა და მიზნის ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობის განსასაზღვრავად გამოყენებულია ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნის მეთოდი. ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია ვიანგარიშოთ სვეტის კვეთების ოპტიმალური პარამეტრები მდგრადობის მოცემული მარაგის გათვალისწინებით. გარდა ამისა კომპიუტერზე რეალიზებულია სვეტის განივი კვეთის პარამეტრების განსაზღვრის იტერაციული მეთოდი. კომპიუტერზე ჩატარებულია ექპერიმენტები და დამუშავებულია პროგრამების კომპლექსი, რომლებიც ინჟინრული თვალსაზრით საჭირო სიზუსტით იძლევიან შედეგებს. აღნიშნული მიდგომა შეიძლება გამოყენებულ იქნას იმ შემთხვევებშიც, როდესაც სვეტის კვეთებს ექნებათ კვადრატული, წრიული და მილისებრი ფორმები, ხოლო მეთოდის მცირეოდენი მოდიფიკაციის შემთხვევაში მისი გამოყენება შეიძლება სხვა უფრო რთული კონფიგურაციის მქონე სვეტების კვეთების შემთხვევაშიც.

დანართიში მოცემულია კოლონის კვეთის გაანგარიშების სხვადასხვა პროგრამები (**KOLONA**).

5.3. შედგენილი ორტესებრი კოჭის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა

შედგენილი, ორტესებრი განივი კვეთის მქონე, კოჭი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც ნაგლინი კოჭი ვერ აკმაყოფილებს სიმტკიცის, სიხისტის, საერთო მდგრადობის და სხვა მოთხოვნებს. გარდა ამისა, შედგენილი კოჭი გამოირჩევა ლითონის ხარჯვის ეკონომიურობით. ასეთი კოჭების ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევისადმი მიძღვნილია ცნობილი მეცნიერების ე. ბელენიას, ნ. სტრელეცკის, კ. მუხანოვის, ნ. ჟურავსკის [38,6,33,37] და სხვათა შრომები. ყველა ავტორი ცდილობს ამ პრობლემის გადაწყვეტას, მართალია განსხვავებული, მაგრამ მაინც მარტივი, არამკაცრი იტერაციული გზით. ინჟინრული ინტუიცია და დიდი პრაქტიკული გამოცდილება მათ საშუალებას აძლევს, მიღებული შედეგების მრავალჯერადი გადამოწმების გზით, მიუახლოვდნენ სასურველ მიზანს. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ამ გზით მიღებული შედეგები არ შეიძლება ჩაითვალოს ოპტიმალურად თანამედროვე გაგებით.

ვ. ტროფიმოვიჩისა და ვ. პერშიაკოვის [2] ნაშრომებში განხილულია ლითონის კონსტრუქციების ოპტიმიზაციის მეთოდები, მაგრამ ისინი ძირითად მათემატიკურ აპარატად იყენებენ წრფივი მათემატიკური დაპროგრამების, კერძოდ, სიმპლექს მეთოდს. მაგრამ ეს მეთოდი გამოსადეგია მხოლოდ წრფივი ამოცანების შემთხვევაში, ამიტომ შეზღუდულია მათი გამოყენების სფერო.

პრაქტიკაში ცნობილია, რომ უმეტეს შემთხვევაში საქმე გვაქვს არაწრფივ ამოცანებთან. ასეთი ტიპის ამოცანების ამოსხნა დაკავშირებულია მულტიმოდალური ხასიათის, მრავალპარამეტრიანი, რთული კონფიგურაციის, არაწრფივი მიზნის ფუნქციის, აგრეთვე არაწრფივი შეზღუდვების მქონე ამოცანების გადაწყვეტასთან, რაც მრავალ სირთულესთანაა დაკავშირებული. თანამედროვე პირობებში არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების მეთოდებისა და

კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარებამ შესაძლებლობა მოგვცა ამ პრობლემისადმი სხვაგვარად შეგვეხედა. მით უფრო, რომ ცნობილი ამერიკელი მეცნიერები ე. ხოგი და ი. არორა [1] ამ საკითხის გადაწყვეტის ზემოთ აღნიშნული მიდგომისადმი განსაკუთრებულ ინტერესს იჩენენ.

5.3.1. ამოცანის დასმა

ვთქვათ, დასაპროექტებელია შედგენილი, ორტესებრივი განივი კვეთის მქონე, ფოლადის კოჭი, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.5.2-ზე. კოჭს უნდა ჰქონდეს მინიმალური წონა, მაშინ როდესაც დადებულია შეზღუდვა თაროებზე მომქმედ ღუნვის ძაბვებზე, კოჭის საერთო მდგრადობაზე, თაროებისა და კედლის ადგილობრივი მდგრადობის კარგვაზე.

კოჭის ერთი გრძივი მეტრის სრული მასა ტოლია კედლისა და თაროების მასების ჯამის. იგი გამოითვლება ფორმულით:

$$g = g_1 + 2g_2 = h_w t_w \rho + 2k_1 k_2 h_w t_w \rho_w = \rho h_w t_w (1 + 2k_1 k_2), \quad (5.22)$$

სადაც h_w არის კოჭის კედლის სიმაღლე;

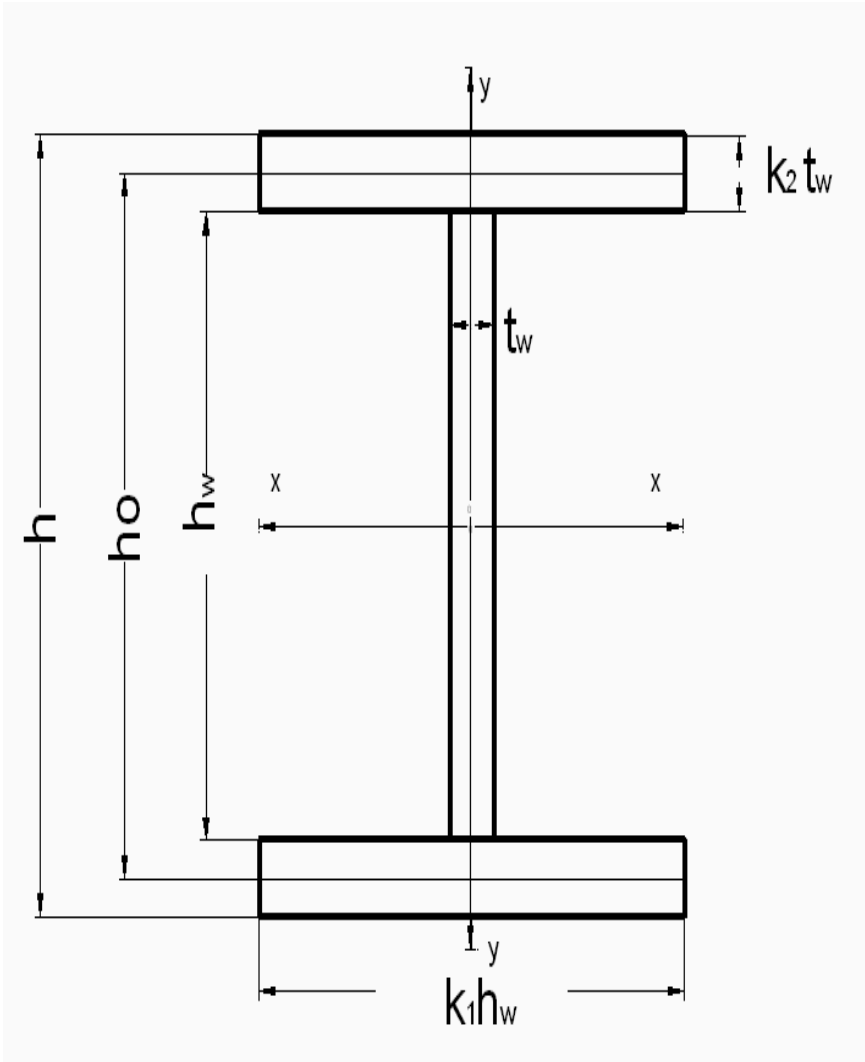
t_w – კოჭის კედლის სისქე;

k_1 – კოჭის კედლის სიმაღლის და თაროს სიგანის დამაკავშირებელი კოეფიციენტი;

k_2 – კოჭის კედლის სისქის და თაროს სისქის დამაკავშირებელი კოეფიციენტი;

ρ – ფოლადის სიმკვრივე.

ცვლადები h_w, t_w, k_1, k_2 განსაზღვრავენ კოჭის განივი კვეთის ფორმას და იწოდებიან საპროექტო პარამეტრებად.



ნახ.5.2. ორტესებრი კოჭი

σ_{\max} მაქსიმალური ნორმალური დაბევა გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I_x}, \quad (5.23)$$

სადაც $c = \frac{h_0}{2}$ არის მანძილი კოჭის ნეიტრალური ღერძიდან შეკუმშული (გაჭიმული) თაროს ღერძამდე; M_{\max} - კოჭზე მოქმედი მაქსიმალური მღუნავი მომენტი; I_x - განივი კვეთის ინერციის მომენტი x ღერძის მიმართ. იმის გათვალისწინებით, რომ $t_w \ll h_w$ და $h_w \approx h_0$, გვექნება:

$$I_x = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} (1 + 6k_1 k_2). \quad (5.24)$$

შესაბამისად, დაბვაზე შეზღუდვა გამოისახება უტოლობით $\sigma_{\max} - R_y \leq 0$, ანუ თუ ამ უკანასკნელ გამოსახულებაში გავითვალისწინებთ (5.23) და (5.24) გამოსახულებების მნიშვნელობებს, მაშინ დაბვაზე შეზღუდვა შეიძლება შემდეგნაირად ჩავწეროთ [1]:

$$\frac{6M_{\max}}{t_w \cdot h_w^2 (1 + 6k_1 k_2)} - R_y \leq 0, \quad (5.25)$$

სადაც R_y კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობაა.

კოჭის თაროებისა და კედლის ადგილობრივი მდგრადობის განსაზღვრის მიზნით განხილულია როგორც ამერიკელი მეცნიერების [1], ასევე რუსი მეცნიერების [38,6] მიდგომა.

ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვის განხილვისას, გამობურცვის ფორმები აიღება ისეთნაირად, როგორც ფირფიტის მდგრადობის დაკარგვისას.

თაროსა და კედლისათვის გამობურცვის კოეფიციენტები შესაბამისად ტოლია $K_{pf} = 0.385$ და $K_{pw} = 3.62$. ამგვარად, თაროებისა და კედლისათვის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვის შეზღუდვა გამოისახება შემდეგი უტოლობებით [1]:

$$\sigma_{\max} - \sigma_{crf} \leq 0, \quad (5.26)$$

და

$$\sigma_{\max} - \sigma_{crw} \leq 0, \quad (5.27)$$

სადაც σ_{crf} და σ_{crw} თაროებისა და კედლის გამობურცვისას კრიტიკული ძაბვებია და იანგარიშება ფორმულებით:

$$\sigma_{crf} = 1.54E(k_2/k_1)^2 \cdot (t_w/h_w)^2, \quad (5.28)$$

$$\sigma_{crw} = 21.7E(t_w/h_w)^2. \quad (5.29)$$

თუ (5.28) და (5.29) გამოსახულებებს ჩავსვამთ მე- (5.26) და მე-(5.27) გამოსახულებებში შესაბამისად შეზღუდვებისათვის გვექნება:

$$\sigma_{\max} - 1.54E(k_2/k_1)^2 \cdot (t_w/h_w)^2 \leq 0, \quad (5.30)$$

$$\sigma_{\max} - 21.7E(t_w/h_w)^2 \leq 0, \quad (5.30a)$$

კოჭის თაროს ადგილობრივი მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით აუცილებელია დაცულ იქნას შემდეგი პირობა [38,6]:

$$\frac{k_1 h_w}{2k_2 t_w} \leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}}.$$

ზემოთ მოყვანილი გამოსახულების სათანადო გარდაქმნის შემდეგ გვექნება:

$$R_y - E(k_2/k_1)^2 \cdot (t_w/h_w)^2 \leq 0. \quad (5.31)$$

იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილ იქნეს კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობა, მისი გრძივი სიხისტის წიბოს დამატებითი გამაგრების გარეშე, აუცილებელია დაცულ იქნეს შემდეგი პირობა [38,6,33]:

$$t_w \geq h_w \sqrt{\frac{R_y}{E}} / 5,5.$$

უკანასკნელი გამოსახულების სათანადო გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ:

$$R_y - 30,25E(t_w/h_w)^2 \leq 0. \quad (5.31a)$$

ზემოთ მოყვანილი (5.30 და 5.31) და (5.30ა და 5.31ა) ფორმულების ანალიზის შედეგად ვასკვნით, რომ კოჭის თაროს ადგილობრივი მდგრადობის უზრუნველყოფის შემთხვევაში (5.31) ფორმულით მოცემულია უფრო მკაცრი მოთხოვნა ვიდრე (5.30) ფორმულით, ხოლო კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობის შემთხვევაში (5.30ა) ფორმულით მოცემულია უფრო მკაცრი მოთხოვნა, ვიდრე (5.31ა) ფორმულით. კონსტრუქტორის პერეოგატივას წარმოადგენს, თუ რომელ ფორმულებს აირჩევს იგი გაანგარიშებებისათვის, ჩვენს მიერ განხილული მაგალითის შემთხვევაში არჩეულია როგორც ამერიკელი, ასევე რუს მეცნიერთა მიერ შემოთავაზებული ფორმულები.

შეზღუდვები დადებულია აგრეთვე კოჭის მოქნილობა $\lambda = \frac{h}{t_w}$ -ზე, სიმაღლე h -ზე, კოჭის კედლის სიმაღლის და თაროს სიგანის დამაკავშირებელ k_1 და კოჭის კედლის სისქის და თაროს სისქის დამაკავშირებელი k_2 კოეფიციენტებზე.

$$\text{შეზღუდვა კოჭის მოქნილობისათვის} \quad \lambda = \frac{h}{t_w}$$

ჩაიწერება:

$$\lambda_1 \leq \frac{h}{t_w} \leq \lambda_2, \quad (5.32)$$

სადაც λ_1 და λ_2 არის შესაბამისად λ -ს ცვლილების ქვედა და ზედა ზღვარი.

$h_1, h_2, k_1', k_1'', k_2', k_2''$ კოჭის პარამეტრების ზღვრული მნიშვნელობებია და მათ განსასაზღვრავად ვსარგებლობთ ე. ბელენიას [38] მიერ მოცემული რეკომენდაციებით.

თანაბრად განაწილებული დატვირთვის შემთხვევაში კოჭის ჩაღუნვა f გამოითვლება ფორმულით:

$$f = 5(p'' + g'')l^4 / 384.EI, \quad (5.33)$$

სადაც p'' და g'' არის კოჭის ერთ გრძივ მეტრზე მოსული დროებითი და მუდმივი ნორმატიული დატვირთვები; l - კოჭის მალი; EI - კოჭის სიხისტე ღუნვაზე;

კოჭის სიმაღლის ქვედა ზღვრული მნიშვნელობა h_1 განისაზღვრება სიხისტის პირობიდან:

$$h_1 = \frac{5}{24} \cdot \frac{R_y l \left[\frac{l}{f} \right] \cdot \frac{p'' + g''}{n_p \cdot p'' + n_g \cdot g''}}, \quad (5.34)$$

სადაც n_p და n_g არის დატვირთვების საიმედოობის შესაბამისი კოეფიციენტები; R_y - კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობა.

კოჭის სიმაღლის ზედა საზღვარი h_2 განპირობებულია მისი სამშენებლო სიმაღლით, რაც წარმოადგენს გადახურვის და მისი კონსტრუქციის მაქსიმალურ შესაძლო სიმაღლეს. ამავე დროს $h = h_w + 2k_2 t_w \leq h_2$. მისი არჩევა განპირობებულია ტექნოლოგიური მოთხოვნით. ამგვარად, კოჭის სიმაღლეზე დადებულ შეზღუდვებს აქვს სახე:

$$h_1 \leq h \leq h_2. \quad (5.35)$$

კოჭის კედლის სისქე გამოითვლება როგორც ჟურავსკის [38], ასევე ემპირიული ფორმულით. ჟურავსკის ფორმულის თანახმად:

$$t_{w1} = \frac{3Q}{2hR_s}, \quad (5.36)$$

სადაც Q მაქსიმალური განივი ძალაა, ხოლო R_s - საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე.

ემპირიულ ფორმულას აქვს სახე

$$t_{w2} = 7 + 3h/1000. \quad (5.37)$$

კონსტრუქტორს ამ ორი ფორმულით მიღებული შედეგიდან შესაძლებლობა აქვს დაადგინოს, ერთი მხრივ, გარკვეული მიახლოებით, კოჭის კედლის სისქე, რომელიც შემდეგში გამოთვლების პროცესში დაზუსტდება, ხოლო მეორე მხრივ, ისარგებლოს კოჭის სიმაღლესა და კედლის სისქეს შორის პროექტირების პრაქტიკიდან გამომდინარე დადგენილი რეკომენდებული დამოკიდებულებით [38]. ამგვარად, კოჭის კედლის სისქეზე დადებულ შეზღუდვებს ექნება სახე:

$$t_{w1} \leq t_w \leq t_{w2}, \quad (5.38)$$

სადაც t_{w1} და t_{w2} კოჭის კედლის სისქის ცვლილების ქვედა და ზედა საზღვრებია.

ჩვეულებრივად კოჭის ჰორიზონტალური თაროს სიგანე, მისი საერთო მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობიდან გამომდინარე, აიღება კოჭის კედლის სიმაღლის 0,2-დან 0,5-მდე [38,42,43], მაშასადამე k_1 -ისათვის შეზღუდვას ექნება სახე:

$$0.2 \leq k_1 \leq 0.5. \quad (5.39)$$

კოჭის ჰორიზონტალური თაროს სისქე აიღება კოჭის კედლის სისქის 2-დან 3-მდე [38], მაშასადამე k_2 -ისათვის შეზღუდვას ექნება სახე:

$$2 \leq k_2 \leq 3. \quad (5.40)$$

კოჭის პარამეტრების გაანგარიშება უნდა მოხდეს აგრეთვე ისეთნაირად, რომ არ დაირღვეს კოჭის საერთო მდგრადობის პირობა, ე.ი. დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$\frac{M_{\max}}{\varphi_{\sigma} W} \leq R_y, \quad (5.41)$$

სადაც φ_{σ} არის კოჭის მდგრადობის კოეფიციენტი, ხოლო W - კოჭის წინაღობის მომენტი. ქვემოთ

მოყვანილ ფორმულათა მარტივად ჩაწერის მიზნით წინასწარ შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$$b_f = k_1 h_w - \text{თაროს სიგანე};$$

$$t_f = k_2 t_w - \text{თაროს სისქე};$$

$$h = h_w + 2t_f - \text{კოჭის სიმაღლე};$$

$$h_o = h_w + t_f - \text{თაროების ღერძებს შორის მანძილი}.$$

კოეფიციენტი φ_1 გამოითვლება ფორმულით:

$$\varphi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \frac{E}{R_y},$$

სადაც I_y და I_x ინერციის მომენტებია y და x ღერძების მიმართ და გამოითვლება ფორმულებით:

$$I_y = 2 \frac{t_f b_f^3}{12} \quad \text{და}$$

$$I_x = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2 \left[\frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left(\frac{t_f}{2} + \frac{h_w}{2} \right)^2 \right],$$

ψ კოეფიციენტი განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებითა და წესებით [38] და დამოკიდებულია კოჭის ჩამაგრებაზე, დატვირთვის სახეობაზე და მისი მოდების ადგილზე, აგრეთვე კოჭის კვეთის დამახასიათებელ პარამეტრ α -ზე. ψ კოეფიციენტი ზემოთ განხილული კოჭის შემთხვევაში გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$\psi = 1,6 + 0,08\alpha,$$

სადაც

$$\alpha = 8 \left(\frac{lt_f}{b_f h_o} \right)^2 \left(1 + \frac{0,5h_o t^3}{b_f t_f^3} \right).$$

უნდა აღინიშნოს, რომ როცა $0 < \varphi_1 \leq 0,85$, მაშინ $\varphi_\sigma = \varphi_1$, როცა $0,85 < \varphi_1 < 1,55$, მაშინ კრიტიკული ძაბვა იმყოფება მასალის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ

ზონაში და φ_σ გამოითვლება ფორმულით [38]
 $\varphi_\sigma = 0.68 + 0.21\varphi_1$, ხოლო როცა $\varphi_1 \geq 1.55$, მაშინ $\varphi_\sigma = 1$.

ამგვარად φ_σ -ს საანგარიშო ალგორითმი შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

$$\varphi_\sigma = \begin{cases} \varphi_1, & \text{if } 0 < \varphi_1 \leq 0.85 \\ 0.68 + 0.21\varphi_1, & \text{if } 0.85 < \varphi_1 < 1.55 \\ 1, & \text{if } \varphi_1 > 1.55. \end{cases}$$

კოჭის საანგარიშო წინაღობის მომენტი W იანგარიშება ფორმულით:

$$W = \frac{I_x}{h/2},$$

სადაც I_x კოჭის ინერციის მომენტია x ღერძის მიმართ და გამოითვლება ფორმულით (თაროების ინერციის მომენტი საკუთარი ღერძის მიმართ მათი სიმცირის გამო მხედველობაში არ არის მიღებული).

$$I_x = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2b_f t_f \left(\frac{h_0}{2} \right)^2.$$

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით ფორმულა (5.41) საბოლოოდ ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\frac{M_{\max}}{\varphi_\sigma W} = \frac{M_{\max}(h/2)}{\varphi_\sigma \left[(t_w h_w^3)/12 + 2b_f t_f (h_0/2)^2 \right]} \leq R_y \quad (5.42)$$

ამგვარად, ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის შემდეგ ამოცანა საბოლოოდ შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ:

საჭიროა ვიპოვოთ დასაპროექტებელი შედგენილი, ორტესებრი განივი კვეთის მქონე, კოჭის ის პარამეტრები (t_w, h_w, k_1, k_2), რომელიც მიზნის (5.22) ფუნქციას მიაწვდის მინიმალურ მნიშვნელობას, მოცემული შეზღუდვების (5.25, 5.30, 5.32, 5.35, 5.38, 5.39, 5.40, 5.41) დროს.

ეს ამოცანა, როგორც ხედავთ მიეკუთვნება არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანას, რომლის ამოსახსნელად ვიყენებთ გლობალური ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნის ალგორითმს.

5.2.3. ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი

ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი შემდეგნაირად მუშაობს:

1. დასაწყისშივე განისაზღვრება ყველა საწყისი მონაცემები. აქ იგულისხმება არა მარტო ის მონაცემები რასაც, ითვალისწინებს ტექნიკური დავალება ორტესტური კოჭის შემთხვევისათვის, არამედ ისინიც რაც საჭიროა კომპიუტერული გამოთვლების ჩასატარებლად. მაგალითად, სტატისტიკური ცდების რაოდენობა S , შეზღუდვათა M_1 და ცვლადების N რაოდენობა, საწყის მომენტში მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობის შესადარებელი თეორიულად შესაძლო დიდი რიცხვის სიდიდე.

2. დაიწყება სტატისტიკური ცდების ჩატარების პროცესი, რომლის დროსაც შემთხვევითი რიცხვების გენერატორის მიერ გამომუშავდება რიცხვები, რომელიც შემდეგ შესაბამის შეზღუდვათა გათვალისწინებით ფორმირდება როგორც საპროექტო პარამეტრების მნიშვნელობები.

3. მოხდება წინასწარ მოცემული პირობის შესაბამისად ყველა შეზღუდვის შემოწმება. თუ ყველა პირობა ერთდროულად შესრულდება მართვა გადაეცემა მომდევნო მე-4 პუნქტის შესრულებას, წინააღმდეგ შემთხვევაში მართვა გადაეცემა 2-ე პუნქტის შესრულებას და აირჩევა საპროექტო პარამეტრების ახალი - განსხვავებული მნიშვნელობები.

4. გამოითვლება მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა და შედარდება წინასწარ არჩეულ დიდ რიცხვს. თუ

მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა ნაკლები იქნება ამ რიცხვზე, მაშინ ამ რიცხვს მიენიჭება მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა და შეინახება იგი სათანადო პარამეტრებთან ერთად, რათა გამოყენებულ იქნეს შემდეგი გამოთვლებისათვის. წინააღმდეგ შემთხვევაში, მართვა გადაეცემა მე-2 პუნქტის შესრულებას და გაგრძელდება ციკლური პროცესი. ეს ციკლური გამოთვლები გაგრძელდება მანამ, სანამ არ ჩატარდება ყველა S ცდა. შედეგად მივიღებთ მიზნის ფუნქციის მინიმალურ მნიშვნელობას და პარამეტრების იმ მნიშვნელობებს, რომელიც უზრუველყოფს მიზნის ფუნქციის ოპტიმალურ მნიშვნელობას.

5.2.4. მაგალითი და შედეგები

მოცემულია კოჭის პარამეტრები (პარამეტრების მნიშვნელობები და შეზღუდვები აღებულია [1,38] – დან):

$$\frac{6M_{\max}}{t_w \cdot h_w^2 (1 + 6 \cdot k_1 \cdot k_2)} - R_y \leq 0,$$

$$\sigma_{\max} - 1.54E \cdot (k_2 / k_1)^2 \cdot (t_w / h_w)^2 \leq 0,$$

$$\sigma_{\max} - 21.7E \cdot (t_w / h_w)^2 \leq 0,$$

$$\frac{M_{\max}(h/2)}{\varphi_{\sigma} \left[(t_w h_w^3) / (12 + 2b_f t_f (h_0 / 2)^2) \right]} \leq R_y$$

$$0.2 \leq k_1 \leq 0.5,$$

$$2 \leq k_2 \leq 3,$$

$$103,2 \leq h \leq 150 \text{ სმ},$$

$$1,0 \leq t_w \leq 1,2 \text{ სმ},$$

$$M_{\max} = 275400 \text{ კნ.სმ},$$

$$125 \leq \frac{h}{t_w} \leq 150,$$

$$S = 3000000,$$

$$\rho = 7,85 \text{ ტ/მ}^3 = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ კგ/სმ}^3 = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ კნ/სმ}^3$$

$$R_y = 23 \text{ კნ/სმ}^2,$$

$$E = 2,06 \cdot 10^4 \text{ კნ/სმ}^2,$$

$$N = 4,$$

$$M_1 = 14.$$

განგარიშების შედეგები მოყვანილია ქვემოთ მოცემულ 5.4 ცხრილში.

№	კოჭის კედ- ლის სისქე t_w მმ	კოჭის კედლის სიმაღლე h_w მმ	კოჭის კედლის სიმაღლის და თაროს სიგანის დამაკაფშირებელი კოეფიციენტი k_1	კოჭის კედლის სისქის და თაროს სისქის დამაკაფშირებელი კოეფიციენტი k_2 ;	თაროს სიგანე $k_1 \cdot h_w$ მმ	თაროს სისქე $k_2 \cdot t_w$ მ	$k_1 k_2$	კოჭის ერთი გრძივი მეტრის წონა (მიზნის ფუნქცია) გ კგ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I ნაწილი. გაანგარიშებები ჩატარებულია, როდესაც k_1 და k_2 პარამეტრები იცვლებიან a, b, c, d მართკუთხედით შემოფარგლულ არეში (ნახ.2).								
1	10.603	1394.578	0.201	2.760	279.893	29.274	0.554	244.726
2	10.045	1286.293	0.245	2.430	316.181	24.412	0.597	222.6163
3	10.514	1326.256	0.227	2.156	301.197	22.672	0.489	216.681
4	10.290	1387.741	0.213	2.138	295.910	22.005	0.455	214.326
5	10.072	1363.882	0.202	2.385	276.179	24.029	0.483	212.032
6	10.057	1392.063	0.212	2.104	296.263	21.164	0.447	208.346

7	10.107	1407.887	0.203	2.114	287.145	21.369	0.431	208.040
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	10.006	1394.761	0.210	2.136	292.958	21.376	0.448	207.877
ოპტიმალური მნიშვნელობები:								
	10.006	1394.761	0.210	2.136	292.958	21.376	0.448	207.877
II ნაწილი. გაანგარიშებები ჩატარებულია, როდესაც k_1 და k_2 პარამეტრები იცვლებიან a,e,f,g მართკუთხედით შემოფარგლულ არეში $k_1 = 0.5/k_2$ წირის გასწვრივ.								
1	11.411	1393.347	0.229	2.183	319.042	24.917	0.5	249.623
2	10.579	1340.434	0.238	2.094	320.011	22.156	0.5	222.635
3	10.045	1395.618	0.245	2.034	343.054	20.433	0.5	220.103
4	10.310	1322.557	0.216	2.311	286.078	23.833	0.5	214.096
5	10.028	1338.768	0.249	2.006	333.624	20.121	0.5	210.784
6	10.004	1341.214	0.229	2.179	307.739	21.801	0.5	210.670
7	10.003	1340.379	0.240	2.003	334.518	20.041	0.5	210.513
8	10.006	1339.880	0.236	2.109	317.545	21.111	0.5	210.505
9	10.003	1340.017	0.203	2.462	272.117	24.631	0.5	210.466
10	10.002	1340.167	0.228	2.189	306.011	21.901	0.5	210.446
11	10.001	1340.034	0.231	2.164	293.375	22.884	0.5	210.444
12	10.000	1340.359	0.237	2.102	318.807	21.021	0.5	210.439
ოპტიმალური მნიშვნელობები:								
	10.000	1340.359	0.237	2.102	318.807	21.021	0.5	210.439

(ცხრილში მოყვანილი შედეგები მძიმის შემდეგ სამი თანრიგის სიზუსტით არის მოცემული, კომპიუტერულიგათვლები შესრულებულია უფრო დიდი სიზუსტით.)

განვიხილოთ ეხლა თუ რა შესაბამისობაში მოდის ზემოთ აღნიშნული მეთოდით მიღებული შედეგები, ე. ბელენიას მიერ [38] გამოთქმულ მოსაზრებებთან. ე. ბელენია აღნიშნავს, რომ ოპტიმალური სიმაღლის მქონე კოჭისათვის თაროების მასების ჯამი ტოლია კოჭის კედლის მასის და შესაბამისად თაროების ფართობების ჯამი კოჭის კედლის ფართობის.

ჩავწეროთ მათემატიკურად ზემოთ აღნიშნული მოსაზრება. ფართობთა ტოლობა (იხ. ნახ.5.3.) შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$2k_1k_2h_w t_w = h_w t_w, \quad (5.43)$$

სადაც $h_w t_w \neq 0$ და $h_w t_w \neq \infty$. ვინაიდან (5.43)

ტოლობის ორივე მხარეს არის ერთი და იგივე, მაგრამ ფიქსირებული სხვადასხვა სიდიდე, ამიტომ ზემოთ აღნიშნულ ფართობთა ტოლობა არ არის დამოკიდებული h_w და t_w არჩევაზე, სამაგიეროდ იგი მთლიანადაა დამოკიდებული k_1 და k_2 კოეფიციენტების მნიშვნელობებზე. ეს უკანასკნელი ტოლობა სამართლიანია k_1 და k_2 -ის კოეფიციენტების მხოლოდ იმ მნიშვნელობებისათვის, რომლებიც აკმაყოფილებენ (5.39) და (5.40) შეზღუდვებს და რომელთა ნამრავლი ტოლია

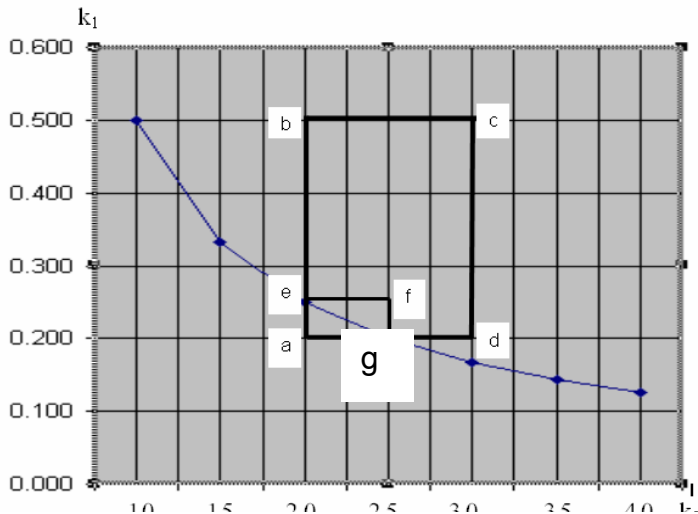
$$k_1 k_2 = 0.5, \quad (5.43a)$$

წინააღმდეგ შემთხვევაში ტოლობა (5.43) არ იქნება სამართლიანი.

ვინაიდან k_1 და k_2 კოეფიციენტები ურთიერთ ცალსახა სიდიდეები არიან და მათ შორის არსებობს უკუპროპორციული დამოკიდებულება, უფრო მეტი თვალსაჩინოების მიზნით, ავაგოთ მათი ურთიერთ დამოკიდებულების გრაფიკი ნახ.5.3. და ამავე

გრაფიკზე დავიტანოთ ე. ბელენიას მიერ რეკომენდებული k_1 და k_2 კოეფიციენტების ზღვრულ მნიშვნელობათა ხაზები. ეს ხაზები ქმნიან ჩაკეტილ a, b, c, d მართკუთხედს.

ამგვარად ტოლობა (5.43) სამართლიანი იქნება k_1 და k_2 -ის მხოლოდ იმ მნიშვნელობებისათვის, რომლებიც იქნებიან მოთავსებული a, b, c, d მართკუთხედით შემოსაზღვრული $k_1 = 0.5/k_2$ წირის ნაწილზე. მაგრამ, წირის ამ მონაკვეთზე შეიძლება მოიძებნოს k_1 და k_2 კოეფიციენტების უსასრულო რაოდენობა, რომელთა დროსაც კმაყოფილდება (5.43ა) ტოლობა, ამიტომ ე. ბელენიას მოსაზრებას უკუ ძალა არა აქვს, ე.ი. ხეშმით აღნიშნული ფართობთა ტოლობა არ არის საკმარისი პირობა h_w და t_w ოპტიმალური მნიშვნელობების



ნახ.5.3. კოჭის კედლის სიმაღლის და თაროს სიგანის დამაკავშირებელი k_1 და კოჭის

კედლის სისქის და თაროს სისქის დამაკავშირებელი k_2 კოეფიციენტთა ურთიერ დამოკიდებულების გრაფიკი.

მისაღებად, რომლებიც უზრუნველყოფენ კოჭის მინიმალურ წონას.

იმისათვის, რომ ერთდროულად მივიღოთ კოჭის მინიმალური წონა და ფართობთა ტოლობა საჭიროა:

1. შევამციროთ k_1 და k_2 კოეფიციენტების ცვლილების დიაპაზონი (იხ. ნახ.5.3) შემდეგნაირად $0,2 \leq k_1 \leq 0,25$ და $2 \leq k_2 \leq 2,5$.

2. ვუზრუნველყოთ გამოთვლითი პროცესის წარმართვა ისეთნაირად, რომ ვიმოძრაოთ მხოლოდ მართკუთხედით შემოსაზღვრული წირის $k_1 = 0,5/k_2$ გასწვრივ.

საბოლოოდ მივიღებთ მითითებული ცხრილის მეორე ნაწილში მოცემულ შედეგებს. ანალიზიდან ჩანს, რომ თუ $k_1.k_2 < 0,5$, მაშინ კოჭის კედლის ფართობი მეტია თაროების ფართობთა A_f ჯამის, ე.ი. $A_w > A_f$, თუ $k_1.k_2 > 0,5$, მაშინ $A_w < A_f$ და ბოლოს, თუ $k_1.k_2 = 0,5$, მაშინ $A_w = A_f$.

ცხრილის პირველ ნაწილში მოტანილია ოპტიმალური შედეგები, როდესაც გაანგარიშებები შესრულებულია **a,b,c,d** მართკუთხედით შემოსაზღვრული k_1 და k_2 პარამეტრების ცვლილების შემთხვევაში, ხოლო ცხრილის მეორე ნაწილში მოტანილია, აგრეთვე, ოპტიმალური შედეგები, როდესაც გაანგარიშებები შესრულებულია **a,e,f,g** მართკუთხედით შემოსაზღვრული $k_1 = 0,5/k_2$ წირის გასწვრივ მოძრაობისას. მიღებული შედეგების შედარებიდან გამომდინარეობს, რომ პირველ შემთხვევაში ვღებულობთ ოპტიმალური წონის მქონე კოჭს, მაგრამ მცირედით დარღვეული იქნება ზემოთ აღნიშნული ფართობთა ტოლობა, ხოლო მეორე შემთხვევაში უფრო

მეტი წონის მქონე კოჭს, მაგრამ დაცული იქნება უკვე ნახსენები ფართობთა ტოლობა.

ამგვარად ორივე შემთხვევაში დაცულია ყველა მოთხოვნილი შეზღუდვა. პირველ შემთხვევაში მიღწეულია კოჭის მინიმალური წონა, ხოლო მეორე შემთხვევაში უზრუნველყოფილია კოჭის თაროების ფართობთა ჯამისა და კოჭის კედლის ფართობის ტოლობა, რაც თაროებსა და კედელზე დატვირთვის თანაბრად გადანაწილების შესაძლებლობას იძლევა.

იმ შემთხვევაში თუ k_1 და k_2 კოეფიციენტებზე დადებული შეზღუდვები შექმნიან მართკუთხედს, რომელიც გარეთ დატოვებს $k_1 = 0,5/k_2$ წირს, მაშინ კოჭის წონის მინიმიზაცია მოხდება, მაგრამ კოჭის თაროების ფართობთა ჯამისა და კოჭის კედლის ფართობის ტოლობა არასოდეს არ იქნება დაცული.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილ №5.5-ში მოცემულია საანგარიშო ფორმულები, სადაც შესაძლებელია ზემოთ აღნიშნული მეთოდით მიღებული შედეგების სისწორის შემოწმება, მათი აღნიშნულ ფორმულებში უშუალო ჩასმის გზით.

საანგარიშო ფორმულები და შედეგები.

ცხრილი №5.5

საწყისი მონაცემები: $M=275400$ კნ.სმ; $E=2,06.104$ კნ/სმ ² ; $R=23$ კნ/სმ ² ; $\rho = 0.00785$ კგ/სმ ³ ; $L = 1200$ სმ.				
№	რეკვიზიტის დასახელება	საანგარიშო ფორმულა	მიღებული შედეგი	ნორმა
1	ერთი გრძივი მეტრი კოჭის წონა (მიზნის ფუნქცია)	$g = h_w t_w \rho (1 + 2k_1 k_2)$	207.8776 კგ	
2	კოჭის კედლის სიმაღლე	h_w	139.4761 სმ	(103,2-1500) სმ
3	კოჭის კედლის სისქე	$t_w = tk$	1,00631 სმ სმ	(1,0-1,2) სმ
4	ჰორიზონტალური თაროს სიგანისა და კოჭის კედლის სიმაღლის დამაკავშირებელი კოეფიციენტი	k_1	0.21004	$k_1=(0.2-0.5)$
5	ჰორიზონტალური თაროს სისქისა და კოჭის კედლის სისქის დამაკავშირებელი კოეფიციენტი	k_2	2.1363	$k_2=(2-3)$

6	ჰორიზონტალური თაროს სიგანე	$k_1 h_w$	29.29585 სმ	
7	ჰორიზონტალური თაროს სისქე	$k_2 t_w$	2.137647 სმ	
8	შეზღუდვა ძაბვაზე	$\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{t_w h_w^2 (1 + 6k_1 k_2)} \leq R_y$	22.6644 სმ ²	≤ 23 კნ/სმ
9	კრიტიკული ძაბვა თაროს გამობურცვისას	$\sigma_{crf} = 1.54E(k_2 / k_1)^2 (t_w / h_w)^2$	168.9075 კნ/სმ ²	$\sigma_{\max} - \sigma_{crf}$
10	კრიტიკული ძაბვა კედლის გამობურცვისას	$\sigma_{crw} = 21.7E(t_w / h_w)^2$	23.0078 კნ/სმ ²	$\sigma_{\max} - \sigma_{crw}$
11	კოეფიციენთა ნამრაველი	$k_1 k_2$	0.4487125	0.5
12	ჰორიზონტალური თაროების სიმეტრიის ღერძებს შორის მანძილი	$h_0 = h_w + k_2 t_w$	141.613747 სმ	
13	კოჭის სიმაღლე	$h = h_w + 2k_2 t_w$	143.751394 სმ	
14	კოჭის მოქნილობა	$\lambda = \frac{h}{t_w}$	143.6608	125–150
15	კოჭის საერთო მდგრადობა (1)	$b = k_1 * h_w$ $d = k_2 * t_w$	29.29582 სმ	

		$h_o = h_w + k_2 * t_w$ $U_b = .3 * (.41 + .0032 * b / d + (.73 - .016 * b / d) * b / h_o) * \text{SQR}(E / R)$	2.137647 სმ 141.613747 სმ 5.023407 სმ	
16	კოჭის თაროს ადგილობრივი მდგრადობა	$b / (2 * k_2 * t_w) \leq 0.5 \sqrt{E / R}$	6.852352	0,5,29,92745 =14,963725
17	კოჭის ინერციის მომენტი კოჭის გრესისას	$I_k = 1.3 / 3 * (h * t_w^3 + 2 * b * d^3)$	310.4187 სმ ⁴	
18	კოჭის ინერციის მომენტი y ღერძის მიმართ	$I_y = 2 * d * b^3 / 12$	8957.815	
19	კოჭის ინერციის მომენტი x ღერძის მიმართ (1)	$I_x = t_w * (h - 2 * d)^3 / 12 + 2 * (b * d^3 / 12 + b * d * (d / 2 + (h - 2 * d) / 2)^2)$	854246.1	
20	კოჭის ინერციის მომენტი x ღერძის მიმართ (2)	$I = t_w * (h - 2 * d)^3 / 12 + 2 * b * d * (h / 2)^2$	873299.1	
21	კოეფიციენტი, რომლის მიხედვით	$\alpha = 8 * (L * d / (b * h_o))^2 * (1 + (.5 * h_o * t_w^3 / (b * d^3)))$	3.816662	

	განისაზღვრება ψ			
22	კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება СНИП II-23-81	$\psi = 1.6 + .08 * \alpha$	1.9053329	
23	საანგარიშო წინალობის შემამცირებელი კოეფიციენტი	$\varphi_1 = \psi * (I_y / I_x) * (h / L) * (E / R)$	2.143681	
24	საანგარიშო წინალობის შემამცირებელი კოეფიციენტი	$\varphi_\sigma = \begin{cases} \varphi_1, & \text{if } 0 < \varphi_1 \leq 0,85 \\ 0,68 + 0,21 \varphi_1, & \text{if } 0,85 < \varphi_1 \leq 1,55 \\ 1, & \text{if } \varphi_1 > 1 \end{cases}$	1	
25	წინალობის მომენტი	$W = I / (h / 2)$	12150.13 სმ ³	
26	კოჭის საერთო მდგრადობა (2)	$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{\varphi_\sigma \cdot W}$	22.66642 კნ/სმ ²	≤ 23 კნ/სმ
27	კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობა	$t_w \geq \frac{h_w}{5.5} \sqrt{\frac{R_y}{E}}$	1.00631	0.847358

ამგვარად ამ პარაგრაფის დასასრულს შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: შედგენილი ორტესები განივი კვეთის მქონე კოჭის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის ამოცანა მიყვანილია არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანამდე. განსაზღვრულია, არა მარტო კოჭის კედლის სიმაღლისა და სისქის, არამედ, კოჭის კედლის სიმაღლის და თაროს სიგანის დამაკავშირებელი k_1 და კოჭის კედლის სისქის და თაროს სისქის დამაკავშირებელი k_2 კოეფიციენტების ოპტიმალური მნიშვნელობები, მოცემული შეზღუდვების დროს. დამუშავებულია ამ მეთოდის რეალიზაციის ალგორითმი და კომპიუტერული პროგრამა (ORTE).

5.4. უბან-უბან მუდმივი განივი კვეთის მქონე სვეტის ოპტიმალური დაპროექტება

5.4.1. ამოცანის დასმა

დავაპროექტოთ უბან-უბან მუდმივი განივი კვეთის მქონე სვეტი, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.5.3-ზე. ამოცანა მდგომარეობს ელემენტების განივკვეთის ფართობების და სიგრძეების არჩევაში ისეთნაირად, რომ სვეტმა გაუძლოს ვერტიკალურ დატვირთვას გამოზნექვის გარეშე კუმშავი P_0 ძალის ზემოქმედებისას. ნაგულისხმევია, რომ თითოეული ელემენტის განივი კვეთის გეომეტრიული ფორმა არის ფიქსირებული (წრიული) და სიმეტრიული ვერტიკალური ღერძის მიმართ, ამდენად განივი კვეთის b_i ფართი მთლიანად ახასიათებს i -ურ ელემენტს.

მინიმიზაციას ექვემდებარება სვეტის მოცულობა, ამიტომ წონის ფუნქციას ექნება სახე:

$$F = \sum_1^k b_i L_i, \quad (5.44)$$

სადაც L_i და b_i არის სვეტის i -ური ელემენტის სიგრძე და ფუძის ფართი შესაბამისად, ხოლო k – ელემენტების საერთო რაოდენობა და იგი ჩვენს შემთხვევაში ტოლია $k=3$.

მექანიკური სისტემებისა და კონსტრუქციების ოპტიმალური პროექტირების ანალოგიური ამოცანები განხილულია [1], ყველა ამ ამოცანებში მიზნის ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობის საპოვნელად გამოიყენება განზოგადოებული უსწრაფესი დაშვების მეთოდი. ამ მეთოდის გამოყენება არ იქნება მიზანშეწონილი იმ შემთხვევაში, როცა მიზნის ფუნქციას გააჩნია რთული სახე, კერძოდ მრავალი ექსტრემუმი, პირველი გვარის წყვეტა და სხვა. ასეთ შემთხვევებში უფრო მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ გლობალური ექსტრემუმის მონახვის თანამედროვე მეთოდები [23].

ზემოთაღნიშნული ამოცანა შეიძლება დავეოთ სამ ქვეამოცანად.

პირველი ამოცანა ითვალისწინებს (5.44) ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობის პოვნას, როდესაც ცვლადებს წარმოადგენენ რადიუსები, ხოლო სვეტის თითოეული ელემენტის სიგრძეები წარმოადგენენ სხვადასხვა, მაგრამ ფიქსირებულ სიდიდეებს. მათემატიკურად პირველი ამოცანა შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

ვიპოვოთ მინიმუმი

$$F = \sum_1^k b_i L_i = \sum_1^k \pi R_i^2 L_i = \sum_1^k \pi X_i^2 L_i, \quad (5.45)$$

როცა კმაყოფილდება შეზღუდვები, ერთი მხრივ, რომელიც დადებულია კვეთების რადიუსებზე ($X_i = R_i$ და $R_{1q} \leq X_1 \leq X_2 \dots \leq X_k \leq X_{kz}$):

$$R_{1q} \leq X_1 \leq R_{1z}, \quad (5.46)$$

$$R_{1z} \leq X_2 \leq R_{2z}, \quad (5.47)$$

$$R_{2z} \leq X_3 \leq R_{3z}, \quad (5.48)$$

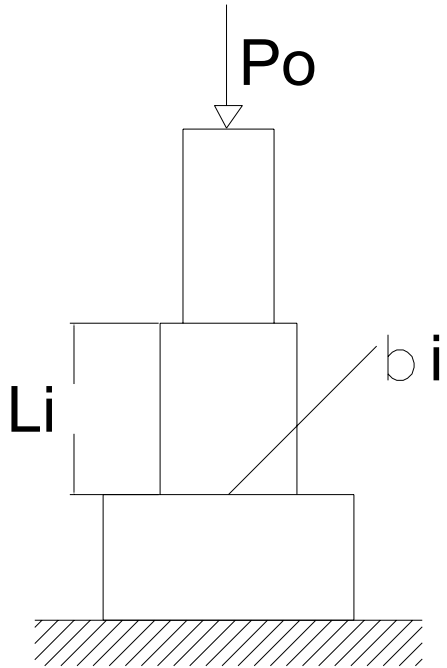
და მეორე მხრივ ძაბვებზე კოლონების შეკუმშვისას:

$$-P_0 / (3, 14 \cdot X_1^2) - \gamma_1 \cdot L_1 + P1 \geq 0, \quad (5.49)$$

$$-(P_0 + \gamma_1 \cdot L_1) / (3, 14 \cdot X_2^2) - \gamma_2 \cdot L_2 + P2 \geq 0, \quad (5.50)$$

$$-(P_0 + \gamma_1 \cdot L_1 + \gamma_2 \cdot L_2) / (3, 14 \cdot X_3^2) - \gamma_3 \cdot L_3 + P3 \geq 0, \quad (5.51)$$

სადაც γ_i - არის სვეტის მასალის ერთეული მოცულობის წონა, P_i არის თითოეული ელემენტის ზღვრული ძაბვა, რომლის მიღწევასაც ხდება ნორმალური მუშაობის პირობების დარღვევა. R_{1q} და R_{1z} არის R_1 რადიუსის ცვლილების ქვედა და ზედა ზღვარი შესაბამისად, ხოლო R_{2z} და R_{3z} არის R_2 და R_3 რადიუსების ცვლილების ზედა ზღვრები შესაბამისად.



ნახ. 5.4 უბან-უბან მუდმივი განივი კვეთის მქონე სვეტი

მეორე ამოცანა გულისხმობს (5.44) ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობის პოვნას, როდესაც ცვლადებს წარმოადგენენ სვეტის ელემენტების სიგრძეები, ხოლო ელემენტების რადიუსები წარმოადგენენ სხვადასხვა, მაგრამ ფიქსირებულ სიდიდეებს. მათემატიკურად მეორე ამოცანა შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

ვიპოვოთ მინიმუმი

$$F = \sum_1^k b_i L_i = \sum_1^k \pi R_i^2 L_i = \sum_1^k \pi R_i^2 X_i, \quad (5.52)$$

როცა შეზღუდვები აკმაყოფილებენ პირობებს, რომელიც დადებულია ერთი მხრივ, ელემენტების სიგრძეებზე ($X_i = L_{1z} \geq X_1 \geq X_2 \geq \dots X_k \geq L_{kq}$):

$$L_{1q} \leq X_1 \leq L_{1z}, \quad (5.53)$$

$$L_{2q} \leq X_2 \leq L_{1q}, \quad (5.54)$$

$$L_{3q} \leq X_3 \leq L_{2z}, \quad (5.55)$$

და მეორე მხრივ ძაბვებზე კოლონების შეკუმშვისას:

$$-P_0 / (3, 14. R_1^2) - \gamma_1 \cdot X_1 + P1 \geq 0, \quad (5.56)$$

$$-(P_0 + \gamma_1 \cdot X_1) / (3, 14. R_2^2) - \gamma_2 \cdot X_2 + P2 \geq 0, \quad (5.57)$$

$$-(P_0 + \gamma_1 \cdot X_1 + \gamma_2 \cdot X_2) / (3, 14. R_3^2) - \gamma_3 \cdot X_3 + P3 \geq 0, \quad (5.58)$$

სადაც γ_i არის სვეტის მასალის ერთეული მოცულობის წონა, L_{1q} და L_{1z} არის L_1 ელემენტების სიგრძეების ცვლილების ქვედა და ზედა ზღვარი შესაბამისად, ხოლო L_{2z} და L_{3z} არის L_2 და L_3 სიგრძეების ცვლილების ზედა ზღვრები შესაბამისად. P_i არის თითოეული ელემენტის ზღვრული ძაბვა, რომლის მიღწევასაც ხდება ნორმალური მუშაობის პირობების დარღვევა.

მესამე ამოცანა ითვალისწინებს $X=P_0$ მაქსიმალური მნიშვნელობის პოვნას, სხვადასხვა მაგრამ ფიქსირებული R_i და L_i - მნიშვნელობების დროს, როდესაც მოითხოვება შესრულდეს შემდეგი შეზღუდვები:

$$-X \cdot (3, 14. R_1^2) - \gamma_1 \cdot L_1 + P1 \geq 0, \quad (5.59)$$

$$-(X + \gamma_1 \cdot L_1) / (3, 14. R_2^2) - \gamma_2 \cdot L_2 + P2 \geq 0, \quad (5.60)$$

$$-(X + \gamma_1 \cdot L_1 + \gamma_2 \cdot L_2) / (3, 14. R_3^2) - \gamma_3 \cdot L_3 + P3 \geq 0, \quad (5.61)$$

5.4.2. შემთხვევითი ძებნის მეთოდით ამოცანის ამოხსნის ალგორითმების აღწერა

პირველი ამოცანის ამოხსნის ალგორითმის ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახ.5.5ა და ნახ.5.5ბ-ზე ალგორითმი მუშაობს შემდეგნაირად:

1. წინასწარ განხორციელება საწყისი მონაცემების შეტანა, რაც გულისხმობს სვეტის ელემენტების სიგრძეების (L1,L2,L3), სვეტის ერთეული სიგრძის შესაბამისი წონების (GAMA1,GAMA2,GAMA3), ცვლადების რაოდენობის N-სა და შეზღუდვათა რაოდენობის M-ის შეტანას.

2. იწყება სტატისტიკური ცდების ციკლი.

3. შემდეგ იწყება ქვეციკლი, რომლის დანიშნულებას წარმოადგენს შემთხვევითი რიცხვების გენერირება თანახმად ალგორითმისა

$$X(I)=AA(I)+(BB(I)-AA(I))*RND, \quad (5.62)$$

სადაც AA(I) და BB(I) არის ასარჩევი რადიუსების ზედა და ქვედა საზღვრები შესაბამისად. RND შემთხვევითი რიცხვების გენერატორია, რომელიც გამოიმუშავებს შემთხვევით რიცხვებს [0;1] ინტერვალში, ხოლო ამ რიცხვების მოცემულ საზღვრებში მოსათავსებლად გამოიყენება ზემოთ მითითებული ალგორითმი.

4. გამოითვლება შეზღუდვათა მნიშვნელობები თანახმად ფორმულებისა

$$G(I)=R1Q+X(1), \quad (5.63)$$

$$G(2)=R1Z-X(1), \quad (5.64)$$

$$G(3)=R1Z+X(2), \quad (5.65)$$

$$G(4)=R2Z-X(2), \quad (5.66)$$

$$G(5)=R2Z+X(3), \quad (5.67)$$

$$G(6)=R3Z-X(3), \quad (5.68)$$

$$G(6)=R3Z-X(3), \quad (5.69)$$

$$G(7)= -P0/(3.14*X(1)^2-GAMA1*L1+P1, \quad (5.70)$$

$$G(8) = -(P_0 + \text{GAMA1} * L_1) / (3.14 * X(2)^2) - \text{GAMA2} * L_2 + P_2, \quad (5.71)$$

$$G(9) = -(P_0 + \text{GAMA1} * L_1 + \text{GAMA2} * L_2) / (3.14 * X(3)^2) + P_3. \quad (5.72)$$

5. კეთდება შემოწმება მე-4 პუნქტში გამოთვლილი შეზღუდვებისა პირობაზე $G(K) \geq 0$ და დაითვლება შესრულებულ შეზღუდვათა რაოდენობა $L=L+!$.

6. შემოწმდება პირობა $L=M$, ტოლობა ნიშნავს, რომ $X(I)$ -ის არჩეული მნიშვნელობა აკმაყოფილებს ყველა შეზღუდვას და პროცესი გაგრძელდება შემდეგი პუნქტის შესასრულებლად. წინააღმდეგ შემთხვევაში პროცესი უბრუნდება ახალი სტატისტიკური ცდის ჩატარებას.

7. გამოითვლება მიზნის ფუნქცია თანახმად ფორმულისა

$$F = 3.14 * (X(1)^2 * L_1 + X(2) * L_2 + X(3)^2 * L_3). \quad (5.73)$$

8. მიზნის ფუნქციის გამოთვლილი მნიშვნელობა შედარდება F_{min}

(რომელიც წინასწარ იყო შეჩეული რაც შეიძლება დიდი, მაგრამ სასრ-

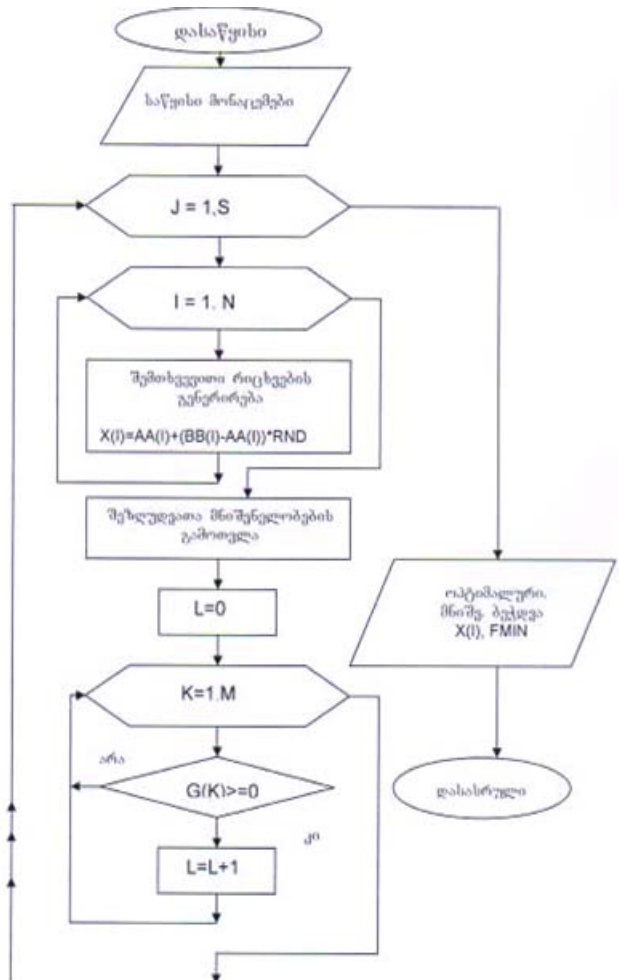
ულო რიცხვი) და თუ პირობა $F < F_{min}$ შესრულდა, მაშინ ხდება ნაკლები მნიშვნელობების დამახსოვრება.

9. დაიბეჭდება პარამეტრების $X(I)$ და მიზნის ფუნქციის მიმდინარე მნიშვნელობები და პროცესი გაგრძელდება ახალი სტატისტიკური ცდის შემთხვევაში და განმეორდება ზემოთ ჩამოთვლილი ყველა პუნქტი.

10. პროცესი გაგრძელდება მანამ სანამ არ შესრულდება პირობა S არ იქნება მეტი მითითებული სტატისტიკური ცდების რაოდენობაზე.

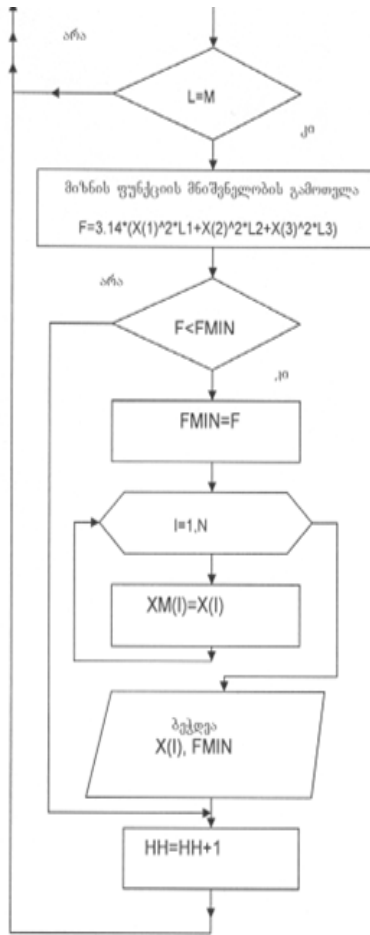
11. საბოლოოდ დაიბეჭდება პარამეტრების და მიზნის ფუნქციის ოპტიმალური მნიშვნელობები.

დანართში მოცემულია ამ ალგორითმის კომპიუტერული რეალიზაციის პროგრამა (**uban-uban1**).



ნახ. 5.5ა.

ამოცანა №1-ის ამოხსნის ალგორითმის ბლოკ-სქემა (ი-ნაწილი)



ნახ. 5.5ბ.

ამოცანა №1-ის ამოხსნის ალგორითმის ბლოკ-სქემა (II-ნაწილი)

მეორე ამოცანის ამოხსნის ალგორითმის ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახ.5.6ა და 5.6ბ,-ზე. ალგორითმის მუშაობის პრინციპი იგივეა რაც პირველი ამოცანის შემთხვევაში, განსხვავება მხოლოდ შეზღუდვებისა და მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობების გამოთვლაშია, ე.ი განსხვავდებიან მხოლოდ მე-4 და მე-7 პუნქტები. უფრო კონკრეტულად მეორე ამოცანის შემთხვევაში მე-4 პუნქტში გამოითვლება შეზღუდვათა მნიშვნელობები თანახმად ფორმულებისა

$$G(1)=L1Q+X(1), \quad (5.4.31)$$

$$G(2)=L1Z-X(1), \quad (5.4.32)$$

$$G(3)=L2Q+X(2), \quad (5.4.33)$$

$$G(4)=L2Q-X(2), \quad (5.4.34)$$

$$G(5)=R3Q+X(3), \quad (5.4.35)$$

$$G(6)=R2Q-X(3), \quad (5.4.36)$$

$$G(7)= -P0/(3.14*R1^2)-GAMA*X(1)+P1, \quad (5.4.37)$$

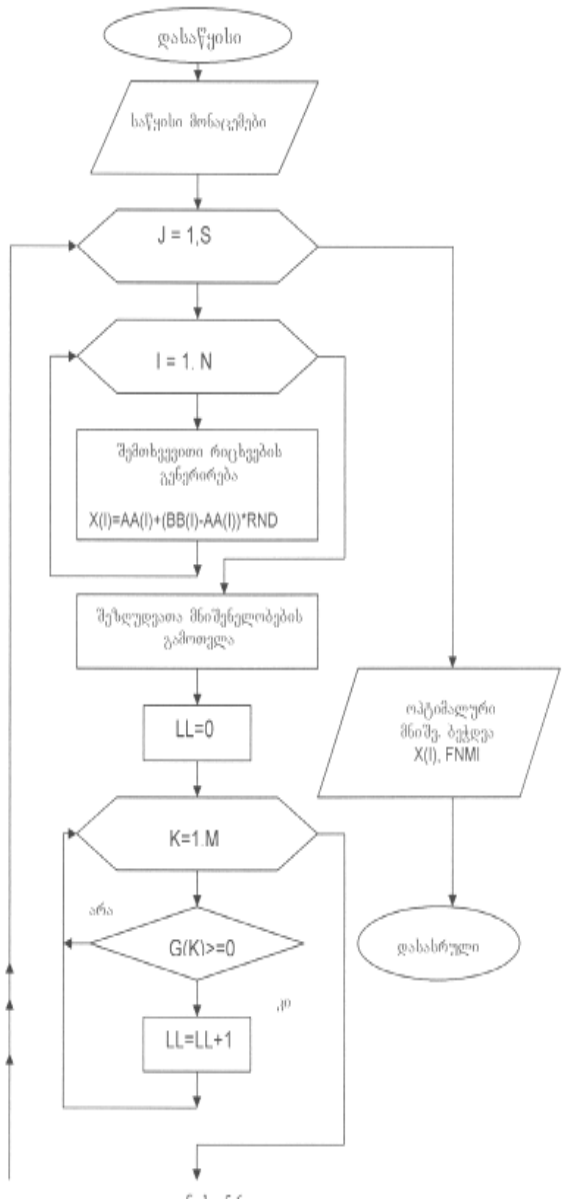
$$G(8)= -(P0+GAMA1*X(1))/(3.14*R2^2) - GAMA*X(2)+P2, \quad (5.4.38)$$

$$G(9)= -(P0+ GAMA1*X(1)+ GAMA2*X(2))/(3.14*R3^2)+P3, \quad (5.4.39)$$

ხოლო მე-7 პუნქტში მიზნის ფუნქცია გამოითვლება თანახმად ფორმულისა

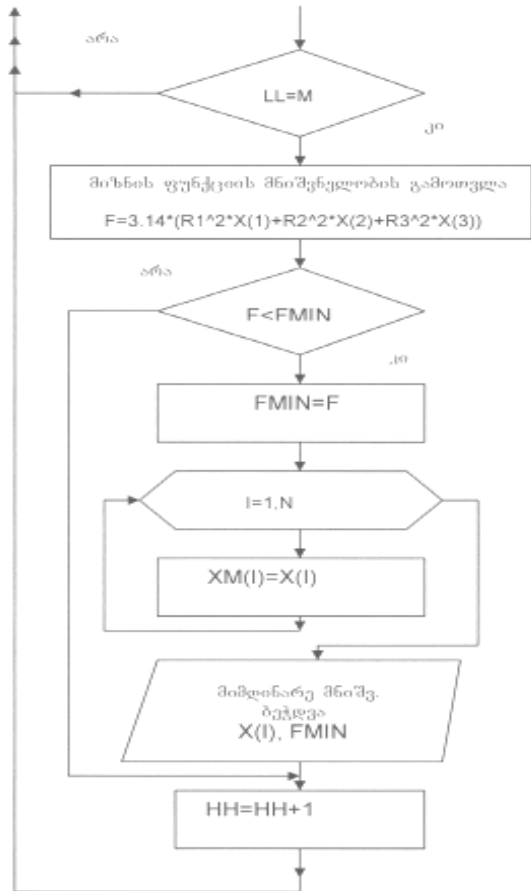
$$F=3.14*(R1^2*X(1)+R2^2*X(2)+R3^2*X(3)). \quad (5.4.40)$$

დანართში მოცემულია ამ ალგორითმის კომპიუტერული რეალიზაციის პროგრამა (**uban-uban2**).



ნახ. 5.6ა.

ამოცანა №2-ის ამოხსნის ალგორითმის ბლოკ-სქემა (I-ნაწილი)



ნახ. 5.6ბ.

ამოცანა №2-ის ამოხსნის ალგორითმის ბლოკ-სქემა (II-ნაწილი)

მესამე ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი
 მოცემულია ნახ.5.7ა, და 5.7ბ-ზე. ამ ალგორითმის მუშაობა განსხვავდება წინა ორი ამოცანის ალგორითმების მუშაობისაგან, რადგან ამ შემთხვევაში ვეძებთ საოპტიმიზაციო ფუნქციის (ამ შემთხვევაში $X=P_0$) მაქსიმალურ მნიშვნელობას. შემდეგი შეზღუდვების დროს

$$G(1)=P-X.(3,14R_1^2)-\gamma_1.L_1+P1, \quad (5.4.41)$$

$$G(2)=-(X+\gamma_1.L_1)/(3,14.R_2^2)-\gamma_2.L_2+P2, \quad (5.4.42)$$

$$G(3)=-(X+\gamma_1.L_1+\gamma_2.L_2)/(3,14.R_3^2)-\gamma_3.L_3+P3. \quad (5.4.43)$$

ნახ. 5.6ა და 5.6ბ-ზე მოცემული ბლოკ-სქემის აღწერა

1. წინასწარ განხორციელება საწყისი მონაცემების შეტანა, რაც გულისხმობს სვეტის ელემენტების რადიუსების ($R1,R2,R3$) და სიგრძეების ($L1, L2, L3$), სვეტის ერთეული სიგრძის შესაბამისი წონების ($GAMA1,GAMA2,GAMA3$), ცვლადების რაოდენობის $N=1$ -სა და შეზღუდვათა რაოდენობის $M=3$ -ის შეტანას.
2. შემდეგ იწყება ციკლი სტატისტიკური ცდების.
3. შემდეგ იწყება ქვეციკლი, რომლის დანიშნულებას წარმოადგენს შემთხვევითი რიცხვების გენერირება თანახმად ალგორითმისა

$$X(I)=AA(I)+(BB(I)-AA(I))*RND, \quad (5.4.44)$$

სადაც $AA(I)$ და $BB(I)$ არის ასარჩევი დატვირთვის ქვედა და ზედა საზღვრები შესაბამისად. RND შემთხვევითი რიცხვების გენერატორია, რომელიც გამოიმუშავებს შემთხვევით რიცხვებს $[0;1]$ ინტერვალში, ხოლო ამ რიცხვების მოცემულ საზღვრებში მოსათავსებლად გამოიყენება ზემოთ მითითებული ალგორითმი.

4. გამოითვლება შეზღუდვათა მნიშვნელობები თანახმად ფორმულებისა:

$$G(1)= -X(1)P0/(3.14*R1^2)-GAMA1*L1+P1, \quad (5.4.45)$$

$$G(2) = -(X(1) + GAMA1 * L1) / (3.14 * R2^2) - GAMA2 * L2 + P2, \quad (5.4.46)$$

$$G(3) = -(P0 + GAMA1 * L1 + GAMA2 * L2) / (3.14 * R3^2) - GAMA3 * L3 + P3 \quad (5.4.47).$$

5. კეთდება შემოწმება მე-4 პუნქტში გამოთვლილი შეზღუდვებისა პირობაზე $G(K) \geq 0$ და დაითვლება შესრულებულ შეზღუდვათა რაოდენობა $LL = LL + 1$.

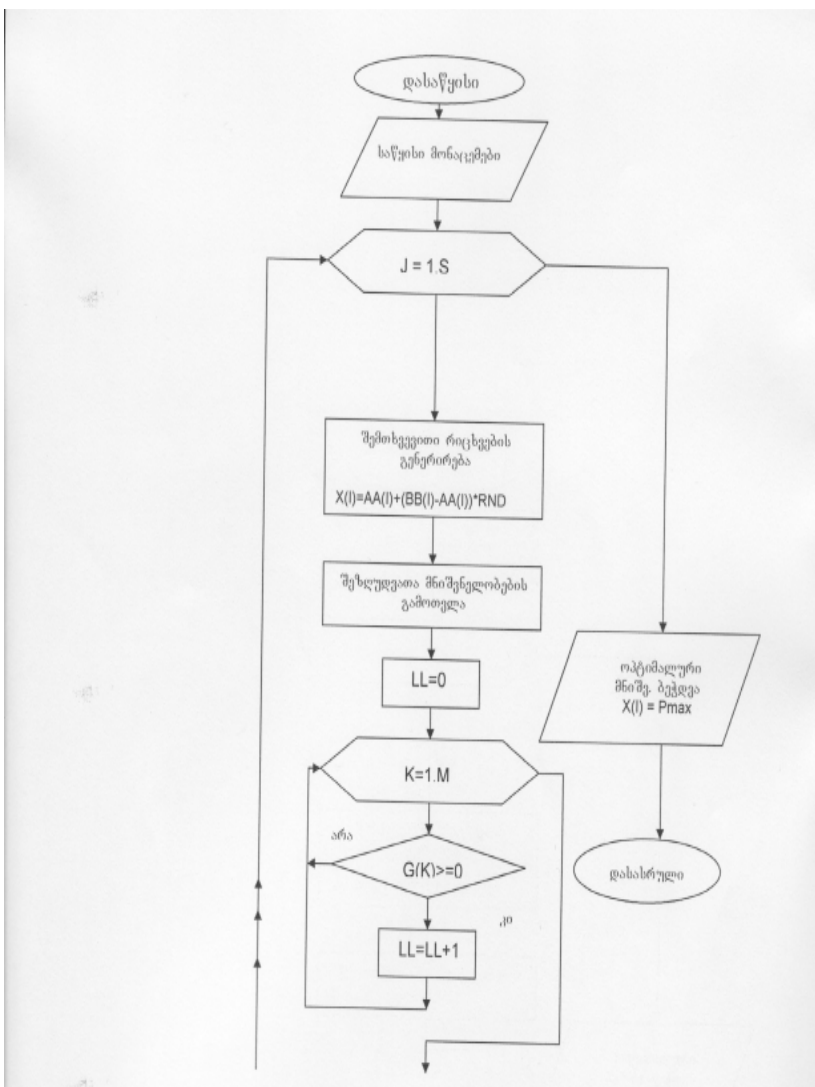
6. შემოწმდება პირობა $LL = M$, ტოლობა ნიშნავს, რომ $X(I)$ -ის არჩეული მნიშვნელობა აკმაყოფილებს ყველა შეზღუდვას და პროცესი გაგრძელდება შემდეგი პუნქტის შესასრულებლად. წინააღმდეგ შემთხვევაში პროცესი უბრუნდება ახალი სტატისტიკური ცდის ჩატარებას.

7. გამოითვლება მიზნის ფუნქცია თანახმად ფორმულისა $P = X(1)$.

8. მიზნის ფუნქციის $X(1)$ გამოთვლილი მნიშვნელობა შედარდება P (რომელიც წინასწარ იყო შეჩეული - რაც შეიძლება მცირე რიცხვი) და თუ პირობა $X(1) > P$ შესრულდა, მაშინ მოხდება მეტი მნიშვნელობის დამახსოვრება.

9. დაიბეჭდება პარამეტრების $X(I)$ და მიზნის ფუნქციის მიმდინარე მნიშვნელობები და პროცესი გაგრძელდება ახალი სტატისტიკური ცდის შემთხვევაში. ახალი ცდის შემთხვევაში განმეორდება ზემოთ ჩამოთვლილი ყველა პუნქტი.

10. პროცესი გაგრძელდება მანამ სანამ არ შესრულდება პირობა S არ იქნება მეტი მითითებული სტატისტიკური ცდების რაოდენობაზე.

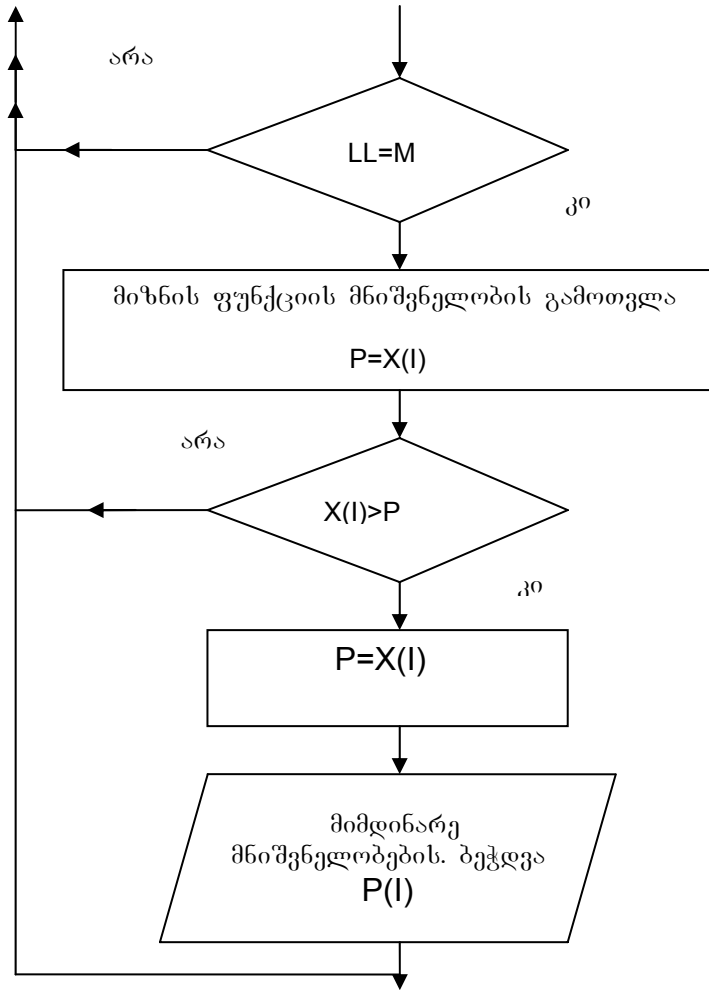


ნახ. 5.7ა.

ამოცანა №3-ს ამოხსნის ალგორითმის ბლოკ-სქემა (I-ნაწილი)

11. საბოლოოდ დაიბეჭდება პარამეტრების და მიზნის ფუნქციის ოპტიმალური მნიშვნელობები.

დანართში მოცემულია ამ ალგორითმის კომპიუტერული რეალიზაციის პროგრამა (**uban-uban3**)



ნახ. 5.7 ბ
 ამოცანა №3-ის ამოხსნის ალგორითმის ბლოკ-სქემა
 (II-ნაწილი)

პარაგრაფის დასასრულს შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: განხილულია სამშენებლო კონსტრუქციის, კერძოდ უბან-უბან მუდმივკვეთიანი სვეტის ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშების ამოცანა, სადაც ძირითად მატემატიკურ აპარატად გამოყენებულია გლობალური ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნის მეთოდი.

შექმნილია პროგრამათა კომპლექსი, (იხ. დანართი პროგრამა **uban-uban 1,2,3**) რომელიც მომხმარებელს საშუალებას აძლევს იანგარიშოს, ინჟინრული თვალსაზრით მისაღები სიზუსტით, სვეტის არა მარტო მინიმალური წონა, არამედ პარამეტრების ის მნიშვნელობები, რომლის დროსაც ამას აქვს ადგილი.

შედგების განსჯა

მონოგრაფიის მთავარ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ დამუშავებულია სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ნაგებობების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის ახალი მეთოდები. ამ მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია მნიშვნელოვნად შემცირდეს მასალების ხარჯი და ამადღდეს ეკონომიკური ეფექტი. გარდა ამისა ყველა მეთოდი არის რეალიზებული კომპიუტერზე და არის შესაძლებლობა რთული ექსტრემალური ამოცანების დასაშვები სიზუსტით, მარტივად და სწრაფად გადაწყვეტის.

დასახული ამოცანების განსახორციელებლად საჭირო გახდა ოპტიმიზაციის არსებული მეთოდების საფუძვლიანი შესწავლა, აგრეთვე სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ნაგებობების იმ კლასის ამოცანათა გამოყოფა, სადაც პარამეტრების ოპტიმალური შერჩევის გზით მიიღწეოდა სასურველი შედეგი.

ოპტიმიზაციის თანამედროვე მეთოდებიდან შესწავლილი იქნა: გრადიენტის და მისი მოდიფიკაციის უსწრაფესი დაშვების, გლობალური ექსტრემუმის მონახვის ψ -გარდასახვის, სიმძიმის ცენტრების, ძებნის არის თანდათანობით შემცირების და შემთხვევითი ძებნის მეთოდები. ზოგად შემთხვევაში პრაქტიკაში არსებული ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტა სერიოზულ პრობლემებთან არის დაკავშირებული. ეს განპირობებულია, ჯერ-ერთი, ამოცანის საკმაოდ დიდი განზომილებით, მეორე-რეალური პროცესებისათვის დამახასიათებელი არსებული არაწრფივობით და მესამე-რთული სახის სისტემათა შეზღუდვების არსებობით. პრობლემას კიდევ უფრო ამძიმებს ის შემთხვევა, როდესაც საოპტიმიზაციო ფუნქცია

მულტიმოდალურია და საჭიროა აბსოლუტური ექსტრემუმის განსაზღვრა. ზემოთ აღნიშნული სირთულეების დასაძლევად ყველაზე წარმატებულად გამოიყენება შემთხვევითი ძებნისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდები, ამიტომ მონოგრაფიაში ექსტრემუმის მოსანახად სწორედ ამ მეთოდების გამოყენებაზეა აქცენტი აღებული.

სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ნაგებობების ამოცანათა კლასიდან, სადაც შესაძლებელი იქნებოდა პარამეტრების შერჩევის გზით მიგველო სასურველი შედეგები, შეწავლილ იქნა: გრეხაზე მომუშავე ცილინდრული ზამბარის, შენობა-ნაგებობის ფუძისა და საძირკელის, სამღეროვანი სიმეტრიული წამწის, მართკუთხა და ორტკეხბერი განივი კვეთის მქონე ძელისა და კოჭის გაანგარიშების საკითხები.

ზამბარის საკითხთან დაკავშირებით დამუშავებულია გრეხაზე მომუშავე ცილინდრული ზამბარის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევის მეთოდი, რაც გულისხმობს ზამბარის მავთულის და ზამბარის საშუალო დიამეტრების ისეთნაირად შერჩევას, რომ მიღებულ იქნას ზამბარის მინიმალური წონა. ამოცანის მათემატიკური მოდელის გაცნობის შემდეგ მიზნის ფუნქცია და ერთ-ერთი ფუნქცია, რომელიც განსაზღვრავს შეზღუდვას აღმოჩნდნენ მკაცრად არაწრფივი ფუნქციები. ამოცანა ამოხსნილია შემთხვევითი ძებნის და სიმძიმის ცენტრების მეთოდების გამოყენებით. ორივე მეთოდით მიღებული შედეგები შედარებულ იქნა ერთმანეთს და აგრეთვე ლაგრანჟის მეთოდით მიღებულ შედეგებს, აღმოჩნდა, რომ სამივე მეთოდით მიღებული შედეგები ერთმანეთს პრაქტიკაში ინჟინრული თვალსაზრისით მიღებული სიზუსტით. გარდა ამისა მეთოდები შედარებულ იქნა სწრაფქმედების თვალსაზრისითაც. აღმოჩნდა, რომ სიმძიმის ცენტრების მეთოდი უფრო სწრაფქმედია ვიდრე შემთხვევითი ძებნის მეთოდი, ამ

მახიათებლების დადგენა შესაძლებელია თუ დავითვლით ამოცანის ამოხსნისათვის საჭირო მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობათა გამოთვლის რაოდენობას. მაგალითად ნაშრომში განხილული მაგალითის შემთხვევაში სიმძიმის ცენტრების მეთოდის გამოყენებისას 145-ჯერ გაკეთდა მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობის გამოთვლა, ხოლო შემთხვევითი ძებნის მეთოდის შემთხვევაში მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობის გამოთვლა საჭირო გახდა 690000-ჯერ.

დამუშავებულია შენობა-ნაგებობის ფუძის და საძირკვლის ერთობლივი დეფორმაციის ისეთი პარამეტრების, როგორცაა: ჩადრმავეების, სიგრძისა და სიგანის ოპტიმალური მნიშვნელობების გაანგარიშების მეთოდი. ამ მიზნით შესწავლილი იქნა: ა). ფუძის დაჯდომის გაანგარიშების შრეობრივი შეჯამების მეთოდი, როდესაც გრუნტი განიხილება როგორც წრფივად დეფორმირებადი ნახევარსივრცე, ბ). ფუძის დაჯდომის გაანგარიშება წრფივად დეფორმირებადი მეთოდით, როდესაც გრუნტი განიხილება როგორც წრფივად დეფორმირებადი შრე, გ). ფუძის დაჯდომის გაანგარიშების ექვივალენტური შრის მეთოდი, როდესაც გათვალისწინებულია გრუნტის გვერდითი გაგანიერება. ამ მეთოდების შესწავლისა და კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე, რომელიც მოცემულია მესამე თავში კომპიუტერზე სარეალიზაციოდ შერჩეულ იქნა ფუძის დაჯდომის შრეობრივი შეჯამების მეთოდი, როგორც ყველაზე წარმატებული და პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებადი. დამუშავდა შესაბამისი ალგორითმები, რამაც მოგვცა შესაძლებლობა დაგვედგინა ფუძის ჯამური დეფორმაციის S სიდიდე, რომელიც შემდეგში განვიხილეთ, როგორც მრავალი ცვლადის (შემთხვევითი პარამეტრების) ფუნქცია და ვიპოვეთ მისი მინიმალური მნიშვნელობა შემთხვევითი ძებნის

მეთოდის გამოყენებით, რასაკვირველია პარამეტრების შესაბამის მნიშვნელობებთან ერთად.

სამღეროვანი სიმეტრიული წამწის ღეროების ოპტიმალური კვეთების განსასაზღვრავად საჭირო გახდა დასმული საკვლევი-საინჟინრო ამოცანის ირგვლივ არსებული ლიტერატურის ანალიზი, რის შედეგადაც დადგინდა, რომ დასმული საკითხი გადაწყვეტილია მხოლოდ ცალკეული მარტივი, კერძოდ, ორღეროვანი წამწის შემთხვევაში, ე.ი. როდესაც შესაძლებელია მიზნისა და შეზღუდვათა ფუნქციების ანალიზური გამოკვლევა ან მათი წარმოდგენა გრაფიკულად. სამღეროვანი წამწის შემთხვევაში, როდესაც ზემოთ აღნიშნულ ფუნქციებს აქვთ რთული სახე, მაშინ მითითებული მეთოდების გამოყენება შეუძლებელია.

შესწავლილი და გაანალიზებული იქნა აგრეთვე სტატიკურად რკვევადი წამწების გაანგარიშების ხერხები, როგორცაა: სამომენტო წერტილის, კვანძების ამოკვეთის, დაგეგმილების და სხვა ხერხები. მათ შორის შერჩეული იქნა ჩვენი შემთხვევისათვის ყველაზე მოხერხებული “კვანძების ამოკვეთის ხერხი”. ამ შემთხვევაში იწერება წონასწორობის განტოლებები და ამ განტოლებებით განისაზღვრება საძიებელი ძალები.

სამღეროვანი წამწის შემთხვევაში აუცილებელი იყო მისი მათემატიკური მოდელის ზოგადი სახით ჩაწერა, რაც არსებულ ლიტერატურებში არ იყო მითითებული. ამიტომ საჭირო გახდა ასეთი მოდელის შემუშავება, რომელიც შემდგომში ჩამოყალიბდა თეორემის სახით და დამტკიცდა.

წამწის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის ამოცანა დაყვანილ იქნა არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანამდე. მიზნის ფუნქციის ექსტრემუმის მოსანახად მიზანშეწონილი გახდა მრავალი ცვლადის ფუნქციის

ექსტემუმის მონახვის შემთხვევითი ძეხვის მეთოდის გამოყენება.

დამუშავებულ იქნა მართკუთხა კვეთის მქონე სვეტის ოპტიმალური ფართობის შერჩევის ახალი მეთოდი. იმისათვის, რომ შეგვედარებინა ამ მეთოდით მიღებული შედეგები არსებული იტერაციულ (თანმიმდევრობითი მიახლოების) მეთოდით მიღებულ შედეგთან, საჭირო გახდა იტერაციული მეთოდის კომპიუტერული რეალიზაცია და მისი გამოკვლევა. გამოკვლევის შედეგად დადგინდა, რომ იტერაციულ მეთოდს გააჩნია სუსტი მხარეები, რომელიც დაწვრილებითაა ჩამოყალიბებული მეხუთე თავის 5.1 პარაგრაფში. ახალი მეთოდი იძლევა რა კვეთის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევის შესაძლებლობას იგი ამავდროულად თავისუფალია იმ ნაკლოვანებებისაგან, რომელიც ცნობილ იტერაციულ მეთოდს გააჩნია. გარდა ამისა ამ მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია აგრეთვე მაშინაც, როდესაც სვეტებს ექნებათ კვადრატული, წრიული ან მილისებრი კონფიგურაციები.

დამუშავებულია შედგენილი, ორტკესებრი განივი კვეთის მქონე, კოჭის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევის ახალი მეთოდი. ეს მეთოდი განსხვავებით სხვა არსებული მეთოდებისაგან იძლევა შესაძლებლობას ერთდროულად დადგინდეს კოჭის მინიმალური წონის უზრუნველყოფელი ოთხი პარამეტრის მნიშვნელობა, როგორებიცაა: კოჭის კედლის სისქე და სიმაღლე, ასევე კოჭის ჰორიზონტალური თაროებისა და კედლის დამაკავშირებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობები. კომპიუტერზე ჩატარებულმა გაანგარიშებებმა დაადასტურეს ამ მეთოდის სიცოცხლისუნარიანობა.

დამუშავებულია აგრეთვე უბან-უბან მუდმივი განივი კვეთის მქონე სვეტების ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევის მეთოდი. აქ ამოცანები

ჩამოყალიბებულია სამი სხადასხა შემთხვევისათვის. კერძოდ, როდესაც საჭიროა ცალ-ცალკე შეირჩეს სვეტის განივიკვეთის დიამეტრის, სვეტის სიგრძის და სვეტზე მოდებული დატვირთვის ოპტიმალური მნიშვნელობები.

ყველა მეთოდის კომპიუტერზე რეალიზაციის პროგრამები მოცემულია შესაბამის დანართებში და სადისერტაციო ნაშრომს თან ერთვის.

საბოლოო დასკვნა

სამშენებლო კონსტრუქციების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის ამოცანები განხილულია, როგორც არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანები, სადაც მრავალი ცვლადის მულტიმოდალური ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის მოსანახად გამოყენებულია შემთხვევითი ძებნისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდები. ამ მეთოდების გამოყენების საფუძველზე დამუშავებულია ერთიანი, განზოგადოებული მიდგომა სამშენებლო კონსტრუქციების და ნაგებობების პარამეტრების ოპტიმიზაციის საკითხისადმი, რომლებიც თანამედროვე დაპროექტების რთული ექსტრემალური, ამოცანების გადაწყვეტას უზრუნველყოფენ საინჟინრო პრაქტიკაში მისაღები სიზუსტით. ამ მიზნით:

1. დამუშავებულია გრესადი ცილინდრული ზამბარის ოპტიმალური წონის განსაზღვრის მეთოდი. ოპტიმალური წონის მიღება ხდება ზამბარის მავთულის და ზამბარის საშუალო დიამეტრის შერჩევის გზით. მიუხედავად იმისა, რომ პროექტირების დასმული ამოცანა მცირე განზომილებისაა (ორ პარამეტრიანია) იგი ამოხსნისას ქმნის მნიშვნელოვან სიძნელეებს, რადგანაც გააჩნია ძლიერი (მკაცრი) არაწრფივობა. იგი მიეკუთვნება არაწრფივი დაპროგრამების ამოცანების – კერძოდ, გეომეტრული დაპროგრამების ამოცანათა კლასს. ამიტომ მათ ამოსახსნელად გამოყენებულია ექსტრემუმის მონახვის შემთხვევითი ძებნისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდები. აღნიშნული მეთოდები, არსებული ანალიზური მეთოდებისაგან განსხვავებით, წარმატებით მუშაობენ მაშინაც, როცა მრავალპარამეტრიანი მიზნის ფუნქცია არის მრავალექსტრემუმიანი და არადიფერენცირებადი, გააჩნია პირველი გვარის წყვეტის წერტილები და

მუდმივი პლატოები. ამ მეთოდებით მიღებული შედეგები შედარებულია ანალიზური გზით მიღებულ შედეგებთან, საიდანაც ჩანს, რომ აღნიშნულ მეთოდებს გააჩნიათ საკმაოდ დიდი სიზუსტე.

2. დამუშავებულია შენობა ნაგებობების ფუძის დეფორმაციის ოპტიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრის კომპლექსური მეთოდი. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა დავადგინოთ ფუძის პარამეტრების (სიგრძე, სიგანე და ჩაღრმავება) ის მნიშვნელობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ფუძის დაჯდომის მინიმალურ მნიშვნელობას, რისი მიღწევაც მარტო ფუძის დეფორმაციის განსაზღვრის შრეობრივი შეჯამების მეთოდის გამოყენებით არ იყო შესაძლებელი.

3. მიღებულია სამდეროვანი სიმეტრიული წამწის სიხისტის ფუნქციის ზოგადი ფორმულა. საკითხი ჩამოყალიბებულია თეორემის სახით და მოცემულია მისი დამტკიცება. მიღებული ფორმულა საშუალებას იძლევა ვიანგარიშოთ წამწის პარამეტრები მისი კონფიგურაციის ცვლილების შემთხვევაშიც. ამის საფუძველზე შემოთავაზებულია სამდეროვანი სიმეტრიული წამწის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდი. აღნიშნული მეთოდი შესაძლებლობას იძლევა შევარჩიოთ ღეროების განივი კვეთების ფართობები ისეთნაირად, რომ მოცემული დატვირთვებისა და შეზღუდვების დროს წამწის წონა იყოს მინიმალური.

აღნიშნული მიდგომა სხვა არსებული ანალიზური და გრაფიკულ მეთოდებისაგან განსხვავებით შესაძლებლობას იძლევა ამოიხსნას უფრო რთული და ზოგადი ხასიათის ამოცანები.

4. დამუშავებულია, მართკუთხა განივი კვეთის მქონე, სვეტის პარამეტრებისა და გრძივი ღუნვისას საანგარიშო წინააღობის შემამცირებელი კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრის ახალი

მეთოდი, რომელიც არსებული იტერაციული მეთოდისაგან განსხვავებით სვეტის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის შესაძლებლობას იძლევა. აღნიშნული მეთოდი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას არა მარტო მართკუთხა კვეთის მქონე სვეტის ოპტიმალური პარამეტრების საანგარიშოდ, არამედ იმ შემთხვევებშიც, როდესაც კვეთებს ექნებათ კვადრატული, წრიული ან მილისებრი კონფიგურაციები.

5. დამუშავებულია შედგენილი, ორტკესებრი განივი კვეთის მქონე, კოჭის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის ახალი მეთოდი. დასმული ამოცანა წარმოდგენილია, როგორც არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანა. შემოთავაზებული მიდგომა საშუალებას იძლევა, ადრე არსებული მეთოდებისაგან განსხვავებით, ერთდროულად დაგადგინოთ კოჭის ჰორიზონტალური თაროების და კედლის ოპტიმალური გეომეტრიული ზომები (h, t, k_1, k_2) , რითაც მიიღწევა კოჭის მინიმალური წონა,

6. გამოკვლეულია უბან-უბან მუდმივი განივკვეთის მქონე სვეტის ოპტიმალური ფართობებისა და სიგრძეების არჩევის სამი კერძო ამოცანა, ისეთნაირად, რომ სვეტმა მეუმეოთხე ძალის ზემოქმედებისას გაუძლოს ვერტიკალურ დატვირთვას გამოზნექვის გარეშე. ნაგულისხმევია, რომ თითოეული ელემენტის განივი კვეთის გეომეტრიული ფორმა არის ფიქსირებული და სიმეტრიული ვერტიკალური ღერძის მიმართ.

7. თითოეული მეთოდისათვის დამუშავებულია აგრეთვე გამოყენებითი პროგრამების კომპლექსი, რომელიც შესაძლებლობას იძლევა, ინჟინრული თვალსაზრისით, მისაღები სიზუსტით დადგინდეს ნაშრომში განხილული სამშენებლო კონსტრუქციების და ნაგებობების ოპტიმალური პარამეტრები.

დანართი

ზამბარის მინიმალური წონის განსაზღვრა
შემთხვევითი ძეგნის მეთოდის გამოყენებით (zambara1)

```
DIM X(2), G(7), XM(2)
CLS
AA(1) = .002
BB(1) = .01
AA(2) = .02
BB(2) = .04
N = 2
M = 7
S = 690000
TT = 0
HH = 0
RMIN = 1E+35
FOR J = 1 TO S
FOR I = 1 TO N
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND
NEXT I
G(1) = 1.5 * 10 ^ 11 - 4.35 * X(1) ^ (-2.885) * X(2) ^ (-.115)
G(2) = X(1) - .0028
G(3) = .01 - X(1)
G(4) = X(2) - .029
G(5) = -X(2) + .04
G(6) = X(2) / X(1) - 8
G(7) = 12 - X(2) / X(1)
L = 0
FOR K = 1 TO M
IF G(K) >= 0 THEN
L = L + 1
ELSE
END IF
NEXT K
```

```

IF L = M THEN
F = 3.14 ^ 2 * 7.7 * 10 ^ 4 * (.5 * X(1) ^ 2 * X(2) + 2 * 10 ^
11 * 20 / (14680 * .3) * X(1) ^ 6)
IF F < RMIN THEN
RMIN = F
FOR I = 1 TO N
XM(I) = X(I)
NEXT I
PRINT "XM(1)="; XM(1), "XM(2)="; XM(2), "RMIN="; RMIN
TT = TT + 1
ELSE
END IF
ELSE
HH = HH + 1
END IF
NEXT J
PRINT "XM(1)="; XM(1), "XM(2)="; XM(2), "RMIN="; RMIN
PRINT "TT="; TT, "HH="; HH

```

მიღებული შედეგები:

XM(1)= 4.415584E-03	XM(2)= .0354948
RMIN= 5.373535	
XM(1)= 4.407764E-03	XM(2)= 3.897142E-02
RMIN= 5.344174	
XM(1)= 3.302573E-03	XM(2)= 3.293174E-02
RMIN= 1.031044	
XM(1)= 3.245305E-03	XM(2)= 2.948918E-02
RMIN= .9234501	
XM(1)= 3.199849E-03	XM(2)= 3.408791E-02
RMIN= .8726725	
XM(1)= 3.20249E-03	XM(2)= 3.059642E-02
RMIN= .8629723	
XM(1)= 2.876508E-03	XM(2)= 3.301932E-02
RMIN= .4943315	

XM(1)= 2.831778E-03	XM(2)= 3.247833E-02
RMIN= .4544268	
XM(1)= 2.802455E-03	XM(2)= 2.966115E-02
RMIN= .4224638	
XM(1)= 2.800581E-03	XM(2)= 2.921377E-02
RMIN= .4196756	
XM(1)= 2.800402E-03	XM(2)= 2.911013E-02
RMIN= .4192289	
XM(1)= 2.800447E-03	XM(2)= 2.902923E-02
RMIN= .4190227	

ოპტიმალური მნიშვნელობები:

XM(1)= 2.800447E-03	XM(2)= 2.902923E-02
RMIN= .4190227	

მეთოდის სწრაფქმედების მაჩვენებელი პარამეტრები:

TT= 12 HH= 625450

სიმძიმის ცენტრების მეთოდით ზამბარის მინიმალური
წონის განსაზღვრა (**zambara2**)

```

CLS
N = 2: M = 7
REM INPUT "N="; N
REM INPUT "M="; M
DIM X(N), G(M), AX(N), BX(N), BBX(N)
REM DO
REM FOR I = 1 TO N
REM PRINT "A("; I; ")=";
REM INPUT AX(I)
REM PRINT "B("; I; ")=";

```

```

REM INPUT BX(I)
REM NEXT I
REM INPUT "H="; H
REM INPUT "EPS="; E
REM INPUT "S="; S
REM LOOP WHILE S = 0
AX(1) = .0028: BX(1) = .011: AX(2) = .029: BX(2) = .04
H = .1: E = .001: S = 100
DEF FNF :
F = 3.14 ^ 2 * 77000 * (.5 * X(1) ^ 2 * X(2) + 2 *
100000000000# * 20 / (14680
TT = TT + 1
END DEF
DEF FNG :
G(1) = 1.5 * 100000000000# - 4.35 * X(1) ^ (-2.885) * X(2)
^ (-.115)
G(2) = X(1) - .0028
G(3) = .01 - X(1)
G(4) = X(2) - .029
G(5) = -X(2) + .04
G(6) = X(2) / X(1) - 8
G(7) = 12 - X(2) / X(1)
END DEF
DIM Z(10, N), Q(10), P(10), L(10), A(3, 3), B(3)
DIM E(N, 3), XX(N), FF(N), Y(N), BB(N), PP(N), R(3)
S1% = .1 * S: MN = 5E+35: MX = 0: TT = 0
SS1% = 0
FOR I = 1 TO N: BBX(I) = BX(I) - AX(I): NEXT I
DO
GOSUB VARIABLE
Z = FNG
LL = 0
FOR J = 1 TO M
IF G(J) >= 0 THEN
LL = LL + 1
ELSE

```



```

END IF
NEXT J
IF LL = M THEN
Z = FNF
IF F < MN THEN MN = F
IF F > MX THEN MX = F
SS1% = SS1% + 1: PRINT SS1%;
ELSE
END IF
LOOP WHILE SS1% < S1%
M1 = .1 * (MX - MN) / 2
MX = (MX + MN) / 2
FOR K = 1 TO 10: Q(K) = MX - K * M1: NEXT K
P% = 0: PRINT
DO
GOSUB VARIABLE
Z = FNG
LL = 0
FOR J = 1 TO M
IF G(J) >= 0 THEN
LL = LL + 1
ELSE
END IF
NEXT J
IF LL = M THEN
Z = FNF
FOR K = 1 TO 10
IF F >= Q(K) THEN EXIT FOR
V5 = (F - Q(K)) / S
P(K) = P(K) + V5: L(K) = L(K) + 1
FOR I = 1 TO N
Z(K, I) = Z(K, I) + X(I) * V5
NEXT I
NEXT K
P% = P% + 1: PRINT P%;
ELSE

```

```

END IF
LOOP WHILE P% < S
AP% = 0: FOR K = 1 TO 10
IF L(K) <= 0 THEN EXIT FOR
AP% = AP% + 1
NEXT K: V3 = P(1)
FOR K = 1 TO AP%
FOR I = 1 TO N: Z(K, I) = Z(K, I) / P(K): NEXT I
P(K) = P(K) / V3
NEXT K: PRINT
PRINT "THE RESULTS OF STATISTIC TESTS FOR S=";
S
FOR K = 1 TO AP%: PRINT K;
PRINT USING "#####.#####"; Q(K);
FOR I = 1 TO N
PRINT USING "#####.#####"; Z(K, I);
NEXT I: PRINT
NEXT K
FOR K = 1 TO 4
L(K) = 1: NEXT K
FOR K = 2 TO AP%
L(1) = L(1) + K: V2 = K * K
L(2) = L(2) + V2: L(3) = L(3) + K * V2
L(4) = L(4) + V2 * V2: NEXT K
FOR K = 1 TO 4
L(K) = L(K) / AP%: NEXT K
PRINT "THE RESULTS OF APPROXIMATION"
FOR L = 1 TO N
FOR K = 1 TO AP%: P(K) = Z(K, L): NEXT K
GOSUB APPROXIM
FOR I = 1 TO 3: E(L, I) = R(I): NEXT I
PRINT USING "+#####.#####"; R(1); R(2); R(3)
NEXT L
PRINT "OPTIMUM SEARCH"
FX = MX: QX = AP%: HX = .5: HMN = .0001
FOR K = 1 TO 2

```

```

DO
QX = QX + HX
FOR L = 1 TO N
X(L) = (E(L, 1) * QX + E(L, 2)) * QX + E(L, 3)
NEXT L
Z = FNG
LL = 0
FOR J = 1 TO M
IF G(J) >= 0 THEN
LL = LL + 1
ELSE
END IF
NEXT J
IF LL = M THEN
Z = FNF
IF F < FX THEN
FX = F
FOR I = 1 TO N: XX(I) = X(I): NEXT I
PRINT "Q="; QX; "F="; FX;
ELSE
END IF
ELSE
QX = QX - HX: HX = HX / 2
END IF
LOOP WHILE ABS(HX) > HMN
HX = -1
NEXT K
F = FX: PRINT
FOR I = 1 TO N
X(I) = XX(I): PRINT "XMIN("; I; ")=";
PRINT USING "#####.#####"; X(I)
NEXT I
PRINT "FMIN=";
PRINT USING "#####.#####"; F;
PRINT " FN="; TT
PRINT "THE PROBLEM IS OVER"

```

```

END
APPROXIM: B(1) = 0: B(2) = 0: B(3) = 0
A(1, 1) = L(4): A(1, 2) = L(3): A(1, 3) = L(2)
A(2, 1) = L(3): A(2, 2) = L(2): A(2, 3) = L(1)
A(3, 1) = L(2): A(3, 2) = L(1): A(3, 3) = 1
FOR K = 1 TO AP%: V2 = K * K
B(3) = B(3) + P(K)
B(2) = B(2) + K * P(K)
B(1) = B(1) + V2 * P(K)
NEXT K
FOR K = 1 TO 3
B(K) = B(K) / AP%
NEXT K
FOR I = 1 TO 2: FOR J = I + 1 TO 3
A(J, I) = -A(J, I) / A(I, I)
FOR K = I + 1 TO 3
A(J, K) = A(J, K) + A(J, I) * A(I, K)
NEXT K
B(J) = B(J) + A(J, I) * B(I)
NEXT J
NEXT I
R(3) = B(3) / A(3, 3)
FOR I = 2 TO 1 STEP -1: V1 = B(I)
FOR J = I + 1 TO 3: V1 = V1 - R(J) * A(I, J): NEXT J
R(I) = V1 / A(I, I)
NEXT I
RETURN
VARIABLE:
FOR I = 1 TO N: X(I) = AX(I) + BBX(I) * RND: NEXT I
RETURN

```

THE RESULTS OF STATISTIC TESTS FOR S= 100

1	4.2830	0.0034	0.0338
2	3.8745	0.0033	0.0338
3	3.4661	0.0033	0.0337
4	3.0576	0.0033	0.0336

5	2.6491	0.0033	0.0336
6	2.2406	0.0032	0.0335
7	1.8321	0.0032	0.0335
8	1.4236	0.0031	0.0333
9	1.0152	0.0030	0.0330
10	0.6067	0.0029	0.0323

THE RESULTS OF APPROXIMATION

-0.00001 +0.00001 +0.00334
 -0.00002 +0.00014 +0.03358

OPTIMUM SEARCH

Q= 10.5 F= .4882856 Q= 11 F= .4434166 Q= 11.125 F=
 .4324487 Q= 11.15625 F=.4297236 Q= 11.17188 F=
 .4283637 Q= 11.17578 F= .428024 Q= 11.17773
 F=4278542 Q= 11.17871 F= .4277693 Q= 11.17896 F=
 .4277481 Q= 11.17908 F=.4277374 Q=-8.820923 F=
 .4266635 Q=-8.852173 F= .4239374 Q=-8.859985
 F=.423257 Q=-8.863892 F= .4229169 Q=-8.86438 F=
 .4228745 Q=-8.864624 F= .4228532

XMIN(1)= 0.002800
 XMIN(2)= 0.030430
 FMIN= 0.422853 FN= 145

THE PROBLEM IS OVER

ფუძისა და საძირკველის პარამეტრების განსაზღვრა
 შემთხვევითი ძებნის მეთოდით (FUDZE)

```
| ' fudzis angariSi Semtxveviti metodit
↑
| CLS
| DIM X(2), G(7), XM(2)
| DIM AL(17), AL1(17), AL2(17), AL3(17), AL4(17), SI(17),
SS(3)
```

```

| OPEN "SIGMA23.BAS" FOR INPUT AS #1
|
| FOR I = 1 TO 17
| INPUT #1, AL1(I), AL2(I), AL3(I), AL4(I)
|
| NEXT I
| CLOSE #1
| OPEN "SIGMABB.BAS" FOR APPEND AS #2
|
| INPUT " gruntis kutri zona-G1"; G1
|
| INPUT " fudzis siganis qveda zgvari-B1"; BQ
|
| INPUT " fudzis siganis zeda zgvari-B2"; BZ
|
| INPUT " chagmavebis qveda zgvari-D1"; DQ
|
| INPUT " chagmavebis zeda zgvari-D2"; DZ
|
| INPUT " fudzis sigrze-L"; LL
|
| INPUT "Seitanet gare zemoqmedebis sidide"; NN
|
| '=====
|
| AA(1) = BQ
| BB(1) = BZ
| AA(2) = DQ
| BB(2) = DZ
| N = 2
| M = 4
| S = 1000
| TT = 0
| HH = 0
| RMIN = 1E+35
| FOR J = 1 TO S

```

```

FOR I = 1 TO N
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND
NEXT I
G(1) = BQ + X(1)
G(2) = BZ - X(1)
G(3) = DQ + X(2)
G(4) = DZ - X(2)
L = 0
FOR K = 1 TO M
  IF G(K) >= 0 THEN
    L = L + 1
  ELSE
    END IF
NEXT K
IF L = M THEN
ETA = LL / X(1)
IF ETA = 1 THEN GOTO 1

IF ETA = 1.4 THEN GOTO 2
IF ETA = 1.8 THEN GOTO 3

IF ETA = 2.4 THEN GOTO 4

  IF ETA > 1 AND ETA < 1.4 THEN GOTO 5
  IF ETA > 1.4 AND ETA < 1.8 THEN GOTO 6
  IF ETA > 1.8 AND ETA < 2.4 THEN GOTO 7

1 : FOR I = 1 TO 17
AL(I) = AL1(I)
NEXT I
GOTO 10
2 : FOR I = 1 TO 17
AL(I) = AL2(I)

```

```

NEXT I
GOTO 10
3 : FOR I = 1 TO 17
AL(I) = AL3(I)
NEXT I
4 : FOR I = 1 TO 17
AL(I) = AL4(I)
NEXT I
GOTO 10
5 : FOR I = 1 TO 17
AL(I) = AL1(I) + (AL2(I) - AL1(I)) / (1.4 - 1) * (ABS(ETA - 1))
NEXT I
GOTO 10
6 : FOR I = 1 TO 17
AL(I) = AL2(I) + (AL3(I) - AL2(I)) / (1.8 - 1.4) * (ABS(ETA -
1.4))
NEXT I
GOTO 10
7 : FOR I = 1 TO 17
AL(I) = AL3(I) + (AL4(I) - AL3(I)) / (2.4 - 1.8) * (ABS(ETA -
1.8))
NEXT I
GOTO 10
10 : SIG0 = G1 * X(2)
AB = X(1) * LL
P = NN / AB
P1 = P - SIG0
FOR I = 1 TO 17
SI(I) = AL(I) * P1
NEXT I
PRINT
PRINT "G1="; G1, "LL="; LL, "NN="; NN, "ETA="; ETA
H1 = .4
E1 = 18000

```



```

K = 1
S = 0
FOR I = 1 TO 5
S = S + (SI(K) + SI(K + 1)) / 2

K = K + 1
NEXT I
SS(1) = S * .8 * H1 / E1
PRINT
PRINT "SS(1)="; SS(1)

H2 = .4
E2 = 17000
S = 0
FOR I = 1 TO 6
S = S + (SI(K) + SI(K + 1)) / 2

K = K + 1
NEXT I
SS(2) = S * .8 * H2 / E2
PRINT "SS(2)="; SS(2)

H3 = .4
E3 = 30000
S = 0
FOR I = 1 TO 5
S = S + (SI(K) + SI(K + 1)) / 2

K = K + 1
NEXT I
SS(3) = S * .8 * H3 / E3
PRINT "SS(3)="; SS(3)

SUM = SS(1) + SS(2) + SS(3)
PRINT

```



```

| PRINT "SUM="; SUM
|
| 'FOR I = 1 TO 17
| 'PRINT #2, AL(I)
| 'NEXT I
| 'END
|   F = SUM
|   IF F < RMIN THEN
|     RMIN = F
|     FOR I = 1 TO N
|       XM(I) = X(I)
|     NEXT I
| PRINT "XM(1)="; XM(1), "XM(2)="; XM(2), "RMIN="; RMIN
|
|   TT = TT + 1
| ELSE
|   END IF
| ELSE
|   HH = HH + 1
| END IF
| NEXT J
| PRINT
| PRINT "XM(1)="; XM(1), "XM(2)="; XM(2), "RMIN=";
| RMIN, "ETA="; LL/XM(1)
| PRINT
| PRINT "TT="; TT, "HH="; HH
|
| END

```

შედეგები:

XM(1)= 2.352774	XM(2)= 1.766712	RMIN=
2.433971E-02		
XM(1)= 2.407245	XM(2)= 1.854519	RMIN=
2.346463E-02		
XM(1)= 2.43131	XM(2)= 1.89524	RMIN=
2.309111E-02		

XM(1)= 2.474778 2.270204E-02	XM(2)= 1.682009	RMIN=
XM(1)= 2.489915 2.248676E-02	XM(2)= 1.700687	RMIN=
XM(1)= 2.498386 2.240545E-02	XM(2)= 1.669903	RMIN=
XM(1)= 2.492687 2.226671E-02	XM(2)= 1.901294	RMIN=
XM(1)= 2.496286 2.220332E-02	XM(2)= 1.919793	RMIN=
XM(1)= 2.495368 2.217303E-02	XM(2)= 1.9657	RMIN=
XM(1)= 2.495368 2.217303E-02	XM(2)= 1.9657	RMIN=
XM(1)= 2.352774 2.433971E-02	XM(2)= 1.766712	RMIN=
XM(1)= 2.407245 2.346463E-02	XM(2)= 1.854519	RMIN=
XM(1)= 2.43131 2.309111E-02	XM(2)= 1.89524	RMIN=
XM(1)= 2.474778 2.270204E-02	XM(2)= 1.682009	RMIN=
XM(1)= 2.489915 2.248676E-02	XM(2)= 1.700687	RMIN=
XM(1)= 2.498386 2.240545E-02	XM(2)= 1.669903	RMIN=
XM(1)= 2.492687 2.226671E-02	XM(2)= 1.901294	RMIN=
XM(1)= 2.496286 2.220332E-02	XM(2)= 1.919793	RMIN=
XM(1)= 2.495368 2.217303E-02	XM(2)= 1.9657	RMIN=

სამღეროვანი წამწის ოპტიმალური პარამეტრების
განგარიშების პროგრამა (wamwe)

```
CLS
DIM AA(3), BB(3), G(14), X(3), XM(3)

S = 10000
FI = 45
TE = 45
A = 10
S1 = 20000
ALFA = 6.28 * FI / 360
TETA = 6.28 * TE / 360

R = SIN(ALFA)
P = COS(ALFA)
Q = SIN(TETA)
V = COS(TETA)
B11 = .5
B12 = 1
B21 = .2
B22 = .5
B31 = .4
B32 = .8
L1 = 20000
L2 = 300000
L3 = 120000
OPEN "SERAREP.BAS" FOR APPEND AS #1

AA(1) = B11
BB(1) = B12
AA(2) = B21
BB(2) = B22
AA(3) = B31
```

```

| BB(3) = B32
| N = 3
| M = 14
| DMIN = 9900000
| FOR j = 1 TO S
|   FOR I = 1 TO N
|     X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND
|
|   NEXT I
|   DET = R ^ 2 * P ^ 4 / A ^ 2 * ((X(1) + X(3)) * (X(1) + X(2) /
R ^ 3 + X(3)) -
|   (X(1) - X(2)) ^ 2)
|   DET1 = (S1 * V * (X(1) * R ^ 2 * P + X(2) * P / R + X(3) * R
^ 2 * P) - S1 *
|   Q * (X(1) * R * P ^ 2 - X(3) * R * P ^ 2)) / A
|
|   DET2 = (S1 * (X(1) + X(3)) * P ^ 3 * Q - S1 * (X(1) - X(3)) *
P ^ 2 * R * Q) / A
|
|   Z1 = DET1 / DET
|   Z2 = DET2 / DET
|   IF DET <> 0 THEN
|     G(1) = X(1) - B11
|     G(2) = B12 - X(1)
|     G(3) = X(2) - B21
|     G(4) = B22 - X(2)
|     G(5) = X(3) - B31
|     G(6) = B32 - X(3)
|     G(7) = L1 - ABS(Z1 + Z2) / (2 * A)
|
|   G(8) = L1 - ABS(Z2) / A
|
|   G(9) = L1 - ABS(Z2 - Z1) / (A * 2)
|
|   G(10) = (Z1 + Z2) / (2 * A) + 3.14 ^ 2 * X(1) * P ^ 2 / (2 * R ^
2)

```

```

| G(11) = Z2 / A - 3.14 ^ 2 * X(2) * P ^ 2 / (A * R ^ 2)
| G(12) = -((Z2 - Z1) / (2 * A) + 3.14 ^ 2 * X(3) * P ^ 2 / (A * R
^ 2))
| G(13) = L2 - ABS(Z1)
| G(14) = L3 - ABS(Z2)
| LL = 0
| FOR K = 1 TO M
|   IF G(K) >= 0 THEN LL = LL + 1
|
| NEXT K
| IF LL = M THEN
|   PSI = A * (X(1) + X(2) * R + X(3)) / P
|
| IF PSI < DMIN THEN
|
|   DMIN = PSI
|   DET0 = DET
|   Z11 = Z1
|   Z22 = Z2
|   FOR I = 1 TO N
|     XM(I) = X(I)
|   NEXT I
|   PRINT #1, "b1="; XM(1); "b2="; XM(2); "b3="; XM(3);
"Fmin="; DMIN
| ELSE
|   C = 5
|   END IF
| END IF
| END IF
| NEXT j
| PRINT #1, "OPTIMUMI"
|
| PRINT #1, "b1="; XM(1); "b2="; XM(2); "b3="; XM(3);
"Fmin="; DMIN
| END

```

ტესტური მაგალითის ამოხსნისას მიღებული შედეგები:

| b1= .9313097 b2= .437144 b3= .5494145 Fmin= 25.30023

| b1= .9809766 b2= .4614337 b3= .4224947 Fmin=

24.45085

| b1= .8475578 b2= .494001 b3= .4975725 Fmin= 23.95152

| b1= .8261883 b2= .4701002 b3= .4926387 Fmin=

23.34087

| b1= .8421259 b2= .4374392 b3= .414176 Fmin= 22.13063

| b1= .8246458 b2= .4298104 b3= .4260634 Fmin=

21.97534

| b1= .8873044 b2= .3602926 b3= .4060631 Fmin=

21.88376

| b1= .8473355 b2= .3956157 b3= .4112552 Fmin=

21.74509

| b1= .8328182 b2= .416217 b3= .4009693 Fmin= 21.60031

| b1= .8222463 b2= .4288194 b3= .4012675 Fmin= 21.581

ოპტიმალური მნიშვნელობები

| b1= .8222463 b2= .4288194 b3= .4012675 Fmin= 21.581

იტერაციული მეთოდით (itera)

| CLS

| DIM FI(21), SY(21), FF(21), H(21), B(21), LAM1(21), J(21),

SI(21), LAM(40)

| OPEN "MONCX1.BAS" FOR INPUT AS #1

|

| FOR I = 1 TO 21

| INPUT #1, LAM(I), FI(I)

| NEXT I

| CLOSE #1

| OPEN "MONCX2.BAS" FOR APPEND AS #2

|

```

P = 20000
L = 200
SC = 1600
MIU = .5
FI = FI(1)
SYC = FI * SC
FOR I = 1 TO 20
SY(I) = FI * SC
FF(I) = P / SYC
H(I) = SQR(2 / 3 * FF(I))
B(I) = 1.5 * H(I)
J(I) = SQR(H(I) ^ 2 / 12)
LAM1 = MIU * L / J(I)
FOR II = 1 TO 40
IF LAM(II) > LAM1 THEN
    K = II - 1
    GOTO 2
ELSE
END IF
1 : NEXT II
2 : N = LAM1 - LAM(K)

| QN = FI(K) - (FI(K) - FI(K + 1)) * N / 10
| PRINT #2, "J(I)=", J(I); "LAM1="; LAM1; "LAM(K)=";
LAM(K); "N="; N; K; II
| PRINT #2, "X1="; FI; "X2="; B(I); "X3="; H(I); "F="; FF(I);
"I="; I
| FI = QN
| SY(I + 1) = QN * SC
| SI(I) = P / FF(I)
| PR = ABS((SY(I + 1) - SI(I))) / SY(I + 1) * 100
| IF ABS(PR) < 5 THEN GOTO 3

```



```

| PRINT #2, "SY(I+1)="; SY(I + 1); " SI(I)= "; SI(I); "PR = ";
PR
| SYC = (SY(I + 1) + SI(I)) / 2
| NEXT I
| 3 : END

```

შედეგები:

```

| J(I)= .8333334 LAM1= 120 LAM(K)= 110 N= 9.999992 12
13

```

```

| X1= 1 X2= 4.330127 X3= 2.886751 F= 12.5 I= 1

```

```

| SY(I+1)= 720.0001 SI(I)= 1600 PR = 122.2222

```

```

| J(I)= .9787003 LAM1= 102.1763 LAM(K)= 100 N=
2.176323 11 12

```

```

| X1= .45 X2= 5.085476 X3= 3.390317 F= 17.24138 I= 2

```

```

| SY(I+1)= 932.1431 SI(I)= 1160 PR = 24.44441

```

```

| J(I)= 1.030619 LAM1= 97.02909 LAM(K)= 90 N= 7.029091
10 11

```

```

| X1= .5825894 X2= 5.355252 X3= 3.570168 F= 19.11915 I=
3

```

```

| SY(I+1)= 1002.781 SI(I)= 1046.072 PR = 4.317034

```

```

| J(I)= 1.04145 LAM1= 96.01998 LAM(K)= 90 N= 6.019981
10 11

```

```

| X1= .6267382 X2= 5.411532 X3= 3.607688 F= 19.52312 I=
4

```

```

| SY(I+1)= 1017.312 SI(I)= 1024.426 PR = .699289

```

```

| J(I)= 1.043263 LAM1= 95.85313 LAM(K)= 90 N= 5.853134
10 11

```

```

| X1= .6358202 X2= 5.420952 X3= 3.613968 F= 19.59115 I=
5

```

```

| SY(I+1)= 1019.715 SI(I)= 1020.869 PR = .11321

```

```

| J(I)= 1.043558 LAM1= 95.82603 LAM(K)= 90 N= 5.826035
10 11
| X1= .6373218 X2= 5.422485 X3= 3.61499 F= 19.60223 I=
6
| SY(I+1)= 1020.105 SI(I)= 1020.292 PR = 1.832661E-02
↓
| J(I)= 1.043606 LAM1= 95.82164 LAM(K)= 90 N= 5.82164
10 11
| X1= .6375657 X2= 5.422733 X3= 3.615156 F= 19.60403 I=
7
| SY(I+1)= 1020.168 SI(I)= 1020.199 PR = 2.955528E-03
|
| J(I)= 1.043613 LAM1= 95.82093 LAM(K)= 90 N= 5.82093
10 11
| X1= .6376052 X2= 5.422773 X3= 3.615182 F= 19.60432 I=
8
| SY(I+1)= 1020.179 SI(I)= 1020.183 PR = 4.786233E-04
| J(I)= 1.043615 LAM1= 95.82081 LAM(K)= 90 N= 5.820808
10 11
| X1= .6376116 X2= 5.422781 X3= 3.615187 F= 19.60436 I=
9
| SY(I+1)= 1020.18 SI(I)= 1020.181 PR = 5.384503E-05
|
| J(I)= 1.043615 LAM1= 95.8208 LAM(K)= 90 N= 5.820801
10 11
| X1= .6376128 X2= 5.422781 X3= 3.615187 F= 19.60437 I=
10
| SY(I+1)= 1020.181 SI(I)= 1020.181 PR = 1.794834E-05
|
| J(I)= 1.043615 LAM1= 95.8208 LAM(K)= 90 N= 5.820801
10 11
| X1= .6376128 X2= 5.422781 X3= 3.615187 F= 19.60437 I=
11

```

მათკუთხა კოლონის ოპტიმალური კვეთის
გაანგარიშება, როდესაც
ღეროს მოქნილობა(ლამბდა) გამოითვლება
მიახლოებით და შეზღუდვების გარეშე (kolona1)

```
CLS
DIM X(2), G(5), XM(2), LAM(21), FI(21)

OPEN "MONCX1.BAS" FOR INPUT AS #2

FOR I = 1 TO 21
INPUT #2, LAM(I), FI(I)
NEXT I
CLOSE #2
LK = 200
MIU = .5
P = 20000
SIGM = 1600
L1 = .1
L2 = 1
L3 = 4.1
L4 = 6.15
OPEN "KOLKOL.BAS" FOR APPEND AS #1

AA(1) = L1
BB(1) = L2
AA(2) = L3
BB(2) = L4
N = 2
M = 5
S = 10000000
SP = 2200
MA = 1.35
```

```

TT = 0
HH = 0
DMIN = 9900000
FOR J = 1 TO S
FOR I = 1 TO N
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND
NEXT I
G(1) = X(1) - L1
G(2) = L2 - X(1)
G(3) = X(2) - L3
G(4) = L4 - X(2)
G(5) = -MA + SP / (X(1) * SIGM)

LL = 0
FOR K = 1 TO M
IF G(K) >= 0 THEN
LL = LL + 1
ELSE
END IF
NEXT K
IF LL = M THEN
SIG = P / (X(1) * X(2) * 2 / 3 * X(2))

DELTA = ABS(SIG - SIGM)

H = 2 / 3 * X(2)
IF DELTA < DMIN THEN

DMIN = DELTA
FOR I = 1 TO N
XM(I) = X(I)
NEXT I
H = 2 / 3 * XM(2)
F = XM(2) * H

```



```

|   MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)
|
| PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
"DMIN="; DMIN
| FIAN = XM(1)
| FOR II = 1 TO 20
| IF FI(II) < FIAN THEN
| K = II - 1
| GOTO 1
| ELSE
| END IF
| NEXT II
| 1 : NN = FI(K) - FIAN
| QL = LAM(K) + (FI(K) - FIAN) * 10 / (FI(K) - FI(K + 1))
|
| R = MIU * LK / QL
| PRINT #1, "LAM="; QL; "R="; R; "m1="; MA1
|
| ELSE
| END IF
| IF DELTA = 0 THEN
|
| TT = TT + 1
| PRINT #1, TT; "OPTIMUMI"
|
| FOR I = 1 TO N
|   XM(I) = X(I)
| NEXT I
| H = 2 / 3 * XM(2)
| F = XM(2) * H
|   MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)
|
| PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
"DMIN="; DMIN
| FIAN = XM(1)
| FOR II = 1 TO 20

```

```

IF FI(II) < FIAN THEN
K = II - 1
GOTO 2
ELSE
END IF
NEXT II
2 : NN = FI(K) - FIAN
QL = LAM(K) + (FI(K) - FIAN) * 10 / (FI(K) - FI(K + 1))

R = MIU * LK / QL
PRINT #1, "LAM="; QL; "R="; R; "m1="; MA1

PRINT #1, "*****"
ELSE
END IF
ELSE
END IF
NEXT J
HH = S - TT
PRINT #1, "OPTIMUMI"

H = 2 / 3 * XM(2)
F = XM(2) * H
MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)

PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
"DMIN="; DMIN
PRINT #1, "LAM="; QL; "R="; R; "m="; MA; "m1="; MA1

PRINT #1, "S="; S; "TT="; TT; "HH="; HH

END

```

შედეგები:

| X1= .7349927 X2= 5.193519 X3= 3.462346 F= 17.98176
DMIN= 86.73584

| LAM= 82.50121 R= 1.212103 m1= 1.870767
| X1= .5723816 X2= 5.672579 X3= 3.781719 F= 21.4521
DMIN= 28.82532

| LAM= 103.4523 R= .966629 m1= 2.402243

| X1= .6049361 X2= 5.523695 X3= 3.682463 F= 20.34081
DMIN= 25.37048

| LAM= 99.45155 R= 1.005515 m1= 2.272967

| X1= .7101529 X2= 5.130031 X3= 3.42002 F= 17.54481
DMIN= 5.201172

| LAM= 86.64118 R= 1.154186 m1= 1.936203

| X1= .6913494 X2= 5.215229 X3= 3.476819 F= 18.13241
DMIN= 4.572998

| LAM= 89.77509 R= 1.113895 m1= 1.988864

| X1= .9091907 X2= 4.546197 X3= 3.030798 F= 13.7786
DMIN= 3.496826

| LAM= 43.60312 R= 2.293414 m1= 1.512334

| X1= .5154034 X2= 6.033152 X3= 4.022101 F= 24.26595
DMIN= .8637695

| LAM= 110.6566 R= .9036963 m1= 2.667813

| X1= .6657258 X2= 5.306742 X3= 3.537828 F= 18.77434
DMIN= .18396

| LAM= 92.69714 R= 1.078782 m1= 2.065415

| X1= .5091758 X2= 6.0682 X3= 4.045467 F= 24.5487
DMIN= 5.065918E-02

| LAM= 111.5463 R= .8964886 m1= 2.700443

| X1= .7412459 X2= 5.029421 X3= 3.352947 F= 16.86339
DMIN= 1.086426E-02

| LAM= 81.45902 R= 1.227611 m1= 1.854985

| X1= .7305082 X2= 5.066259 X3= 3.377506 F= 17.11132
DMIN= 4.882813E-03

| LAM= 83.24863 R= 1.201221 m1= 1.882251

| X1= .5394904 X2= 5.895333 X3= 3.930222 F= 23.16997
DMIN= 3.051758E-03

| LAM= 107.5637 R= .9296817 m1= 2.548702

| X1= .6598497 X2= 5.33063 X3= 3.553753 F= 18.94374
DMIN= 2.929688E-03

| LAM= 93.35004 R= 1.071237 m1= 2.083808

| X1= .6464754 X2= 5.385485 X3= 3.590323 F= 19.33563
DMIN= 1.464844E-03

| LAM= 94.83607 R= 1.054451 m1= 2.126918

| X1= .8674606 X2= 4.649174 X3= 3.099449 F= 14.40988
DMIN= 4.882813E-04

| LAM= 57.51313 R= 1.738733 m1= 1.585086

| X1= .9990742 X2= 4.332133 X3= 2.888089 F= 12.51159
DMIN= 2.441406E-04

| LAM= .9258398 R= 108.01 m1= 1.376274

| X1= .788842 X2= 4.875348 X3= 3.250232 F= 15.84601
DMIN= 0

| LAM= 73.52634 R= 1.360057 m1= 1.743061

| 1 OPTIMUMI

| X1= .788842 X2= 4.875348 X3= 3.250232 F= 15.84601
DMIN= 0


```

| LAM= 73.52634 R= 1.360057 m1= 1.743061
| *****
| 2 OPTIMUMI
| X1= .5478727 X2= 5.850067 X3= 3.900044 F= 22.81552
| DMIN= 0
| LAM= 106.5159 R= .9388269 m1= 2.509707
| *****
| OPTIMUMI
| X1= .5478727 X2= 5.850067 X3= 3.900044 F= 22.81552
| DMIN= 0
| LAM= 106.5159 R= .9388269 m= 1.35 m1= 2.509707
| S= 1E+07 TT= 2 HH= 9999998

```

მართკუთხა კოლონის ოპტიმალური კვეთის
განგარიშება
როდესაც ღეროს მოქნილობა (ლამბდა) იანგარიშება
ზუსტი ფორმულით და შეზღუდვების გარეშე (**kolona2**)

```

| CLS
| DIM X(2), G(5), XM(2)
| LK = 200
| MIU = .5
| P = 20000
| SIGM = 1600
| L1 = .1
| L2 = 1
| L3 = 4.1
| L4 = 6.15
| OPEN "KOLKOL2.BAS" FOR APPEND AS #1

```

```

AA(1) = L1
BB(1) = L2
AA(2) = L3
BB(2) = L4
N = 2
M = 5
S = 10000000
SP = 2200
MA = 1.35
TT = 0
HH = 0
DMIN = 9900000
FOR J = 1 TO S
FOR I = 1 TO N
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND
NEXT I
G(1) = X(1) - L1
G(2) = L2 - X(1)
G(3) = X(2) - L3
G(4) = L4 - X(2)
G(5) = -MA + SP / (X(1) * SIGM)

LL = 0
FOR K = 1 TO M
IF G(K) >= 0 THEN
LL = LL + 1
ELSE
END IF
NEXT K
IF LL = M THEN
SIG = P / (X(1) * X(2) * 2 / 3 * X(2))

DELTA = ABS(SIG - SIGM)

```



```

IF DELTA < DMIN THEN
    DMIN = DELTA
    FOR I = 1 TO N
        XM(I) = X(I)
    NEXT I
    H = 2 / 3 * XM(2)
    F = XM(2) * H
    MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)

PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
"DMIN="; DMIN
RJ = SQR((2 * X(2) / 3) ^ 2 / 12)

QL = MIU * LK / RJ
PRINT #1, "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ

ELSE
    END IF
    IF DELTA = 0 THEN

        TT = TT + 1
        PRINT #1, TT; "OPTIMUMI"

        FOR I = 1 TO N
            XM(I) = X(I)
        NEXT I
        H = 2 / 3 * XM(2)
        F = XM(2) * H
        MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)

        RJ = SQR((2 * X(2) / 3) ^ 2 / 12)

        QL = MIU * LK / RJ
        PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
        "DMIN="; DMIN

```

```

| PRINT #1, "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ
| PRINT #1, "*****"
| ELSE
| END IF
| ELSE
| END IF
| NEXT J
| HH = S - TT
| PRINT #1, "OPTIMUMI"
|
| H = 2 / 3 * XM(2)
| F = XM(2) * H
| MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)
|
| 'RJ = SQR((2 * X(2) / 3) ^ 2 / 12)
|
| 'QL = MIU * LK / RJ
| PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
↑
| "DMIN="; DMIN
| PRINT #1, "m="; MA; "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ
|
| PRINT #1, "S="; S; "TT="; TT; "HH="; HH

```

შედეგები:

```

| X1= .7349927 X2= 5.193519 X3= 3.462346 F= 17.98176
| DMIN= 86.73584
| m1= 1.870767 LAM= 100.0507 RJ= .9994932
| X1= .5723816 X2= 5.672579 X3= 3.781719 F= 21.4521
| DMIN= 28.82532
| m1= 2.402243 LAM= 91.60124 RJ= 1.091688
|
| X1= .6049361 X2= 5.523695 X3= 3.682463 F= 20.34081
| DMIN= 25.37048

```

| m1= 2.272967 LAM= 94.07023 RJ= 1.063036

| X1= .7101529 X2= 5.130031 X3= 3.42002 F= 17.54481
DMIN= 5.201172

| m1= 1.936203 LAM= 101.2889 RJ= .9872749

| X1= .6913494 X2= 5.215229 X3= 3.476819 F= 18.13241
DMIN= 4.572998

| m1= 1.988864 LAM= 99.63422 RJ= 1.003671

| X1= .9091907 X2= 4.546197 X3= 3.030798 F= 13.7786
DMIN= 3.496826

| m1= 1.512334 LAM= 114.2967 RJ= .874916

| X1= .5154034 X2= 6.033152 X3= 4.022101 F= 24.26595
DMIN= .8637695

| m1= 2.667813 LAM= 86.12666 RJ= 1.161081

| X1= .6657258 X2= 5.306742 X3= 3.537828 F= 18.77434
DMIN= .18396

| m1= 2.065415 LAM= 97.91605 RJ= 1.021283

| X1= .5091758 X2= 6.0682 X3= 4.045467 F= 24.5487
DMIN= 5.065918E-02

| m1= 2.700443 LAM= 85.62922 RJ= 1.167826

| X1= .7412459 X2= 5.029421 X3= 3.352947 F= 16.86339
DMIN= 1.086426E-02

| m1= 1.854985 LAM= 103.3151 RJ= .9679126

| X1= .7305082 X2= 5.066259 X3= 3.377506 F= 17.11132
DMIN= 4.882813E-03

| m1= 1.882251 LAM= 102.5639 RJ= .9750021

| X1= .5394904 X2= 5.895333 X3= 3.930222 F= 23.16997
DMIN= 3.051758E-03

| m1= 2.548702 LAM= 88.1401 RJ= 1.134557

| X1= .6598497 X2= 5.33063 X3= 3.553753 F= 18.94374
DMIN= 2.929688E-03

| m1= 2.083808 LAM= 97.47726 RJ= 1.02588

| X1= .6464754 X2= 5.385485 X3= 3.590323 F= 19.33563
DMIN= 1.464844E-03

| m1= 2.126918 LAM= 96.48438 RJ= 1.036437

| X1= .8674606 X2= 4.649174 X3= 3.099449 F= 14.40988
DMIN= 4.882813E-04

| m1= 1.585086 LAM= 111.7651 RJ= .894734

| X1= .9990742 X2= 4.332133 X3= 2.888089 F= 12.51159
DMIN= 2.441406E-04

| m1= 1.376274 LAM= 119.9444 RJ= .8337194

| X1= .788842 X2= 4.875348 X3= 3.250232 F= 15.84601
DMIN= 0

| m1= 1.743061 LAM= 106.5801 RJ= .9382612

| 1 OPTIMUMI

| X1= .788842 X2= 4.875348 X3= 3.250232 F= 15.84601
DMIN= 0

| m1= 1.743061 LAM= 106.5801 RJ= .9382612

| *****

| 2 OPTIMUMI

| X1= .5478727 X2= 5.850067 X3= 3.900044 F= 22.81552
DMIN= 0

| m1= 2.509707 LAM= 88.82211 RJ= 1.125846

| *****

| OPTIMUMI



| X1= .5478727 X2= 5.850067 X3= 3.900044 F= 22.81552
DMIN= 0

| m= 1.35 m1= 2.509707 LAM= 88.82211 RJ= 1.125846

| S= 1E+07 TT= 2 HH= 9999998

მართკუთხა კოლონის ოპტიმალური კვეთის
გაანგარიშება
დეროს მოქნილობა (ლამბდას) მიახლოებით
ფორმულით
გამოთვლისას და შეზღუდვებით (კოლონა3)

```
| CLS  
| DIM X(2), G(7), XM(2), LAM(21), FI(21)  
| OPEN "MONCX1.BAS" FOR INPUT AS #2  
| FOR I = 1 TO 21  
| INPUT #2, LAM(I), FI(I)  
| NEXT I  
| CLOSE #2  
| LK = 200  
| MIU = .5  
| P = 20000  
| SIGM = 1600  
| L1 = .1  
| L2 = 1  
| L3 = 4.1  
| L4 = 6.15  
| LAM1 = 93  
| LAM2 = 96
```

```
OPEN "KOLKOL6.BAS" FOR APPEND AS #1
```

```
AA(1) = L1
```

```
BB(1) = L2
```

```
AA(2) = L3
```

```
BB(2) = L4
```

```
N = 2
```

```
M = 7
```

```
S = 10000000
```

```
SP = 2200
```

```
MA = 1.35
```

```
TT = 0
```

```
HH = 0
```

```
DMIN = 9900000
```

```
FOR J = 1 TO S
```

```
FOR I = 1 TO N
```

```
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND
```

```
NEXT I
```

```
G(1) = X(1) - L1
```

```
G(2) = L2 - X(1)
```

```
G(3) = X(2) - L3
```

```
G(4) = L4 - X(2)
```

```
G(5) = -MA + SP / (X(1) * SIGM)
```

```
FIAN = X(1)
```

```
FOR II = 1 TO 20
```

```
IF FI(II) < FIAN THEN
```

```
K = II - 1
```

```
GOTO 3
```

```
ELSE
```

```
END IF
```

```
NEXT II
```

```
3 : NN = FI(K) - FIAN
```

```
QL = LAM(K) + (FI(K) - FIAN) * 10 / (FI(K) - FI(K + 1))
```



```

G(6) = LAM2 - QL
G(7) = QL - LAM1

LL = 0
FOR K = 1 TO M
  IF G(K) >= 0 THEN
    LL = LL + 1
  ELSE
    END IF
NEXT K
IF LL = M THEN
  SIG = P / (X(1) * X(2) * 2 / 3 * X(2))

  DELTA = ABS(SIG - SIGM)

  H = 2 / 3 * X(2)
  IF DELTA < DMIN THEN

    DMIN = DELTA
    FOR I = 1 TO N
      XM(I) = X(I)
    NEXT I
    H = 2 / 3 * XM(2)
    F = XM(2) * H
    MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)

  PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
  "DMIN="; DMIN
  FIAN = XM(1)
  FOR II = 1 TO 20
    IF FI(II) < FIAN THEN
      K = II - 1
      GOTO 1
    ELSE
      END IF
  NEXT II

```

```

1 : NN = FI(K) - FIAN
QL = LAM(K) + (FI(K) - FIAN) * 10 / (FI(K) - FI(K + 1))
RJ = MIU * LK / QL
PRINT #1, "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ
ELSE
  END IF
  IF DELTA < .0015 THEN
    TT = TT + 1
    PRINT #1, TT; "OPTIMUMI"
    FOR I = 1 TO N
      XM(I) = X(I)
    NEXT I
    H = 2 / 3 * XM(2)
    F = XM(2) * H
    MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)
    PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
    "DMIN="; DMIN
    FIAN = XM(1)
    FOR II = 1 TO 20
      IF FI(II) < FIAN THEN
        K = II - 1
        GOTO 4
      ELSE
        END IF
    NEXT II
4 : NN = FI(K) - FIAN
QL = LAM(K) + (FI(K) - FIAN) * 10 / (FI(K) - FI(K + 1))
RJ = MIU * LK / QL
PRINT #1, "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ

```

```

PRINT #1, "*****"
ELSE
  END IF
ELSE
  END IF
NEXT J
HH = S - TT
PRINT #1, "OPTIMUM!"

H = 2 / 3 * XM(2)
F = XM(2) * H
MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)

FIAN = XM(1)
FOR II = 1 TO 20
  IF FI(II) < FIAN THEN
    K = II - 1
    GOTO 5
  ELSE
    END IF
NEXT II
5 : NN = FI(K) - FIAN
QL = LAM(K) + (FI(K) - FIAN) * 10 / (FI(K) - FI(K + 1))

RJ = MIU * LK / QL
PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
"DMIN="; DMIN
PRINT #1, "m="; MA; "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ

PRINT #1, "S="; S; "TT="; TT; "HH="; HH

END

```

შედეგები:

| X1= .660427 X2= 5.428033 X3= 3.618689 F= 19.64236
DMIN= 58.25903

| m1= 2.081986 LAM= 93.28589 RJ= 1.071973
| X1= .6404388 X2= 5.324386 X3= 3.54959 F= 18.89939
DMIN= 52.35974

| m1= 2.146966 LAM= 95.50681 RJ= 1.047046

| X1= .6411217 X2= 5.379027 X3= 3.586018 F= 19.28929
DMIN= 17.23584

| m1= 2.144679 LAM= 95.43092 RJ= 1.047878

| X1= .6512365 X2= 5.363211 X3= 3.575474 F= 19.17602
DMIN= 1.521362

| m1= 2.111368 LAM= 94.30706 RJ= 1.060366

| X1= .6566857 X2= 5.343492 X3= 3.562328 F= 19.03527
DMIN= 2.429199E-02

| m1= 2.093848 LAM= 93.70159 RJ= 1.067218

| X1= .6598497 X2= 5.33063 X3= 3.553753 F= 18.94374
DMIN= 2.929688E-03

| m1= 2.083808 LAM= 93.35004 RJ= 1.071237

| X1= .6464754 X2= 5.385485 X3= 3.590323 F= 19.33563
DMIN= 1.464844E-03

| m1= 2.126918 LAM= 94.83607 RJ= 1.054451

| 1 OPTIMUMI
| X1= .6464754 X2= 5.385485 X3= 3.590323 F= 19.33563
DMIN= 1.464844E-03

| m1= 2.126918 LAM= 94.83607 RJ= 1.054451

| *****
| 2 OPTIMUMI
| X1= .6464754 X2= 5.385485 X3= 3.590323 F= 19.33563
DMIN= 1.464844E-03

m1= 2.126918 LAM= 94.83607 RJ= 1.054451

OPTIMUM!

X1= .6464754 X2= 5.385485 X3= 3.590323 F= 19.33563
DMIN= 1.464844E-03

m= 1.35 m1= 2.126918 LAM= 94.83607 RJ= 1.054451

S= 1E+07 TT= 2 HH= 9999998

მართკუთხა კოლონის ოპტიმალური კვეთის
განგარიშება, როდესაც
ღეროს მოქნილობა (ლამბდა) იანგარიშება ზუსტი
ფორმულით და შეზღუდვების გათვალისწინებით
(kolona4)

CLS

DIM X(2), G(7), XM(2)

LK = 200

MIU = .5

P = 20000

SIGM = 1600

L1 = .1

L2 = 1

L3 = 4.1

L4 = 6.15

LAM1 = 93

LAM2 = 96

OPEN "KOLKOL7.BAS" FOR APPEND AS #1

AA(1) = L1

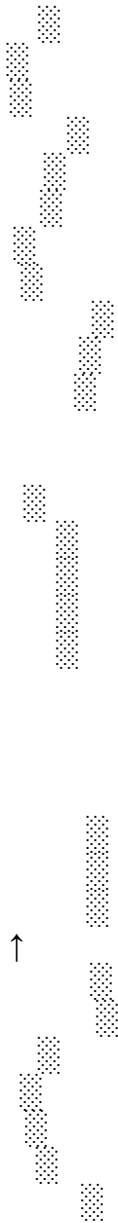
BB(1) = L2

AA(2) = L3

```

BB(2) = L4
N = 2
M = 7
S = 10000000
SP = 2200
MA = 1.35
TT = 0
HH = 0
DMIN = 9900000
FOR J = 1 TO S
FOR I = 1 TO N
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND
NEXT I
G(1) = X(1) - L1
G(2) = L2 - X(1)
G(3) = X(2) - L3
G(4) = L4 - X(2)
G(5) = -MA + SP / (X(1) * SIGM)
RJ = SQR((X(2) * 2 / 3) ^ 2 / 12)
QL = MIU * LK / RJ
G(6) = LAM2 - QL
G(7) = QL - LAM1
LL = 0
FOR K = 1 TO M
IF G(K) >= 0 THEN
LL = LL + 1
ELSE
END IF
NEXT K
IF LL = M THEN
SIG = P / (X(1) * X(2) * 2 / 3 * X(2))

```



```

DELTA = ABS(SIG - SIGM)
H = 2 / 3 * X(2)
IF DELTA < DMIN THEN

    DMIN = DELTA
    FOR I = 1 TO N
        XM(I) = X(I)
    NEXT I
    H = 2 / 3 * XM(2)
    F = XM(2) * H
    MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)

    RJ = SQR((XM(2) * 2 / 3) ^ 2 / 12)
    QL = MIU * LK / RJ
    PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
"DMIN="; DMIN
    PRINT #1, "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ

ELSE
    END IF
    IF DELTA < .0015 THEN

        TT = TT + 1
        PRINT #1, TT; "OPTIMUMI"

        FOR I = 1 TO N
            XM(I) = X(I)
        NEXT I
        H = 2 / 3 * XM(2)
        F = XM(2) * H
        MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)

        PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
"DMIN="; DMIN

```

```

| RJ = SQR((X(2) * 2 / 3) ^ 2 / 12)
|
| QL = MIU * LK / RJ
| PRINT #1, "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ
|
| PRINT #1, "*****"
| ELSE
| END IF
| ELSE
| END IF
| NEXT J
| HH = S - TT
| PRINT #1, "OPTIMUMI"
|
| H = 2 / 3 * XM(2)
| F = XM(2) * H
| MA1 = SP / (XM(1) * SIGM)
|
| RJ = SQR((XM(2) * 2 / 3) ^ 2 / 12)
|
| QL = MIU * LK / RJ
| PRINT #1, "X1="; XM(1); "X2="; XM(2); "X3="; H; "F="; F;
"DMIN="; DMIN
| PRINT #1, "m="; MA; "m1="; MA1; "LAM="; QL; "RJ="; RJ
|
| PRINT #1, "S="; S; "TT="; TT; "HH="; HH
|
| END

```

შედეგები:

```

| X1= .833041 X2= 5.553528 X3= 3.702352 F= 20.56111
| DMIN= 432.3385
| m1= 1.650579 LAM= 93.56489 RJ= 1.068777

```


| X1= .660427 X2= 5.428033 X3= 3.618689 F= 19.64236
DMIN= 58.25903

| m1= 2.081986 LAM= 95.72808 RJ= 1.044626

| X1= .6049361 X2= 5.523695 X3= 3.682463 F= 20.34081
DMIN= 25.37048

| m1= 2.272967 LAM= 94.07023 RJ= 1.063036

| X1= .6194906 X2= 5.490804 X3= 3.660536 F= 20.09928
DMIN= 6.255737

| m1= 2.219565 LAM= 94.63373 RJ= 1.056706

| X1= .6278929 X2= 5.456161 X3= 3.63744 F= 19.84646
DMIN= 4.949585

| m1= 2.189864 LAM= 95.2346 RJ= 1.050039

| X1= .6227601 X2= 5.478972 X3= 3.652648 F= 20.01276
DMIN= 4.730957

| m1= 2.207913 LAM= 94.83809 RJ= 1.054429

| X1= .6325184 X2= 5.438817 X3= 3.625878 F= 19.72048
DMIN= 3.390381

| m1= 2.17385 LAM= 95.53829 RJ= 1.046701

| X1= .6323828 X2= 5.443747 X3= 3.629165 F= 19.75625
DMIN= .8304443

| m1= 2.174316 LAM= 95.45176 RJ= 1.04765

| X1= .6077284 X2= 5.555163 X3= 3.703442 F= 20.57323
DMIN= .3753662

| m1= 2.262524 LAM= 93.53735 RJ= 1.069092

| X1= .6370887 X2= 5.425104 X3= 3.616736 F= 19.62117
DMIN= 5.419922E-02

| m1= 2.158255 LAM= 95.77979 RJ= 1.044062

| X1= .6206809 X2= 5.496184 X3= 3.664123 F= 20.13869
DMIN= 3.833008E-02

| m1= 2.215309 LAM= 94.5411 RJ= 1.057741

| X1= .6063724 X2= 5.560676 X3= 3.707117 F= 20.61408
DMIN= .0246582

| m1= 2.267584 LAM= 93.44461 RJ= 1.070153

| X1= .6124895 X2= 5.532889 X3= 3.688593 F= 20.40858
DMIN= 5.004883E-03

| m1= 2.244936 LAM= 93.91391 RJ= 1.064805

| X1= .6366367 X2= 5.426941 X3= 3.617961 F= 19.63446
DMIN= 2.075195E-03

| m1= 2.159788 LAM= 95.74736 RJ= 1.044415

| OPTIMUMI

| X1= .6366367 X2= 5.426941 X3= 3.617961 F= 19.63446
DMIN= 2.075195E-03

| m= 1.35 m1= 2.159788 LAM= 95.74736 RJ= 1.044415

| S= 1E+07 TT= 0 HH= 1E+07

პარამეტრების გაანგარიშების პროგრამა (orte)

```
' ortesebri kochis optimaluri parametrebis gaangariSeba
CLS
DIM AA(4), BB(4), G(14), X(4), XM(4)

S = 3000000
T1 = 10
T2 = 12
h1 = 1032
H2 = 1650 - 300 - 8
K11 = .2
K12 = .5
K21 = 2
K22 = 3
R0 = .00785
MM = 275400
C = 1
SY = 23
R = 23
E = 2.06 * 10 ^ 4
OPEN "ORTEREP.BAS" FOR APPEND AS #1

AA(1) = T1
BB(1) = T2
AA(2) = h1
BB(2) = H2
AA(3) = K11
BB(3) = K12
AA(4) = K21
BB(4) = K22
DD1 = 125
DD2 = 150
N = 4
M = 13
```

```

DMIN = 9900000
FOR j = 1 TO S
  FOR I = 1 TO N
    X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND
  NEXT I
  G(1) = X(1) - T1
  G(2) = T2 - X(1)
  G(3) = X(2) - h1
  QQ = 6 * MM / (X(1) / 10 * (X(2) / 10) ^ 2 * (1 + 6 * X(3) *
X(4)))
  G(5) = SY - QQ
  G(6) = X(3) - K11
  G(7) = K12 - X(3)
  G(8) = X(4) - K21
  G(9) = K22 - X(4)
  dd = X(2) / X(1)
  G(12) = 1.54 * E * (X(4) / X(3)) ^ 2 * (X(1) / X(2)) ^ 2 - SY
  G(13) = 21.7 * E * (X(1) / X(2)) ^ 2 - SY
  G(4) = H2 - 2 * X(4) * X(1) - X(2)
  dd = (X(2) + 2 * X(4) * X(1)) / X(1)
  G(10) = dd - DD1
  II = 0
  FOR k = 1 TO M
    IF G(k) >= 0 THEN II = II + 1
  NEXT k
  IF II = M THEN
    PSI = (2 * X(3) * X(4) * X(1) * X(2) + X(1) * X(2)) * R0
  IF PSI < DMIN THEN

```

```

DMIN = PSI
FOR I = 1 TO N
  XM(I) = X(I)
NEXT I
k1h = X(3) * X(2)
k2t = X(4) * X(1)
Q = (2 * k1h * k2t + X(1) * X(2)) * R0

GIB = (X(2) + 2 * X(4) * X(1)) / X(1)

Lam = (X(2) / X(1)) * SQR(R / E)

SLF = 1.54 * E * (X(4) / X(3)) ^ 2 * (X(1) / X(2)) ^ 2

SLW = 21.7 * E * (X(1) / X(2)) ^ 2

QQ = 6 * MM / (X(1) / 10 * (X(2) / 10) ^ 2 * (1 + 6 * X(3) *
X(4)))
SA = QQ
PRINT #1, "t="; XM(1); "h="; XM(2); "gmin="; DMIN; "k1h=";
k1h; "k2t="; k2t;
"GIB="; GIB; "k1="; X(3); "k2="; X(4); "k1k2="; X(3) * X(4);
"Sa="; QQ;
"Slf="; SLF; "Slw="; SLW

k1 = X(3)
k2 = X(4)
h = X(2)
t = X(1)
Lam = (X(2) / X(1)) * SQR(R / E)
kk = k1 * k2
GIB = (X(2) + 2 * X(4) * X(1)) / X(1)

SLF = 1.54 * E * (X(4) / X(3)) ^ 2 * (X(1) / X(2)) ^ 2

```

```

| SLW = 21.7 * E * (X(1) / X(2)) ^ 2
| ELSE
|   C = 5
|   END IF
| END IF
| NEXT j
| PRINT #1, "OPTIMUMI"
| PRINT #1, "t="; XM(1); "h="; XM(2); "gmin="; DMIN; "k1h=";
k1h; "k2t=";
| k2t; "GIB="; GIB; "k1="; k1; "k2="; k2; "k1k2="; kk; "Sa=";
SA; "Slf=";
| SLF; "Slw="; SLW
| END

```

შედეგები:

$1032 \leq H \leq 1500$, $0,2 \leq k_1 \leq 0,25$; $2 \leq k_2 \leq 3$
1 t= 10.6039 h= 1394.578 gmin= 244.7267 k1h= 279.8931
k2t= 29.27443 ↑
GIB= 137.0371 k1= .2007009 k2= 2.760724 k1k2= .5540797
Sa= 18.52807
Slf= 347.0406 Slw= 25.84473 SA2= 18.11225 W= 15205.18
lxx= 1104753
F1= 1 ly= 10698.28 lk= 0 lx= 1070365

2 t= 10.04526 h= 1286.293 gmin= 222.6163 k1h= 316.1813
k2t= 24.4126
GIB= 132.9103 k1= .2458082 k2= 2.430261 k1k2= .5973781
Sa= 21.68724
Slf= 189.1227 Slw= 27.26274 SA2= 21.22661 W= 12974.28
lxx= 866109.7
F1= 1 ly= 12860.9 lk= 0 lx= 841257.9

3 t= 10.51453 h= 1326.256 gmin= 216.6817 k1h= 301.1974
k2t= 22.67252
GIB= 130.4481 k1= .2271035 k2= 2.156302 k1k2= .4897038
Sa= 22.68664
Slf= 179.7567 Slw= 28.09652 SA2= 22.30492 W= 12347.05
lxx= 846761.4
F1= 1 ly= 10325.28 lk= 0 lx= 825759.2

4 t= 10.28991 h= 1387.741 gmin= 214.3266 k1h= 295.9105
k2t= 22.00503
GIB= 139.1413 k1= .2132318 k2= 2.138506 k1k2= .4559976
Sa= 22.31938
Slf= 175.4329 Slw= 24.57724 SA2= 21.9896 W= 12524.1
lxx= 896569.8
F1= 1 ly= 9502.8 lk= 0 lx= 876265

5 t= 10.07226 h= 1363.882 gmin= 212.032 k1h= 276.1793
k2t= 24.0298
GIB= 140.1811 k1= .202495 k2= 2.38574 k1k2= .4831005
Sa= 22.62171
Slf= 240.163 Slw= 24.37966 SA2= 22.23334 W= 12386.8
lxx= 874472.2
F1= 1 ly= 8436.698 lk= 0 lx= 852210.9

6 t= 10.05719 h= 1392.063 gmin= 208.3459 k1h= 296.2631
k2t= 21.16471
GIB= 142.6236 k1= .2128231 k2= 2.104437 k1k2= .4478728
Sa= 22.99429
Slf= 161.9041 Slw= 23.33256 SA2= 22.6733 W= 12146.45
lxx= 871138.4
F1= 1 ly= 9172.627 lk= 0 lx= 852289.9

7 t= 10.10707 h= 1407.887 gmin= 208.04 k1h= 287.1454
k2t= 21.36949
GIB= 143.5258 k1= .2039549 k2= 2.11431 k1k2= .4312239
Sa= 22.99224
Slf= 175.7002 Slw= 23.03787 SA2= 22.68192 W= 12141.83
lxx= 880662.4
F1= 1 ly= 8432.347 lk= 0 lx= 861827.8

8 t= 10.00631 h= 1394.761 gmin= 207.8776 k1h= 292.9582
k2t= 21.37647
GIB= 143.6608 k1= .2100419 k2= 2.1363 k1k2= .4487125
Sa= 22.99048
Slf= 168.9075 Slw= 23.0078 SA2= 22.66644 W= 12150.12
lxx= 873298.3
F1= 1 ly= 8957.803 lk= 0 lx= 854245.3

OPTIMUMI

t= 10.00631 h= 1394.761 gmin= 207.8776 k1h= 292.9582
k2t= 21.37647
GIB= 143.6608 k1= .2100419 k2= 2.1363 k1k2= .4487125
Sa= 22.6644
Slf= 168.9075 Slw= 23.0078 SA2= 22.66644 W= 12150.12
lxx= 873298.3
F1= 1 ly= 8957.803 lk= 0 lx= 854245.3

შემოწმების პროგრამა

```
' Belenia2-s mixedvit Semowmeba
CLS
'sawyisi monacemebi
t = 10.00631
h = 1394.761
k1 = .2100419
k2 = 2.1363
L = 1200
OPEN "BEL2rep.BAS" FOR APPEND AS #2
E = 2.06 * 10 ^ 4
M = 275400
ro = .00785
R = 23
g = ro * h * t * (2 * k1 * k2 + 1)
Sa = 6 * M / (t / 10 * (h / 10) ^ 2 * (1 + 6 * k1 * k2))
Slf = 1.54 * E * (k2 / k1) ^ 2 * (t / h) ^ 2
Slw = 21.7 * E * (t / h) ^ 2
hk = (h + 2 * k2 * t) / 10
ho = (h + k2 * t) / 10
b = k1 * h / 10
d = k2 * t / 10
Ub = .3 * (.41 + .0032 * b / d + (.73 - .016 * b) * b / ho) *
SQR(E / R)
p = SQR(E / R)
PRINT #2, "g="; g; "Sa="; Sa; "Slf="; Slf; "Slw="; Slw;
"Ub="; Ub; "p="; p
tk = t / 10
lk = 1.3 / 3 * (hk * tk ^ 3 + 2 * b * d ^ 3)
ly = 2 * d * b ^ 3 / 12
lx = tk * (hk - 2 * d) ^ 3 / 12 + 2 * (b * d ^ 3 / 12 + b * d * (d /
2 +
```

```

| (hk - 2 * d) / 2) ^ 2)
| alfa = 8 * (L * d / (b * ho)) ^ 2 * (1 + (.5 * ho * tk ^ 3 / (b * d ^
3)))
| ps = 1.6 + .08 * alfa
| Fb = ps * (ly / lx) * (hk / L) * (E / R)
| I = tk * (hk - 2 * d) ^ 3 / 12 + 2 * b * d * (hk / 2) ^ 2
| W = I / (hk / 2)
| sigma = M / (1 * W)
| PRINT #2, "lk="; lk; "ly="; ly; "lx="; lx; "alfa="; alfa; "Fb=";
Fb; "I="; I;
| "W="; W; "sigma="; sigma
END

```

შემოწმების შედეგები:

g= 207.8778 Sa= 22.99046 Slf= 168.9075 Slw= 23.00781
Ub= 5.023407
p= 29.92745 p1= 3.341414E-02
lk= 310.4187 ly= 8957.815 lx= 854246.1 alfa= 3.816662 Fb= 2.143681
I= 873299.1 W= 12150.13 sigma= 22.66642
tamd=-8.111375 -86.68021 keamd=-9.073101 keamd2=
.1532722 RSlw= 32.0731
RSIf= 109.6802

**უბან-უბან მუდმივი კვეთიანი სვეტების
ოპტიმალური
რადიუსებისა და წონის ანგარიშის პროგრამა
(uban-uban1)**

```
CLS  
DIM X(3), G(9), XM(3)
```

```
INPUT " R1-ის ქვედა საზღვარი"; ღ1  
INPUT " R1- ზედა საზღვარი"; ღ1ძ  
INPUT " R2-ის ზედა საზღვარი"; ღ2ძ  
INPUT " R3-ის ზედა საზღვარი"; ღ3ძ  
INPUT " P0 დატვირთვის მნიშვნელობა"; 0
```

=====

```
AA(1) = R1Q  
BB(1) = R1Z  
AA(2) = R1Z  
BB(2) = R2Z  
AA(3) = R2Z  
BB(3) = R3Z  
L1 = 5  
L2 = 3  
L3 = 2.5  
GAMA1 = 2  
GAMA2 = 5  
GAMA3 = 10  
P1= 17  
P2= 20  
P3= 25  
N = 3  
M = 9  
S = 1000  
TT = 0  
HH = 0  
FMIN = 200000  
FOR J = 1 TO S  
FOR I = 1 TO N  
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND  
NEXT I  
G(1) = R1Q + X(1)
```

```

G(2) = R1Z - X(1)
G(3) = R1Z + X(2)
G(4) = R2Z - X(2)
G(5) = R2Z + X(3)
G(6) = R3Z - X(3)
G(7) = -P0 / (3.14 * X(1) ^ 2) - GAMA1 * L1+P1
G(8) = -(P0 + GAMA1 * L1) / (3.14 * X(2) ^ 2) - GAMA2 *
L2+P2
G(9) = -(P0 + GAMA1 * L1 + GAMA2 * L2) / (3.14 * X(3) ^
2) - GAMA3*L3 +P3
' FOR I = 1 TO M
' PRINT G(I)
' NEXT I
L = 0
FOR K = 1 TO M
IF G(K) >= 0 THEN
L = L + 1
ELSE
END IF
NEXT K

IF L = M THEN
F = 3.14 * (X(1) ^ 2 * L1 + X(2) ^ 2 * L2 + X(3) ^ 2 * L3)
IF F < FMIN THEN
FMIN = F
FOR I = 1 TO N
XM(I) = X(I)
NEXT I
PRINT "X1="; XM(1), "X2="; XM(2), "X3="; XM(3), "FMIN=";
FMIN
ELSE
END IF
ELSE
HH = HH + 1
END IF

```

```

NEXT J
PRINT "OPTIMUMI"
PRINT "X1="; XM(1), "X2="; XM(2), "X3="; XM(3),
"FMIN="; FMIN
PRINT
PRINT "TT="; TT, "HH="; HH

END

```

უბან-უბან მუდმივი განიკვეთიანი სვეტების
ოპტიმალური
რადიუსების განსაზღვრა (შედგები)

სხვადასხვა დატვირთვების (**P0**) დროს

R1-ის ქვედა საზღვარი? 0.5

R1-ის ზედა საზღვარი? 1

R2-ის ზედა საზღვარი? 1.5

R3-ის ზედა საზღვარი? 2

P0 დატვირთვის მნიშვნელობა? 5

X1= .8527738 X2= 1.266712 X3= 1.789759 I =
51.67777

X1= .6447812 X2= 1.150974 X3= 1.88737 I =
46.96923

X1= .8545189 X2= 1.022676 X3= 1.707016 I =
44.1904

X1= .8239106 X2= 1.131896 X3= 1.639671 I =
43.83131

X1= .5500261	X2= 1.051511	X3= 1.899442	I =
43.48703			
X1= .6422402	X2= 1.022825	X3= 1.647886	I =
37.64765			
X1= .5369767	X2= 1.052726	X3= 1.665847	I =
36.75067			
X1= .6283145	X2= 1.044948	X3= 1.515475	I =
34.51271			
X1= .5577351	X2= 1.086887	X3= 1.524059	I =
34.24548			
X1= .5786138	X2= 1.050099	X3= 1.525628	I =
33.91497			

ოპტიმალური მნიშვნელობები:

X1= .5786138 X2= 1.050099 X3= 1.525628
 FMIN= 33.91497

R1-ის ქვედა საზღვარი? 0.5

R1-ის ზედა საზღვარი? 1

R2-ის ზედა საზღვარი? 1.5

R3-ის ზედა საზღვარი? 2

P0 დატვირთვის მნიშვნელობა? 15

X1= .8527738	X2= 1.266712	X3= 1.789759	I =
51.67777			

X1= .8574082 X2= 1.266511 X3= 1.780505 I =
51.53804

X1= .8261883 X2= 1.450167 X3= 1.615798 I =
51.02155

X1= .8433622 X2= 1.343561 X3= 1.694618 I =
50.71445

X1= .8335215 X2= 1.331335 X3= 1.60654 I =
47.86484

ოპტიმალური მნიშვნელობები:

X1= .8335215 X2= 1.331335 X3= 1.60654 FMIN=
47.86484

R1-ის ქვედა საზღვარი? 0.5

R1-ის ზედა საზღვარი? 1

R2-ის ზედა საზღვარი? 1.5

R3-ის ზედა საზღვარი? 2

P0 დატვირთვის მნიშვნელობა? 20

X1= .9863645 X2= 1.402134 X3= 1.837413
FMIN= 60.29657

X1= .9749528 X2= 1.423094 X3= 1.720608
FMIN= 57.24057

ოპტიმალური მნიშვნელობები:

X1= .9749528 X2= 1.423094 X3= 1.720608
FMIN= 57.24057

უბან-უბან მულტივ კვეთიანი სვეტების
ოპტიმალური
სიგრძეების და წონის ანგარიშის პროგრამა
(uban-uban2)

```
CLS  
DIM X(3), G(9), XM(3)  
INPUT " L1-ის ქვედა საზღვარი"; L1Q  
INPUT " L1- ის ზედა საზღვარი"; L1Z  
  
INPUT " L2-ის ქვედა საზღვარი"; L2Q  
INPUT " L3-ის ზედა საზღვარი"; L3Q  
INPUT " P0 დატვირთვის მნიშვნელობა"; P0
```

```
=====  
  
AA(1) = L1Q  
BB(1) = L1Z  
AA(2) = L2Q  
BB(2) = L1Q  
AA(3) = L3Q  
BB(3) = L2Q  
R1 = 1  
R2 = 1.5  
R3 = 2  
GAMA1 = 2  
GAMA2 = 5  
GAMA3 = 10  
P1 = 30  
P2 = 50  
P3 = 60  
N = 3  
M = 9  
S = 1000
```



```

TT = 0
HH = 0
FMIN = 200000
FOR J = 1 TO S
FOR I = 1 TO N
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND

NEXT I
G(1) = L1Q + X(1)
G(2) = L1Z - X(1)
G(3) = L2Q + X(2)
G(4) = L1Q - X(2)
G(5) = L3Q + X(3)
G(6) = L2Q - X(3)
G(7) = -P0 / (3.14 * R1 ^ 2) - GAMA * X(1) + P1
G(8) = -(P0 + GAMA * X(1)) / (3.14 * R2 ^ 2) - GAMA * X(2)
+P2
| G(9) = -(P0 + GAMA * X(1) + GAMA * X(2)) / (3.14 * R3 ^
2) - GAMA * X(3) + P3
' FOR I = 1 TO M
| ' PRINT G(I)
' NEXT I
LL = 0
FOR K = 1 TO M
IF G(K) >= 0 THEN
LL = LL + 1
ELSE
END IF
NEXT K
IF LL = M THEN
F = 3.14 * (R1 ^ 2 * X(1) + R2 ^ 2 * X(2) + R3 ^ 2 * X(3))

IF F < FMIN THEN
FMIN = F
FOR I = 1 TO N

```

```

    XM(I) = X(I)
  NEXT I
PRINT "X1="; XM(1), "X2="; XM(2), "X3="; XM(3), "FMIN=";
FMIN
ELSE
  END IF
ELSE
  HH = HH + 1
  END IF
NEXT J
PRINT "OPTIMUMI"

PRINT "X1="; XM(1), "X2="; XM(2), "X3="; XM(3),
"FMIN="; FMIN
PRINT
PRINT "TT="; TT, "HH="; HH

END

```

უბან-უბან მუდმივკვეთიანი სვეტების
 ოპტიმალური
 სიგრძეების განსაზღვრა (შედეგები)

სხვადასხვა დატვირთვების დროს

- L1- ის ქვედა საზღვარი? 3
- L1- ის ზედა საზღვარი? 4
- L2-ის ქვედა საზღვარი? 2
- L3-ის ზედა საზღვარი? 1
- P0 დატვირთვის მნიშვნელობა? 5

X1= 3.705548 X2= 2.533424 X3= 1.579519 FMIN=
 49.37281

X1= 3.289562 X2= 2.301948 X3= 1.77474 FMIN=
48.88323

X1= 3.709038 X2= 2.045353 X3= 1.414033 FMIN=
43.85705

X1= 3.647821 X2= 2.263793 X3= 1.279342 FMIN=
43.5164

X1= 3.28448 X2= 2.045649 X3= 1.295773 FMIN=
41.04069

X1= 3.404834 X2= 2.269732 X3= 1.055593 FMIN=
39.98509

X1= 3.256629 X2= 2.089897 X3= 1.030951 FMIN=
37.93967

სვეტების სიგრძეებისა და წონის ოპტიმალური
მნიშვნელობები:

I

**X1= 3.256629 X2= 2.089897 X3= 1.030951 FMIN=
37.93967**

1- ის ქვედა საზღვარი? 3

1- ის ზედა საზღვარი? 4

2-ის ქვედა საზღვარი? 2

3-ის ზედა საზღვარი? 1

0 დატვირთვის მნიშვნელობა? 20

X1= 3.705548 X2= 2.533424 X3= 1.579519 I = 49.37281

X1= 3.289562 X2= 2.301948 X3= 1.77474 I = 48.88323

X1= 3.709038 X2= 2.045353 X3= 1.414033 I = 43.85705

X1= 3.647821 X2= 2.263793 X3= 1.279342 I = 43.5164

X1= 3.28448 X2= 2.045649 X3= 1.295773 I = 41.04069

X1= 3.404834 X2= 2.269732 X3= 1.055593 I = 39.98509
X1= 3.256629 X2= 2.089897 X3= 1.030951 I = 37.93967

სვეტების სიგრძეებისა და წონის ოპტიმალური მნიშვნელობები:

X1= 3.256629 X2= 2.089897 X3= 1.030951 I = 37.93967

L1- ის ქვედა საზღვარი? 3

L1- ის ზედა საზღვარი? 4

L2-ის ქვედა საზღვარი? 2

L3-ის ზედა საზღვარი? 1

P0 დატვირთვის მნიშვნელობა? 30

X1= 3.705548 X2= 2.533424 X3= 1.579519 FMIN=
49.37281

X1= 3.289562 X2= 2.301948 X3= 1.77474 FMIN=
48.88323

X1= 3.709038 X2= 2.045353 X3= 1.414033 FMIN=
43.85705

X1= 3.647821 X2= 2.263793 X3= 1.279342 FMIN=
43.5164

X1= 3.28448 X2= 2.045649 X3= 1.295773 FMIN=
41.04069

X1= 3.404834 X2= 2.269732 X3= 1.055593 FMIN=
39.98509

X1= 3.256629 X2= 2.089897 X3= 1.030951 FMIN=
37.93967

სვეტების სიგრძეებისა და წონის ოპტიმალური მნიშვნელობები:

**X1= 3.256629 X2= 2.089897 X3= 1.030951 FMIN=
37.93967**

უბან-უბან მუდმივკვეთიანი სვეტების
ოპტიმალური (მაქსიმალური)
დატვირთვის ანგარიშის პროგრამა (**uban-
uban3**)

```
CLS  
DIM X(1), G(3)  
AA(1) = 5  
BB(1) = 50  
R1 = 1  
R2 = 1.5  
R3 = 2  
GAMA1 = 2  
GAMA2 = 5  
GAMA3 = 10  
L1 = 5  
L2 = 3  
L3 = 2.5  
P1=20  
P2=35  
P3= 45  
N = 1  
M = 3  
S = 1000  
P = 0  
FOR J = 1 TO S  
FOR I = 1 TO N  
X(I) = AA(I) + (BB(I) - AA(I)) * RND  
NEXT I  
G(1) = -X(1) / (3.14 * R1 ^ 2) - GAMA1 * L1 + P1
```

```

| G(2) = -(X(1) + GAMA1 * L1) / (3.14 * R2 ^ 2) - GAMA2 * L2
+P2
| G(3) = -(X(1) + GAMA1 * L1 + GAMA2 * L2) / (3.14 * R3 ^
2) - GAMA3 * L3 +P3
| LL = 0
| FOR K = 1 TO M
| IF G(K) >= 0 THEN
| LL = LL + 1
| ELSE
| END IF
| NEXT K
| IF LL = M THEN
| IF X(1) > P THEN P = X(1): PRINT "P="; P
|
| END IF
| NEXT J
| PRINT "OPTIMUMI"
|
| PRINT "P="; P
| PRINT

```

მიღებული შედეგები:

```

P= 29.00408
P= 31.07834
P= 31.25116
P= 31.30382
P= 31.36721

```

ოპტიმალური (მაქსიმალური) დატვირთვა

P= 31.36721

ლიტერატურა

1. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование. Москва: Мир.- 1983-428 с.
2. Трофимович В.В., Пермяков В.А. Оптимизация металлических конструкций. Вища Школа.- 1983-200 с.
3. Ольков Я.И., Холопов И.С. Оптимальное проектирование металлических предворительно напряженных ферм.М.:Стройиздат. -1985-156 с.
4. Мажид К.И. Оптимальное проектирование конструкции.М.:Высшая школа.- 1979-240 с.
5. Лихтарников Я.М. Вариатное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат. -1979-319 с.
6. Кудишин Ю.И, Беления В.С, и др. Металлические конструкции.Учебник для студ. высш. учеб. заведений. Издательский центр “Академия”.- 2007.- 688 с.
7. Даффин Р., Питерсон Э., Зенер К. Геометрическое программирование. М.: Мир.-1972-311 с.
8. Мину М. Математическое программирование. М.: Наука.- 1990-485 с.
9. Гвасалия Б.А., Джибладзе Н. И.,Хуродзе Р.А. Определение оптимального веса цилиндрической пружины. Международный научный журнал «Проблемы механики», №1(22),2006, с126-131.
10. გვასალია ბ., კვაჭაძე თ., კვაჭაძე დ. ფუძის და საძირკვლის ერთობლივი დეფორმაციის გაანგარიშების თანამედროვე მეთოდები. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი “მშენებლობა”, №1(4),2007, გვ. 88-95.
11. გვასალია ბ., კვაჭაძე თ., კვაჭაძე დ. შენობა-ნაგებობების ფუძის დეფორმაციის შრეობრივი შეჯამების მეთოდის კომპიუტერული რეალიზაცია და ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა. სტუის შრომები, №3(461), 2006, გვ.9-14.

12. გვასალია ბ., ჯანყარაშვილი დ., შერაზადაშვილი თ. სამღეროვანი წამწის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა. სტუ-ის შრომები, №1(471), 2009, გვ. 9-13.
13. გვასალია ბ., ნატროშვილი ნ. სვეტის ოპტიმალური განივი კვეთის გაანგარიშება. სტუ-ის შრომები, №2(472), 2009, გვ. 9-13.
14. გვასალია ბ. ორტესებრი კვეთის მქონე კოჭის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა. სტუ-ის შრომები, №2.
15. გვასალია ბ., ყავრელიშვილი ი. სპეციალური დანიშნულების კონსტრუქციების ოპტიმალური დაპროექტება. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “ინფორმაციული ტექნოლოგიები მართვაში” მოხსენებათა კრებული. თბილისი, 2007-გვ. 246-249.
16. Каган Б.Н., Тер-Микаелиан Т.М. Решение инженерных задач на цифровых вычислительных машинах .-М-Л: Энергияю-1964- 592 с.
17. Банди Б. Методы оптимизацию-М.: Радио и связь. 1988-127 с.
18. Моисеев Н.Н. и др. Методы оптимизации.-М.:Наука.-1978-351 с.
19. Чичинадзе В.К. Об одном способе использования случайного поиска для определения экстремума функции нескольких переменных//Известия АН СССР. Техническая кибернетика-№1-1967, 111-120 с.
20. Чичинадзе В.К. Решение невыпуклых нелинейных задач оптимизации.-М.: Наука-1983-256 с.
21. ჯიბლაძე ნ. ოპტიმიზაციის სტატიკური ამოცანების გადაწყვეტა სიმძიმის ცენტრების მეთოდით //საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ფონდის სამეცნიერო პერიოდული ჟურნალი “ინტელექტი”. №3. - 1998.

22. ჯიბლაძე ნ., თოფჩიშვილი ა. სტატისტიკური ოპტიმიზაციის რიცხვითი მეთოდები. თბილისი-2001-423 გვ.
23. Геминтер В.И., Каган Б.М. Методы оптимального проектирования. Москва: Энергия. – 1980-159 с.
24. ცხვედაძე რ., ტაბატაძე დ., კაკუტაშვილი ი. სამშენებლო მექანიკა 1-ლი ნაწილი ნაშენთა სტატისტიკა, ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2005-232 გვ.
25. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Учеб. Пособие для втузов. Т.1.-М.: Наука.-1990-672 с.
26. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики . Учебник для втузов. 12-е издание, -М.: Высшая школа .-1998-332 с.
27. Вентцель Е. С. Теория вероятностей.-М.: Наука.-1969-366 с.
28. Макарова Е.В., Кашеев В.П. Методы расчета ферм при подвижной нагрузке, Реферат, 2001. Raschet_plosikh_ferm_Microsoft Word Document.
29. ჭოსონელიძე გ., კვაჭაძე დ., ვაჭარაძე. რუნტების მექანიკა და ფუძე-საძირკვლები. თბილისი, 2000-74 გვ.
30. კერესელიძე დ. გრუნტების მექანიკა, თბილისი, 1997-232 გვ.
31. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений.СниП 2-02-01-83, издание официальное.Москва. 1985-40 с.
32. Морозов А.М. Сопротивление матерпалов. Учебно-методические пособие по решению типовых задач. М.: Высшая школа, 1961-168 с.
33. Металлические конструкции. Под общей редакцией Стрелицкого Н.С Москва. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961.-641с.
34. Королев П.Г. Сопротивление материалов. Справочник по расчетно-проектировочным работам. Киев, 1974.- 342с.

35. ნ. ჯიბლაძე, თ. იმედაძე და სხვა. გეომეტრიული დაპროგრამების ამოცანების გადაწყვეტა სიმძიმის ცენტრების მეთოდის გამოყენებით. სტუ-ის შრომები მართვის ავტომატიზებული სისტემები. №2(5), 2008, გვ. 36-41.
36. ნ. ჯიბლაძე, ლ. გაჩეჩილაძე და სხვა. გლობალური ოპტიმიზაციის მეთოდების ეფექტურობის ექსპერიმენტული შეფასება. სტუ-ის შრომები მართვის ავტომატიზებული სისტემები, №1(4), 2008. გვ. 46-51.
37. Муханов К.К. Металлические конструкции. М.: Строиздат, 1978-576 с.
38. Металлические конструкции. Под общей редакцией Беления Е.И. Москва, стройиздат, 1986, 560 с.
39. Рычков С.П. Моделирование конструкций с среде MSG. Visual NASTRAN для Windows 2004-547 с.
40. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. М.: 1986-607 с.
41. Shigley J.E. Mechanical Engineering Design, Third Edition.- New York McGraw. Hill, 1977.
42. Металлические конструкции. Элементы конструкций. Под редакцией д-ра.т.н, проф. В.В. Горева.М., Высшая школа, 2004, 552 с.
43. Михайлов А.М. Металлические конструкции в примерах. М. Строиздат,1976,320 с.
44. Алгоритмы автоматизации процесса заполнения карточки состояния средств вычислительной. Вопросы радиоэлектроники, научно-технический сборник. Серия электронная вычислительная техника (ЭВТ), выпуск 14, М. Союзполиграфпром, 1983, 138-143 с.
45. Гвасалия Б.А. Определение ТС ЕС ЭВМ и их отдельных Элементов для предупредительной замены. Тезисы докладов X всесоюзного совещания-семинара «Управление иерархическими активными системами», роботизация, автоматизация, управление. Редактор серии вице-президент АН ГССР Прангишвили И.В.,Тбилиси, 1986, 30-31 с.

46. Аскилашвили А.И., Гвасалия Б.А. и др. Универсальный комплекс программ НАДЕЖНОСТЬ-1. Всесоюзная школа-семинар « Разработка и внедрение в народное хозяйство ЕС ЭВМ». Сборник тезисов докладов, ч-2, ЕС ЭВМ-87, М., 1987, 66-68 с.
47. Калатоцишвили Н.И., Гвасалия Б.А. Телеавтоматическая система управления противорадовыми установками. Всесоюзная конференция по вопросам обеспечения сельского хозяйства измерительными и регулируемыми приборами, устройствами и лабораторным оборудованием, развития метрологии в сельском хозяйстве, М., 1975, 55-56 с.
48. Гвасалия Б.А. Итерационный метод определения граничного значения коэффициента усиления для некоторых нелинейных систем. 2-я конференция молодых ученых закавказских республик по автоматическому управлению. Тезисы докладов, Тбилиси, 1980, 106-108 с..