

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ბერაძე

„მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის ახალი ტიპის  
წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის გაანგარიშებისა  
და კონსტრუირების საკითხები“

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ა გ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი, 2014 წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
სამშენებლო ფაკულტეტზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: სრული პროფ. ბ. სურგულაძე

რეცენზენტები: ტმკ, აკ. დოქტორი ა. ბერძენიშვილი  
სრული პროფ. შ. ბაქანიძე

დაცვა შედგება 2014 წლის 10 იანვარს, 14<sup>00</sup> საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 507ა  
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს  
ბიბლიოთეკასა და სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი: სრ. პროფესორი მ. კუბლაშვილი

ნაშრომის საერთო დახასიათება

**ნაშრომის აქტუალურობა.** ენერგორესურსები გადამწყვეტ როლს თამაშობენ თანამედროვე ეკონომიკაში. თვითოეული სახელმწიფოს საწარმოო ძალების განვითარების ხარისხი განისაზღვრება ენერგო რესურსების (მატარებლების) მოპოვებისა და მოხმარების მიხედვით. ენერგო რესურსების ძირითადი სახეობებია - ნავთობი, ნახშირი, ბუნებრივი გაზი, ჰიდროელექტრო ენერჯია და ატომური ენერჯია.

მე-20 საუკუნის 60 წლებიდან ნავთობი და ბუნებრივი აირი (გაზი) გვევლინება ერთერთი მთავარი ენერგო რესურსების სახეობები მსოფლიო ენერგეტიკაში. განვითარებულ ქვეყნების ეკონომიკაში მათი წილი შეადგენს ენერგო რესურსების საერთო მოხმარების 75÷80% და ეს რიცხვი სულ უფრო იზრდება, ატომურ ელექტრო სადგურებზე მომხდარი ინციდენტების ფონზე. თუმცა, ამ ენერგეტიკულ რესურსს ჭირდება ტრანსპორტირება, მოპოვების ადგილიდან გადამმუშავებლამდე (მომხმარებლამდე).

დღევანდელ დღეს კი ყველაზე მომგებიანათ უსაფრთხოების, მაქსიმალური ოდენობის გადაზიდვისა და ეკონომიკური თვალსაზრისით მილსადენები ითვლება.

ცნობილია მაგისტრალური მილსადენის გადასასვლელების ხიდისებური კიდული კონსტრუქცია, რომელიც შეიცავს პილონებს, საანკერო საყრდენებს, ორშტოიანი მზიდ ბაგირებს, მათ შორის განთავსებულ გამბრჯენებს და მზიდ ბაგირებზე შეკიდებულ მილსადენს. ასევე, ცნობილია მაგისტრალური მილსადენის კიდული გადასასვლელები, რომელიც შეიცავს მზიდ ბაგირებს, რომლებზეც საკიდებით დამაგრებულ მალის ნაშენს და მასზე განთავსებულ მილსადენს, მოძრავ და უძრავ საყრდენებს.

ცნობილია მაგისტრალური მილსადენის გადასასვლელების შპრენგელური ტიპის კონსტრუქცია, რომელიც შეიცავს მილსადენს, შპრენგელების მოსაწყობად საჭირო ხისტ დგარებს და შპრენგელის წინასწარ დაძაბულ ბაგიროვან ელემენტებს, ბურჯებს და მასზე მოწყობილ საყრდენ დგარებს. ასევე ცნობილია მაგისტრალური მილსადენის გადასასვლელების კომბინირებული კონსტრუქცია, რომელიც შეიცავს პილონებზე განთავსებულ საყრდენი ჭიმებით აღჭურვილ მზიდ ბაგირს, კონსტრუქციის მალის შუაში განლაგებულ თაღოვან წამწეს და მასზე განთავსებულ მილსადენს..

ნაშრომში აღწერილი არსებული საჰაერო გადასასვლელების კონსტრუქციების (ანალოგების) ტექნიკური გადაწყვეტების ძირითად უარყოფით

მხარეს წარმოადგენს ის, რომ მილსადენი ჩართულია გადასასვლელის კონსტრუქციის მუშაობაში და შესაბამისად მშენებლობის სეისმურად აქტიური რაიონებისათვის მიზანშეუწონელია, რადგან გართულებულია გაერმთლიანების კვანძების მოწყობა და ყოველივე აღნიშნულიდან გამომდინარე დაქვეითებულია მილის განივი კვეთის ზიდვისუნარი, ხოლო ვანტებზე მილსადენის მიმაგრება ართულებს მის მონტაჟს. ასევე გართულებულია თაღოვანი წამწისა და მასზე მრუდწირული მილსადენის მონტაჟი. გადასასვლელის მილსადენის ნაპირა ნაწილები წარმოადგენს თვითმზიდ ელემენტებს, ყოველივე ეს, კი იწვევს მასალის ხარჯის, მშენებლობის ხანგრძლივობისა და შრომატევადობის გაზრდას, ზიდვის უნარისა და საიმედოობის შემცირებას. ასევე, მშენებლობის სეისმურად აქტიური რაიონებისათვის ნაკლებადაა უზრუნველყოფილი მისი საიმედო ექსპუატაცია.

წინამდებარე ნაშრომი, „მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საკითხები“, ეძღვნება ზემოაღნიშნულ საჰაერო გადასასვლელის კონსტრუქციების ტექნიკურ გადაწყვეტებში არსებული პრობლემების კომპლექსური გადაწყვეტის მცდელობას და ამდენად, ვთვლით, რომ მასში დასმული საკითხები აქტუალურია.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს მაგისტრალური გაზსადენის დიდმალიანი გადასასვლელის ისეთი კონსტრუქციის შექმნა და დამუშავება, რომლის ტექნიკური გადაწყვეტა აღმოფხვრის ანალოგებში არსებულ ხარვეზებს. დამუშავებული ახალი ტიპის მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქცია, რომლის ტექნიკურ გადაწყვეტილების სიახლეზე „საქპატენტის“ მიერ გაცემულია პატენტი განაცხადზე №12245/01 (საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ცენტრი, საქპატენტი, ბრძანება პატენტის გაცემის შესახებ განაცხადზე №12245/01, ბრძანების №737/01, 12. 06. 2013 წ.).

ახალი ტიპის კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტა არსებული ანალოგიური კონსტრუქციებისაგან განსხვავდება წინასწარდასაძაბავი ელემენტების განლაგებით და მისი დაძაბვის ახალი-გაუმჯობესებული სქემით. შემოთავაზებული კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტით მიიღწევა მაგისტრალური გაზსადენის მილის მონტაჟის გამარტივება და ასევე გადასასვლელის მზიდ ელემენტებში ძალვათა მოხერხებული რეგულირება. ასევე, ახალი ტექნიკური გადაწყვეტილებით მიიღწევა მშენებლობის

ხანგრძლივობისა და მასალის ხარჯის შემცირება, კონსტრუქციის ზიდვის უნარის ამაღლება და ექსპლუატაციის დროს საიმედოობის გაზრდა.

ასევე დამუშავდეს მისთვის ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები, გაანგარიშების მეთოდოლოგია, განისაზღვროს მისი პრაქტიკული ღირებულება და მოხდეს მისი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასება.

**ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:**

დამუშავებულია მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული კომბინირებული კონსტრუქცია, რომლის კონსტრუქციულ სქემაში გადაწყვეტილია და აღმოფხვრილია არსებულ კონსტრუქციების ტექნიკურ გადაწყვეტებში არსებული პრობლემები. ასევე დამუშავებულია ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები და გაანგარიშების მეთოდოლოგია და განსაზღვრულია მისი პრაქტიკული ღირებულებები. ყოველივე ნათლად დასტურდება ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების შედეგების ანალიზიდან.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.**

ჩატარებული თეორიული კვლევების, პრაქტიკული გამოცდილების, სამშენებლო ნორმებისა-წესების სრული დაცვის და რეკომენდაციების საფუძველზე დამუშავებულია მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქცია. მისი გაანგარიშების მეთოდოლოგიიდან და ეკონომიკური ეფექტურობიდან გამომდინარე, შემოთავაზებული ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის მშენებლობაში გამოყენება მიზანშეწონილია.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის რეალიზაციისას უზრუნველყოფილი იქნება ელემენტების დამზადება და გამარტივებული მონტაჟი, შემცირდება მასალის ხარჯი და მშენებლობის ხანგრძლივობა. ამაღლება კონსტრუქციის ზიდვის უნარი და ექსპლუატაციის დროს გაიზრდება მისი საიმედოობა.

**ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები.** – ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატია, მათ შორის ერთზე, „მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარდაძაბული კომბინირებული კონსტრუქცია“, საქპატენტის მიერ გაცემულია პატენტი. კვლევის ძირითადი საკითხები მოხსენებულია ორ სამეცნიერო კონფერენციაზე. დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა: საქართველოს ტექნიკური

უნივერსიტეტის „სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის“ დეპარტამენტის გაფართოებულ სამეცნიერო სემინარებზე (თბილისი 2012-2013 წ.წ.).

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. – ნაშრომი შედგება შესავლის, 5 თავის, ძირითადი დასკვნების, გამოყენებული ლიტერატურისა და დანართისაგან.

ნაშრომის შინაარსი

**შესავალში** წარმოდგენილია თემის აქტუალურობა, მეცნიერული სიახლე და ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.

**პირველ თავში** მაგისტრალური მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელების არსებული კონსტრუქციების მიმოხილვა, კლასიფიკაცია და კრიტიკული ანალიზი. მოცემულია შემოთავაზებული ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის აღწერა.

შემოთავაზებული კონსტრუქცია განეკუთვნება გაზისა და ნავთობ პროდუქტების მაგისტრალური მილსადენების მშენებლობას, რომლის გამოყენება შესაძლებელია მილსადენების საჰაერო (მიწისზედა) გადასასვლელების ასაგებად. ტექნიკური გადაწყვეტილება უზრუნველყოფს დღეისათვის მშენებლობის პრაქტიკაში ცნობილ კონსტრუქციებში (ხიდისებური კონსტრუქციები, კიდული გადასასვლელები, შპრენგელური ტიპის, კომბინირებული და სხვა სახის კონსტრუქციები) არსებულ ნაკლოვანებათა აღმოფხვრასა და აცილებას. გადასასვლელების აგების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედეგია მშენებლობის ხანგრძლივობისა და მასალის ხარჯის შემცირება, კონსტრუქციის ზიდვის უნარის ამაღლება და ექსპლუატაციის დროს საიმედოობის გაზრდა.

შემოთავაზებულია მაგისტრალური მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელების კონსტრუქცია, რომლის კონსტრუქციული გადაწყვეტა ანალოგებისაგან განსხვავდება წინასწარდასაძაბავი ელემენტების განლაგებით და მისი დაძაბვის ახალი-გაუმჯობესებული სქემით. ნაშრომში აღწერილი ტექნიკური გადაწყვეტით მიიღწევა სივრცითი კონსტრუქციის ყველა ელემენტში ძაბვების მოხერხებული რეგულირება.

მაგისტრალური მილსადენის დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქცია, შეიცავს პარაბოლური მოხაზულობის ზედა სარტყლიან თაღოვან წამწეს (ან სწორხაზოვან, მთლიანკედლიან ან გამჭოლი კოჭოვან კონსტრუქციებს), წინასწარ დაძაბულ მზიდ ბაგიროვან

ელემენტებს, მილსადენის მზიდ ელემენტებზე მისამაგრებელ ცილინდრული ფორმის ელემენტებს, დამჭიმავ მოწყობილობებს, საყრდენ ნაპირის ბურჯებს, განსხვავდება იმით, რომ მილსადენის მზიდ ელემენტებზე მისამაგრებელ ცილინდრული ფორმის ელემენტები შესრულებულია რვაკუთხა ფორმის პრიზმებისაგან, რომელთა ოთხ ფერდზე რადიანულად განლაგებულია პარაბოლური მოხაზულობის ზედა სარტყლიანი თაღოვანი წამწეები, ხოლო დანარჩენ ოთხ ფერდზე რადიანულად განლაგებულ დგარებზე განთავსებულია ბაგირები, რომლებიც სახსრულად არიან ჩამაგრებული მილსადენის კონსტრუქციის საყრდენ კვანძებთან, ხოლო დგარებს, თავისუფალ ბოლოში, გააჩნიათ კუთხვილიანი სადებები, რომლებშიც ჩახრახნულია კუთხვილიანი მთლიანგანიკეთიანი ელემენტები, რომლებიც აღჭურვილი არიან კონტრქანჩითა და მის ოთკუთხა ნაწილში მოწყობილ ჯვრისებრი ნახვრეტებით, მთლიანგანიკეთიანი ელემენტების ბოლოები ცილინდრული სახსრითაა დამაგრებული ბაგირის დგართან დამაკავშირებელ ღია პროფილისაგან შესრულებულ ელემენტებთან, რომელზეც სახსრულადაა განთავსებული ნახევარცილინდრული საკვანძო დეტალები, ხოლო ბაგირი ფურცლოვანი სადებითა და ჭანჭიკებით შეერთებულია ღია პროფილისაგან შესრულებულ ელემენტებთან, წამწის ზედა სარტყლის კვანძები და ბაგირის დამჭერი რადიანულად განლაგებული დგარები ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან ხისტი კავშირებით.

L მაღლისა f აწეულობის/ჩაწეულობის ისრის მქონე მაგისტრალური მილსადენის დიდმალიანი გადასასვლელის მზიდ ელემენტებზე მისამაგრებელ ცილინდრული ფორმის ელემენტები შესრულებულია რვაკუთხა ფორმის პრიზმებისაგან 1, რომელთა ოთხ ფერდზე რადიანულად განლაგებულია პარაბოლური მოხაზულობის ზედა სარტყლიანი თაღოვანი წამწეები 2, ხოლო დანარჩენ ოთხ ფერდზე რადიანულად განლაგებულ დგარებზე 3 განთავსებულია ბაგირები 4, რომლებიც სახსრებით 5 არიან ჩამაგრებული მილსადენის კონსტრუქციის საყრდენ კვანძებთან 6, ხოლო დგარებს 3, თავისუფალ ბოლოში, გააჩნიათ კუთხვილიანი სადებები 7, რომლებშიც ჩახრახნულია კუთხვილიანი მთლიანგანიკეთიანი ელემენტები 8, რომლებიც აღჭურვილი არიან კონტრქანჩითა 9 და მის ოთკუთხა ნაწილში მოწყობილ ჯვრისებრი ნახვრეტებით 10, მთლიანგანიკეთიანი ელემენტების 8 ბოლოები ცილინდრული სახსრითაა მიმაგრებული ბაგირის 4 დგართან 3 დამაკავშირებელ ღია პროფილისაგან შესრულებულ ელემენტებთან 11, რომელზეც სახსრულადაა დამაგრებული

ნახევარცილინდრული საკვანძო დეტალები 12, ხოლო ბაგირი 4 ფურცლოვანი სადებითა 13 და ჭანჭიკებით 14 შეერთებულია ღია პროფილისაგან შესრულებულ ელემენტებთან 11, წამწის 2 ზედა სარტყლის კვანძები და ბაგირის 4 დამჭერი რადიანულად განლაგებული დგარები 3 ერთმანეთთან დააკავშირებული არიან ხისტი კავშირებით 15.

L მაღლისა f აწვეულობის/ჩაწვეულობის ისრის მქონე მაგისტრალური მილსადენის დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის ერთიანად აკრება (მთლიანი კონსტრუქციის აკრება) ხორციელდება შემდეგი თანმიმდევრობით. სამშენებლო მოედანზე, სათანადო თარგის გამოყენებით, რვაკუთხა ფორმის პრიზმების 1 ოთხ ფერდზე წარმოებს აკრება, ქარხნული წესით დამზადებული, პარაბოლური მოხაზულობის ზედა სარტყლიანი თაღოვანი წამწების 2, ხოლო დანარჩენ ოთხ ფერდზე რადიანულად მონტაჟდება დგარები 3, რომელთა თავისუფალ ბოლოებში გააჩნიათ კუთხვილიანი სადებები 7 რომლებშიც ჩახრახნულია კუთხვილიანი მთლიანგანიკვეთიანი ელემენტები 8, რომლებიც ადჭურვილი არიან კონტრქანხითა 9 და მის ოთკუთხა ნაწილში მოწყობილ ჯვრისებრი ფორმით შესრულებულ ნახვრეტებით 10 მთლიანგანიკვეთიანი ელემენტების 8 ბოლოები ცილინდრული სახსრითაა მიმაგრებული ბაგირის 4 დგართან 3 დამაკავშირებელ ღია პროფილისაგან შესრულებულ ელემენტებთან 11, რომელზეც სახსრულადაა დამაგრებული ნახევარცილინდრული საკვანძო დეტალები 12, რომლებზეც ბაგირის 4 ჩამაგრება წარმოებს ფურცლოვანი სადებებისა 13 და ჭანჭიკების 14 გამოყენებით, კონსტრუქციის საყრდენ კვანძებში 6 ხორციელდება ბაგირების 4 სახსრული ჩამაგრება, პარაბოლური მოხაზულობის ზედა სარტყლიანი თაღოვანი წამწების 2 ზედა სარტყლის კვანძები და ბაგირის 4 დამჭერი რადიანულად განლაგებული დგარები 3 ერთმანეთთან შეერთებული არიან ხისტი კავშირებით 15, აკრეფილი მთლიანი კონსტრუქცია მონტაჟდება საყრდენ ნაპირის ბურჯებზე 16. ასევე შესაძლებელია კონსტრუქციის სექციებად დაყოფა და მათი ქარხნული წესით დამზადება (სექციებად გამიჯვნა).

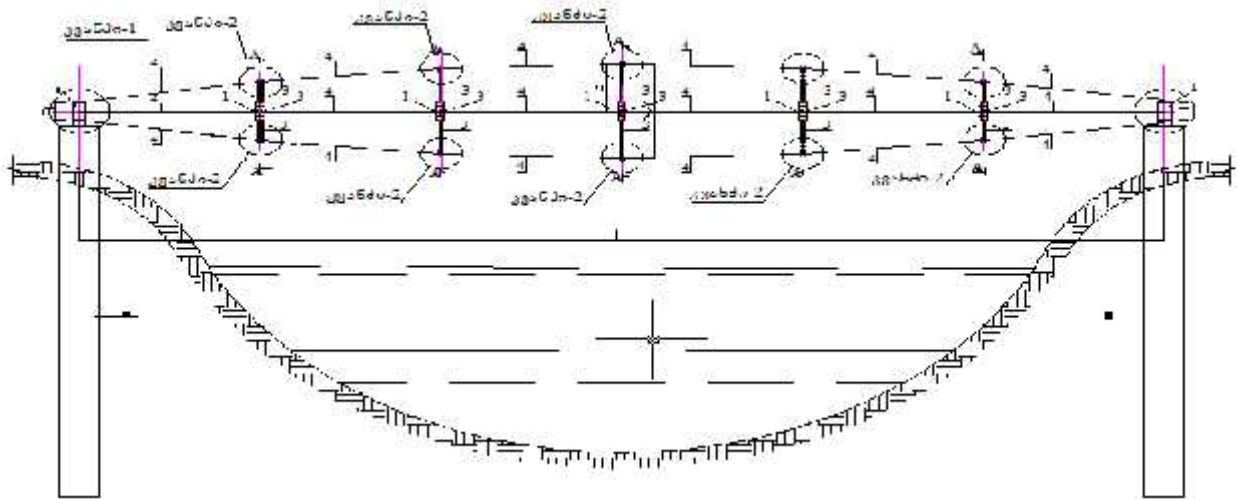
მაგისტრალური მილსადენის გადასასვლელის კომბინირებული კონსტრუქციის წინასწარ დაძაბვა წარმოებს შემდეგნაირად: პირველ ეტაპზე წინასწარ დაძაბული მზიდი ბაგირის გარეშე აკრეფილი გადასასვლელის კონსტრუქციის მთლიანგანიკვეთიანი ელემენტის 8 ოთკუთხა ნაწილში მოწყობილ ჯვრისებრი ნახვრეტების 10 გამოყენებით, სინქრონული ბრუნვით ბაგირის 4 დგართან 3 დამაკავშირებელ ღია პროფილისაგან შესრულებულ ელემენტებს 11 და მასზე



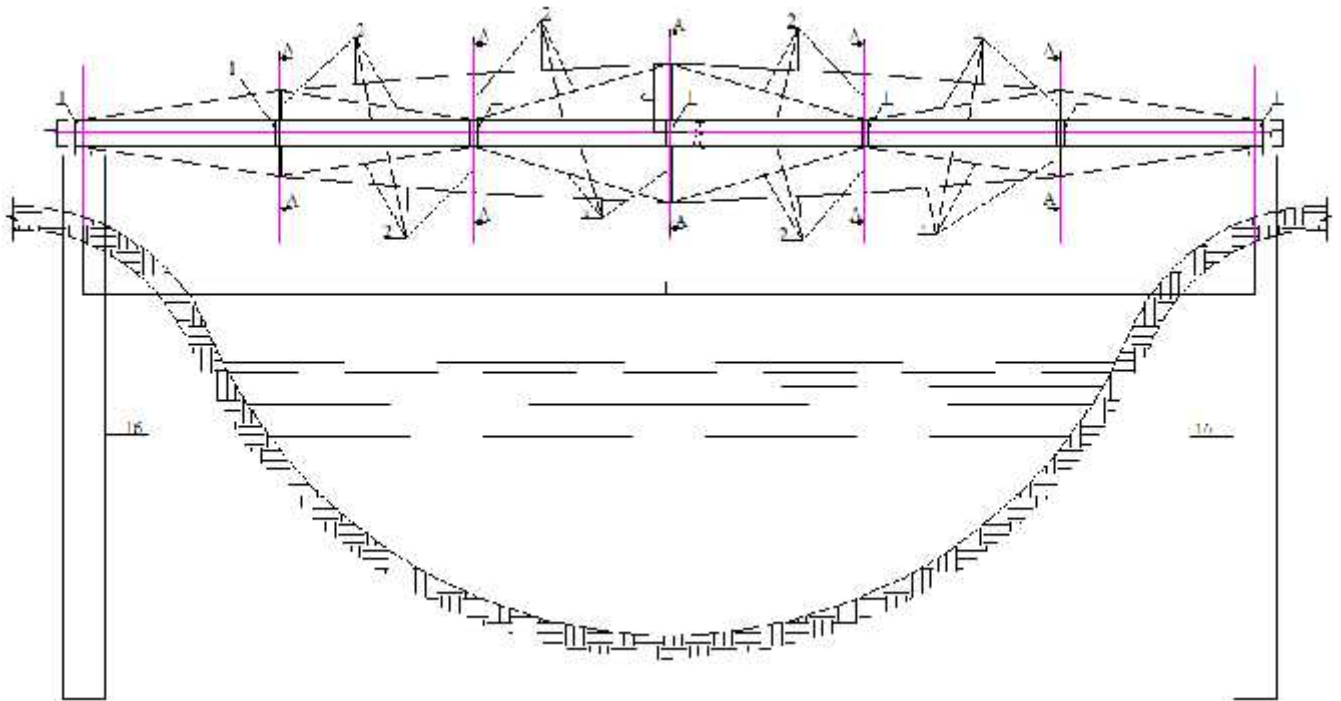
დამაგრებულ ნახევარცილინდრული საკვანძო დეტალებს 12, უნდა განთავსდეს რადიანულად განლაგებული დგარის ბოლოსთან, წინასწარ განსაზღვრული სიდიდით, მინიმალურად ახლოს (ბაგირის 4 დგართან 3 მისამაგრებელი დეტალები 11,12 განთავსდება წინასწარ განსაზღვრული ზომისზე), კონსტრუქციის საყრდენ კვანძებში 6 ხორციელდება წინასწარ განსაზღვრული სიგრძის ბაგირების 4 სახსრული ჩამაგრება, ხოლო დგართან 3 დამაკავშირებელ დია პროფილისაგან შესრულებულ ელემენტებთან 11, რომელებზეც სახსრულადაა დამაგრებული ნახევარცილინდრული საკვანძო დეტალები 12, ბაგირი 4 ჩამაგრება წარმოებს ფურცლოვანი სადებებისა 13 და ჭანჭიკების 14 გამოყენებით, რის შემდეგ მთლიანგანიკვეთიანი ელემენტის 8 მის ოთკუთხა ნაწილში მოწყობილ ჯვრისებრი ფორმით შესრულებულ ნახვერტების 10 გამოყენებით, სინქრონული ბრუნვის შედეგად ბაგირის ჩასამაგრებელი ელემენტები 11, 12 გადაადგილდებიან რადიანული მიმართულებით, რაც განაპირობებს (უზრუნველყოფს) ბაგირების დაძაბვას და შესაბამისად მთლიანი კონსტრუქციის საპროექტო მდგომარეობაში მოყვანას.

L მალისა f აწეულობის/ჩაწეულობის ისრის მქონე მაგისტრალური მილსადენის დიდმალიანი გადასასვლელის კონსტრუქციის შემოთავაზებული ტექნიკური გადაწყვეტის უპირატესობა არსებულ ანალოგებთან განპიროვნებულია იმით, რომ კონსტრუქციის წინასწარ დაძაბვის შემდეგ სისტემა არ გადასცემს საყრდენ ბურჯებს ჰორიზონტალურ (გამბრჯენ) ძალებს, გამარტივებულია გასსადენის მილის მონტაჟი და იგი არ არის ჩართული სისტემის საერთო მუშაობაში, ასევე მოხერხებულია გადასასვლელის მზიდ ელემენტებში ძალვათა რეგულირება, რაც უზრუნველყოფს ელემენტების დამზადებისა და მონტაჟის გამარტივებას, მასალის ხარჯისა და მშენებლობის ხანგრძლივობის შემცირებას, კონსტრუქციის ზიდვის უნარის ამაღლებასა და ექსპლუატაციის დროს საიმედოობის გაზრდას.

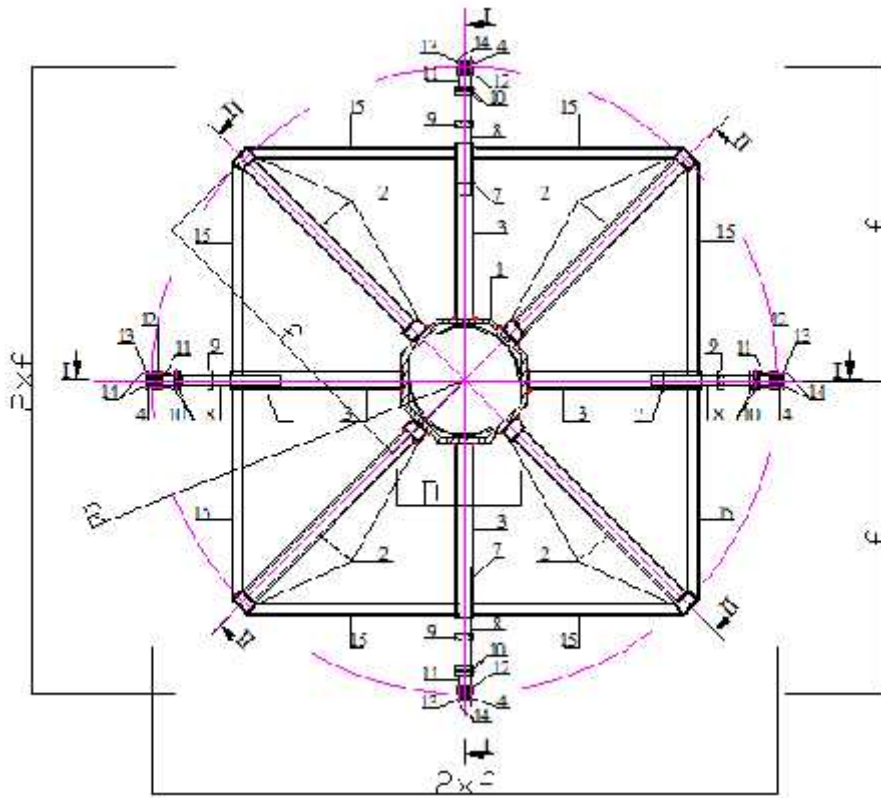
შემოთავაზებული ახალი ტიპის მაგისტრალური მილსადენის დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტილების აღსაწერად მოცემულია გრაფიკული მასალა ნახაზების სახით (ნახ. 1-4).



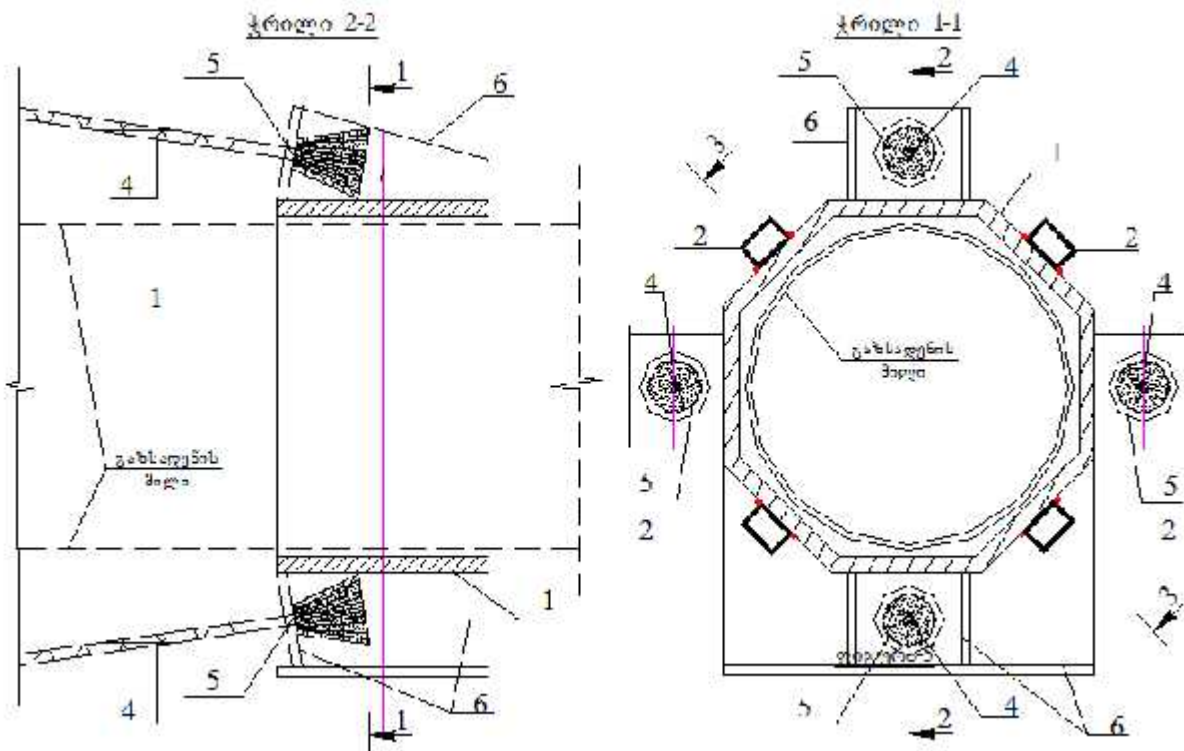
ნახ. 1. — მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის ხედი ჭრილი I-I-ის მიხედვით;



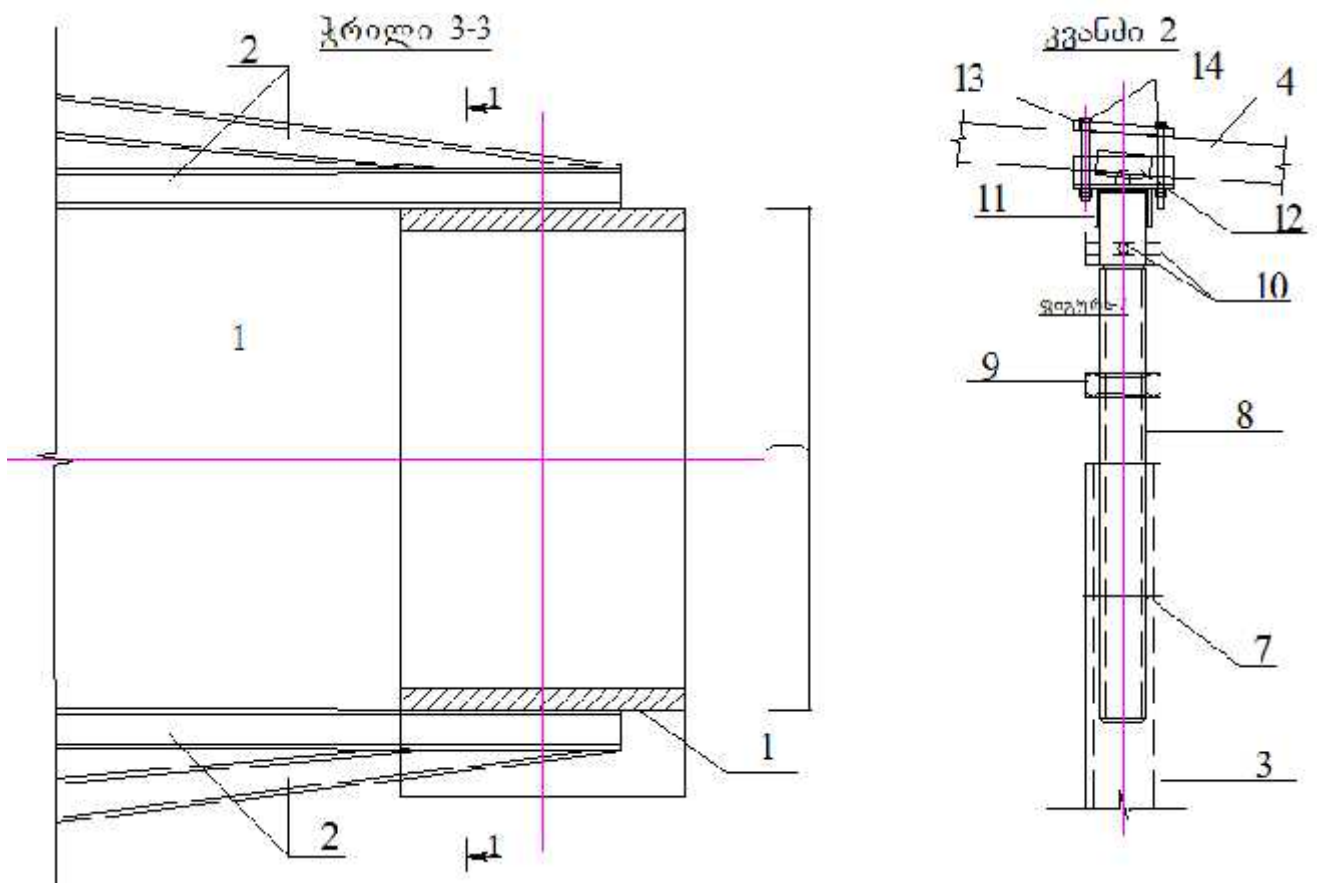
ნახ. 2. — მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის ხედი ჭრილი II-II-ის მიხედვით;



ნახ. 3. — მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის განივი ჭრილი A-A;



ნახ. 4. — ბაგირების ჩამაგრების კვანძი ჭრილი 1-1 და 2-2-ს მიხედვით;



ნახ. 5. — კვანძი-2 და ჭრილი 3-3

**მეორე თავში** მოცემულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის მუშაობის ანალიზი და გაანგარიშების მეთოდოლოგია. განხილულია გეომეტრიული პარამეტრებისა და მასზე მოქმედი შესაძლო დატვირთვების განსაზღვრა..

1. გეომეტრიული პარამეტრების განსაზღვრა

მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის შემოთავაზებული წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქცია შესრულებულია L მაღლისა f აწეულობის/ ჩაწეულობის ისრის მქონე მაგისტრალური მილსადენის დიდმალიანი გადასასვლელის მზიდ ელემენტების მისამაგრებელი ელემენტები შესრულებულია რვაკუთხა ფორმის პრიზმებისაგან, რომელთა ოთხ ფერდზე რადიალურად განლაგებულია პარაბოლური მოხაზულობის ზედა სარტყლიანი თაღოვანი წამწეები, ხოლო დანარჩენ ოთხ ფერდზე რადიალურად განლაგებულ დგარებზე, ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სიბრტყეებში, განთავსებულია

ბაგირები (ნახ. 1, ა და ბ). ბაგირებისა და თაღოვანი წამწეების მოხაზულობა დამოკიდებულია გადასასვლელის მაღის სიდიდეზე და შეაფრების აწეულობის ისარზე დამოკიდებული რკალის სეგმენტის რადიუსზე, რვაკუთხა ფორმის პრიზმების განლაგების ზომაზე, რომელიც განისაზღვრება მის შიგა ნაწილში გასატარებელი მილსადენის მილის ზიდვისუნარიდან დადგენილი მაღის სიდიდის მიხედვით (ტექნოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისად გაანგაარიშებული მილის საჭირო დიამეტრის განივი კვეთის მიხედვით დადგენილი).

რკალის სეგმენტის რადიუსი, რომელზეც განთავსებულია რადიალურად განლაგებული დგარებისა და თაღოვანი წამწეების ზედა სარტყლები, განისაზღვრება ფორმულით;

$$R_{\text{რკალი}}^{\text{ს.}} = \frac{4f^2 + L^2}{8f} \quad (1)$$

სადაც  $f=1/10 \div 1/25L$  არის გადასასვლელის კონსტრუქციის აწეულობის/ჩაწეულობის ისარი, რომელიც მიიღება კონსტრუქციული მოსაზრებებიდან გამომდინარე;  $L$ - გადასასვლელის კონსტრუქციის მაღი.

მილსადენის მილის, ზიდვისუნარიდან დადგენილი, მაღის სიგრძე (ზომა) განისაზღვრება ფორმულით;

$$l \leq 0.5L_{\text{მილის}} = \sqrt{\frac{12W(R_2 - \frac{\chi p D_{\text{მილა}}}{4t_{\text{მილის}}})}{q}} \quad (2)$$

სადაც-  $R_2$  მილსადენის ფოლადის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე;  $W=f R_{\text{მილი}}^2 t$  - მილის განივი კვეთის წინაღობის მომენტი,  $q = q_{\text{მილი}} + q_{\text{გაზ}} = \dots g A_{\text{მილი}} + p D_{\text{მილა}}^2$  - გრძივი დატვირთვები მილის საკუთარი წონისა და პროდუქტის წონისაგან. აქ  $g$ -არის თავისუფალი ვარდნის აჩქარება;  $A_{\text{მილი}}$  -მილის განივი კვეთის ფართობი;  $\dots$  -მილში გასატარებელი მასალის (პროდუქტის) სიმკრივე;  $P$ -მილში სავარაუდო მუშა (საპროექტო) წნევა.  $D_{\text{მილა}}$  მილის შიგა დიამეტრი;  $t$ - მილის სისქე,  $\chi$ -უსაფრთხოების კოეფიციენტი დატვირთვებისათვის.

რვაკუთხა ფორმის პრიზმების განლაგების ზომა მიიღება მილი-ს გასაანგარიშებელი (3) ფორმულით მიღებული ზომის მიხედვით.

ზედა სარტყელის პანელის მოპირდაპირი კუთხე (ნახ. 1ა) განისაზღვრება ფორმულით;

$$S_{\text{ს}} = \frac{2}{m} \arcsin \frac{L}{2R_{\text{რკალი}}^{\text{ს}}} \quad (3)$$

სადაც  $m$  არის ზედა სარტყელის პანელების რაოდენობა.

ზედა სარტყელის პანელსა და ჰორიზონტს შორის კუთხე (ნახ. 1ა და 1გ) განისაზღვრება ფორმულით;

$$r_{\text{სს}} = (0.5m + 0.5) S_{\text{სს}} - n S_{\text{სს}} \quad (4)$$

სადაც-  $n$  არის ზედა სარტყელის პანელების რიგითი ნომერი.

ზედა სარტყელის პანელების ზომა განისაზღვრება ფორმულით;

$$S_{\text{სს}} = 2R_{\text{რკალი}}^{\text{სს}} \sin \frac{S_{\text{სს}}}{2} \leq 0.5L_{\text{მოილი}} \quad (5)$$

დგარების სიმაღლე ზომა განისაზღვრება ფორმულით;

$$h_{\text{დგ.1}} = \text{tg} r_{\text{სს.1}}; \quad h_{\text{დგ.n}} = h_{\text{დგ.1}} + \text{tg} r_{\text{სს.n}} \quad (6)$$

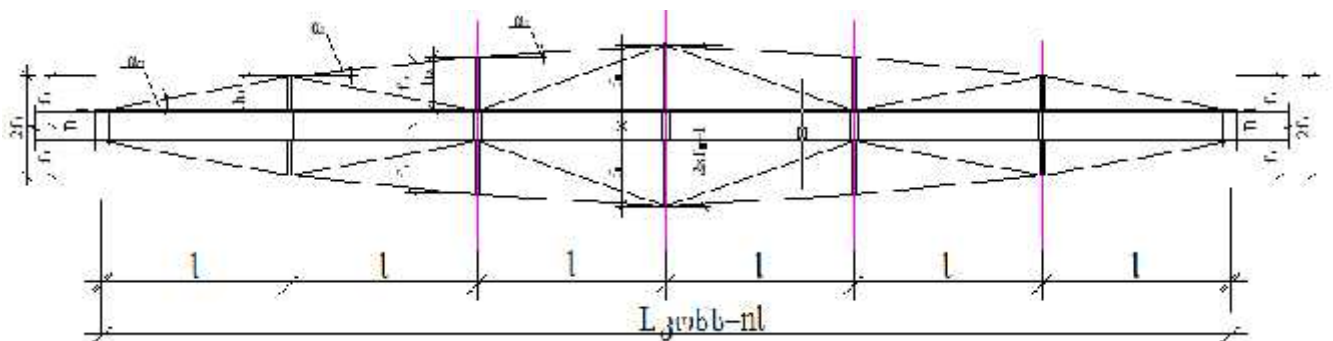
შეაფრების (აწეულობის) ზომა განისაზღვრება ფორმულით;

$$f_n = h_{\text{დგ.1}} + 0.5D \leq f \quad (7)$$

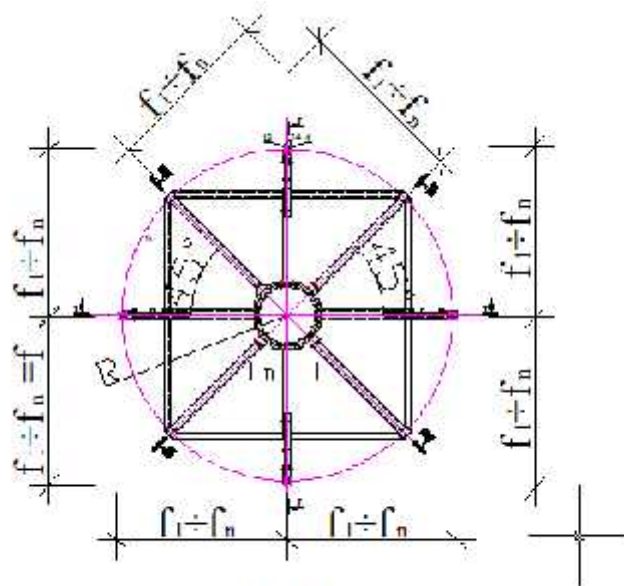
წამწის ირიბნების ზომა განისაზღვრება ფორმულით;

$$T_n = \sqrt{h_{\text{დგ.n}}^2 + l^2} \quad (8)$$

სადაც-  $n$  არის ზედა სარტყელისა და ირიბანის პანელების რიგითი ნომერი.

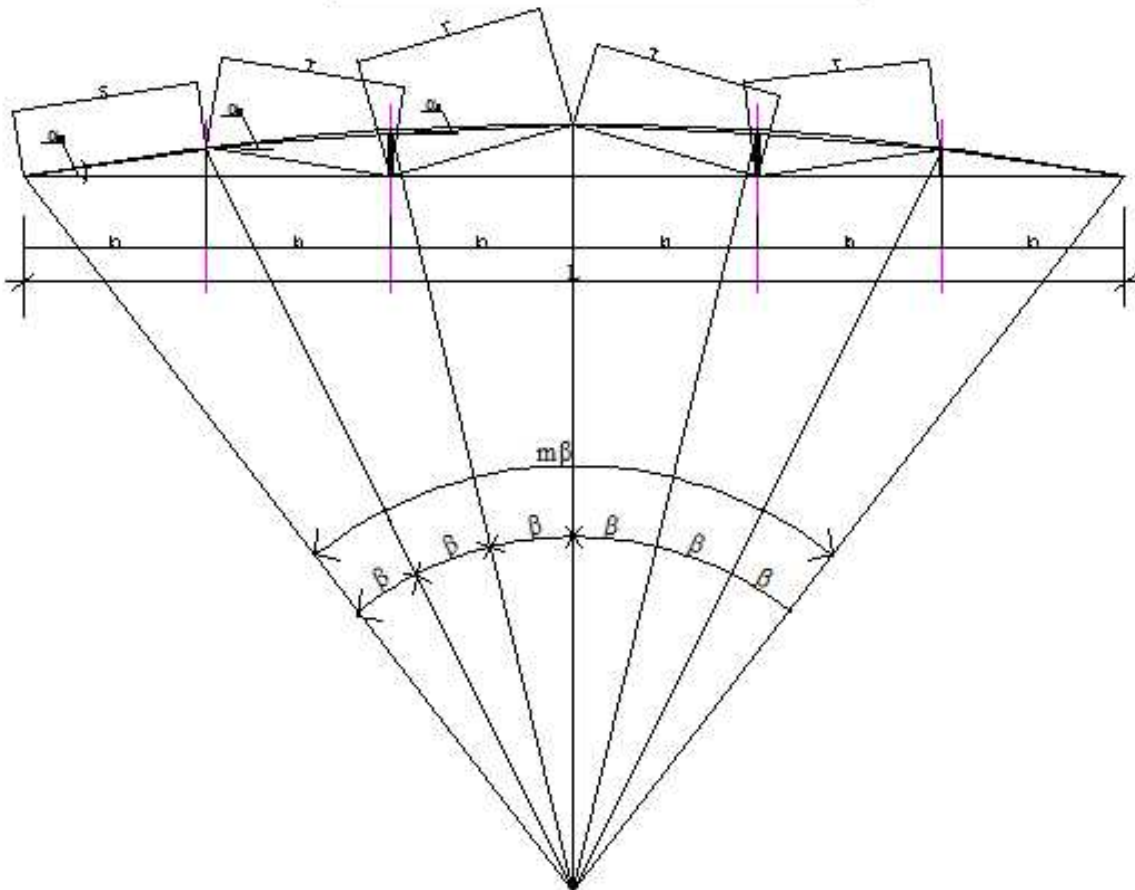


ნახ. 1ა კონსტრუქციის გეომეტრიული პარამეტრებიგრძივი კვეთის მიხედვით



ნახ. 13

კონსტრუქციის უკომპლექსოვანი პარამეტრები



ნახაზი-12

## 2. შემოთავაზებულ კონსტრუქციაზე შესაძლო მოქმედი დატვირთვების განსაზღვრა

მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის შემოთავაზებული წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციაზე შესაძლო მოქმედი დატვირთვების გაანგარიშებას იგულისხმება, რომ ცნობილია გადასასვლელზე გამავალი მილების შემადგენლობა, მათი განივი კვეთების გეომეტრიული პარამეტრები და კომპლექსორების განლაგების სქემები. ასევე ცნობილია მილსადენში გასატარებელი მასალის სახეობები, მათი მოცულობითი წონებისა და ტემპერატურის მნიშვნელობები.

### ა). მუდმივი დატვირთვების განსაზღვრა

ნორმატიული და საანგარიშო ვერტიკალური დატვირთვები (მილის საკუთარი და პროდუქტის წონებისგან) განისაზღვრება ფორმულით;

$$q^{\text{ნორ}} = q_{\text{მილ}} + q_{\text{გ.ზ.}} = \dots g A_{\text{მილი}} + p D_{\text{მილა}}^2; \quad q^{\text{საან.}} = \dots g A_{\text{მილი}} X_g + p D_{\text{მილა}}^2 X_p. \quad (9)$$

სადაც  $g$  არის თავისუფალი ვარდნის აჩქარება;  $A_{\text{მილი}}$  - მილის განივი კვეთის ფართობი; ... ( $X_{\text{გ.ზ.}}$ ) - მილის მასალის სიმკრივე (მოცულობითი წონა);  $P$  - მილში სავარაუდო მუშა (საპროექტო) წნევა.  $D_{\text{მილა}}$  მილის შიგა დიამეტრი;  $t$  - მილის სისქე;  $X_g$  და  $X_p$  - უსაფრთხოების კოეფიციენტებია დატვირთვებისათვის.

### ბ). ლიპყინულის დატვირთვის განსაზღვრა

შემოთავაზებული კონსტრუქციის ელემენტების კომბინირებულობის გამო (ფოლადის პროფილებისა და ბაგირების არსებობის გამო) გაანგარიშებაში გათვალისწინებული უნდა იყოს ლიპყინულისაგან გამოწვეული დატვირთვები, რომლების მუდმივი დატვირთვების მიმართულებისაა და ცვლის ელემენტების განივი კვეთის გეომეტრიულ პარამეტრებს რაც გასათვალისწინებელია ქარის ზემოქმედების განსაზღვისას.

წრიული განივი კვეთის მქონე ელემენტებისათვის (მათ შორის ბაგირებისათვის) რომელთა დიამეტრი ტოლია ან არ აღემატება 70 მმ.-ს, ლიპყინულისაგან ნორმატიული დატვირთვა ( $n/m$ ) გამოითვლება ფორმულით;

$$i = f \cdot b \cdot k \cdot \sim_1 \cdot (d + b \cdot k \cdot \sim_1) \dots \cdot g \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

კონსტრუქციის სხვა განივი კვეთის მქონე ელემენტებისათვის ზედაპირული ლიპყინულის ნორმატიული დატვირთვის ( $პა = n/m^2$ ) მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით;



$$i' = b \cdot k \cdot \sim_2 \cdot \dots \cdot g \quad (11)$$

ზემოთ მოყვანილ ფორმულებში:

$b$ - ლიპყინულის კედლის სისქე (5 წელიწადში ერთი მაქსიმალური მაჩვენებელი);

$k$ - სიმაღლის გამათვალისწინებელი ლიპყინულის კედლის სისქის ცვალებადობის კოეფიციენტი (აიღება სახელმწიფოში მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტებიდან);

$d$ - წრიული განიკვეთის მქონე ელემენტის დიამეტრი;

$\sim_1$ - ლიპყინულის კედლის სისქის ცვალებადობის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია წრიული განივი კვეთის მქონე ელემენტის დიამეტრზე (აიღება სახელმწიფოში მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტებიდან);

$\sim_2 = 0.6$ - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ყინვის ზემოქმედების ზედაპირის ფართობის ფარდობას ელემენტის მთლიანი ზედაპირის ფართობთან;

$\dots$  - ყინულის სიმკრივე, რომელიც მიიღება 0.9 გრ/სმ<sup>3</sup>-ს ტოლი;

$g$ - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, მ/წმ.

საიმედობის კოეფიციენტი ლიპყინულის დატვირთვისათვის  $\chi_f$  მიიღება 1.3 ტოლი.

### გ) ჰორიზონტალური დატვირთვების განსაზღვრა

1) ქარის დატვირთვის სიდიდე მილისა და ბაგირების ზედაპირზე განისაზღვრება ფორმულით (ლიპყინულის გათვალისწინების გარეშე):

$$W = \chi_f \tilde{S}_0 k_h c_\xi D_{\text{მილ. ან ბაგ.}} \quad (12)$$

სადაც:  $\chi_f$  – საიმედობის კოეფიციენტი ქარის დატვირთვისათვის;

$\tilde{S}_0$  – ქარის ჩქაროსნული დაწნევა 1 მ<sup>2</sup>-ზე;

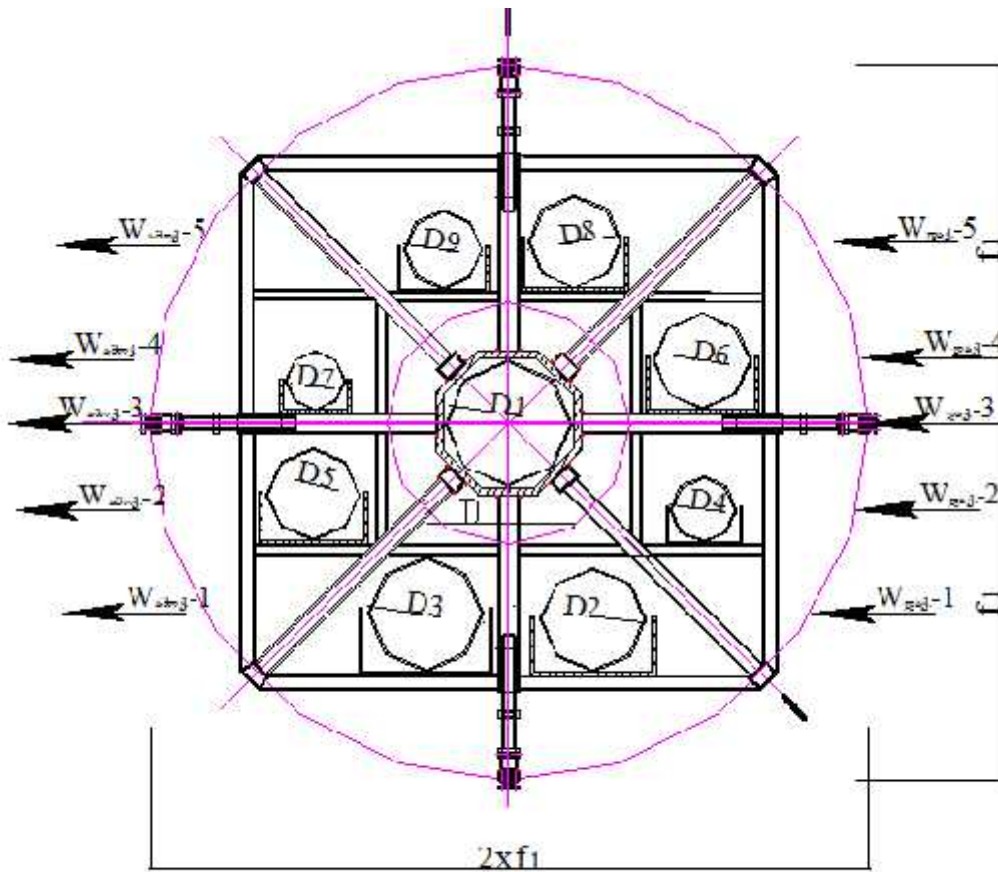
$k_h$  – სიმაღლის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

$c_\xi$  – აეროდინამიკური კოეფიციენტი;

$D_{\text{მილ. ან ბაგ.}}$ - მილსადენის (მილის) ან ბაგირის დიამეტრი.

გადასასვლელის კონსტრუქციაში რამოდენიმე მილსადენის

მრავალიარუსიანი გატარების შემთხვევაში ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში ქარის ზემოქმედების სიბრტყის სიმაღლედ (მამრავლად) აღება ერთ ჰორიზონტალურ რიგში განთავსებული მილების მაქსიმალური დიამეტრის ზომა. ნახაზზე მოცემული სქემის შემთხვევაში დაქარული მხრიდან ქარის დატვირთვის მნიშვნელობები გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით



ახალი ტიპის კონსტრუქციის მილსადენის მრავალ იარუსიანი გატარების სქემა (ბურჯიდან პირველ განივ კვეთში)

$$W_{1 \text{ დაქ.}} = x_f \check{S}_0 k_h c_{\check{S} \text{ დაქ.}} D_3; W_{2 \text{ დაქ.}} = x_f \check{S}_0 k_h c_{\check{S} \text{ დაქ.}} D_5;$$

$$W_{3 \text{ დაქ.}} = x_f \check{S}_0 k_h c_{\check{S} \text{ დაქ.}} D_1; W_{4 \text{ დაქ.}} = x_f \check{S}_0 k_h c_{\check{S} \text{ დაქ.}} D_6; W_{5 \text{ დაქ.}} = x_f \check{S}_0 k_h c_{\check{S} \text{ დაქ.}} D_8; \quad (13)$$

ამოქარული მხრიდან დატვირთვის მნიშვნელობები გამოითვლება დაქარული მხრიდან მიღებული შედეგების  $c_{\check{S} \text{ ამოქ.}} / c_{\check{S} \text{ დაქ.}}$  ფარდობაზე გამრავლებით.

2) მილის შეგორებისას წარმოქმნილი გორვის ხახუნისგან პორიზონტალური გრძივი ძალა

$$F_{\text{გრძივი}} = m N_1 x_f; \quad (14)$$

სადაც:  $m$  – გორვის ხახუნის კოეფიციენტი;

$x_f = 1.2$  – სამედობის კოეფიციენტი დატვირთვისათვის;

$N_1$  – შესაგორებელი მილის წონისაგან საგორავის საყრდენზე აღძრული ვერტიკალური ძალა.

დ) სეისმური დატვირთვის განსაზღვრა

შემოთავაზებული კონსტრუქციის სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშება წარმოებს როცა ნაშენის მალი 24,0 მეტრის ტოლია ან აღემატება (L 24).

კონსტრუქციის საკუთარი  $i$  -ური რხევის ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა  $S_{ik}$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{ik} = K_1 K_2 K_3 S_{oik}; \quad (15)$$

სადაც,  $K_1$ -კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციის დასაშვებ დაზიანებებს, კონსტრუქციის უნარს განავითაროს არადრეკადი დეფორმაციები, აგრეთვე სეისმომდებობის სხვა რეზერვებს;

$K_2$ -კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობების კონსტრუქციულ გადაწყვეტას;

$K_3$  – კონსტრუქციის მნიშვნელობის კოეფიციენტი ( $K_1$ ,  $K_2$  და  $K_3$  კოეფიციენტები მიიღება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნათა შესაბამისად).

$S_{oik}$  - კონსტრუქციის, როგორც დრეკად - დეფორმირებადი სისტემის საკუთარი რხევის  $i$ -ური ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{oik} = Q_k A S_i K_{\Gamma} K_{\psi_{ik}}; \quad (16)$$

სადაც:  $A$  – სეისმურობის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოცემული დასახლებული პუნქტისათვის გრუნტის საანგარიშო აჩქარების შეფარდებას თავისუფალი ვარდნის აჩქარებასთან;

$S_i$  - კონსტრუქციის საკუთარი რხევის  $i$ -ური ტონის შესაბამისი დინამიკურობის კოეფიციენტი;

$K_{\Gamma}$  - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციულ გადაწყვეტას;

$K_0$  - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბურჯისქვეშა გრუნტის არაწრფივ დეფორმირებას. გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც გრუნტის კატეგორიის კოეფიციენტი განისაზღვრება სეისმური მიკროდარაიონების შესრულების გარეშე;

$\psi_{ik}$  - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია კონსტრუქციის საკუთარი რხევის დროს  $i$ -ური ტონის შესაბამისი დეფორმაციის სახეზე.

$Q_k$  არის კონსტრუქციის  $K$ -ურ წერტილზე მოსული წონა, რომელიც განისაზღვრება საანგარიშო დატვირთვების გათვალისწინებით. შემოთავაზებული კონსტრუქციის დგარების განლაგების ადგილებში მოსული მუდმივი დატვირთვა (წონა) გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_k = \sum x_f b d q_{\text{მუდმ.}}; \quad (17).$$

სადაც:  $x_f$  – დატვირთვათა თანწეობის კოეფიციენტი; +

$\sum q_{\text{მუდმ.}}$  – კონსტრუქციის ერთი გრძივი მეტრის ჯამური წონა მილსადენში განთავსებული გადასატანი მასალის წონის გათვალისწინებით;

$b$  – კონსტრუქციის დგარებს შორის ზომა.

საანგარიშო სქემაში სეისმური დატვირთვა  $S_{ik}$  მოდებულია მილსადენის (ტრადიციული, ერთი მილის გატარების შემთხვევაში) დგარების ღერძების გადაკვეთის წერტილებში, ხოლო, მილების მრავალმარუსიანი მოწყობის დროს დიაფრაგმების (დგარების, კავშირების -ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ელემენტების ერთობლიობა) ჰორიზონტალურ ელემენტებზე, მათი რეალურ განლაგების წერტილებში.

**მესამე თავში** მოცემულია მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის გაანგარიშება და კონსტრუირება, კერძოდ:

შემთავაზებული კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის მდგრადობაზე გაანგარიშება:

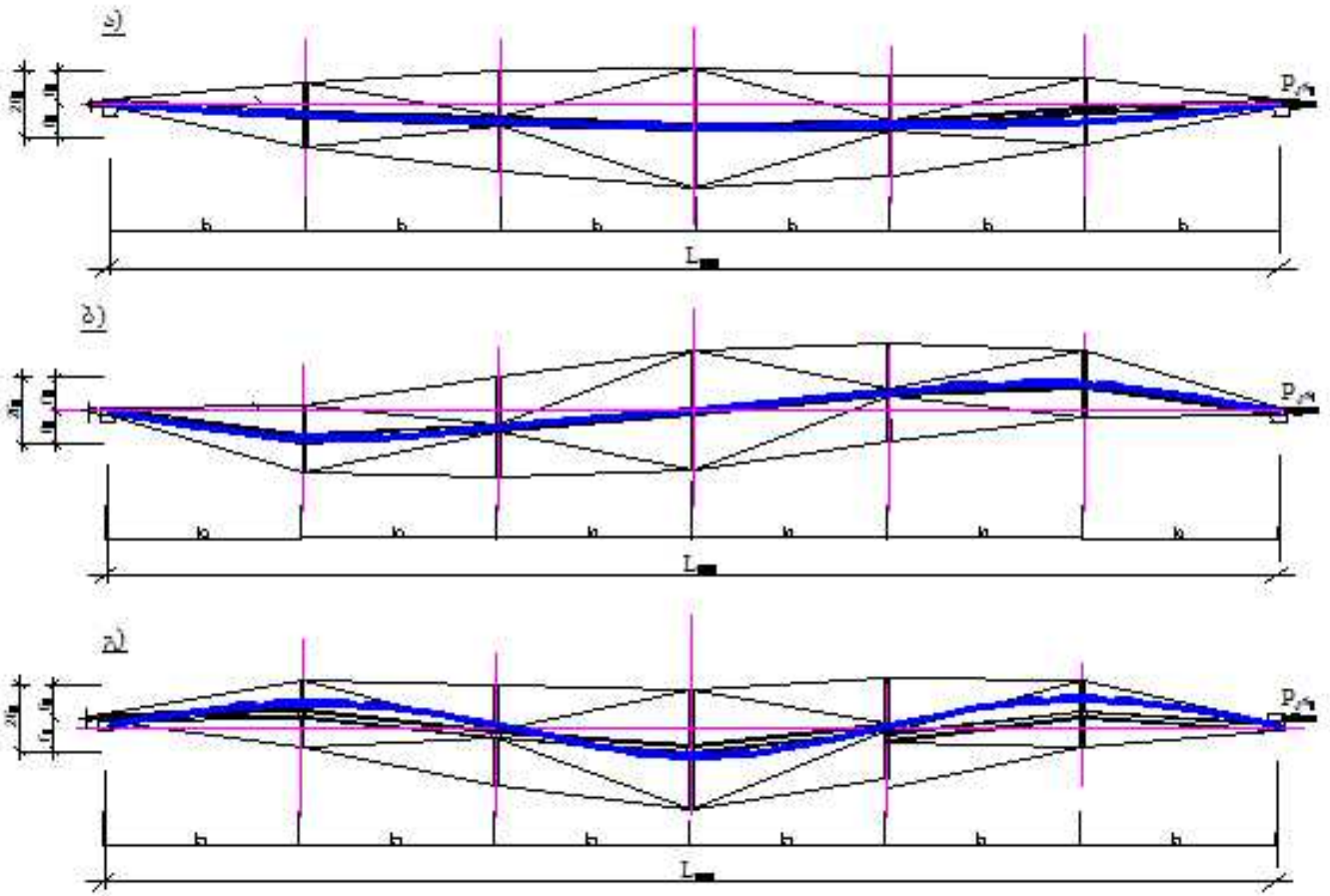
მაგისტრალური მილსადენის დიდმალიანი გადასასვლელის კონსტრუქცია, რომელის მზიდი ელემენტების მისამაგრებელი საკვანძო დეტალები შესრულებულია რვაკუთხა ფორმის პრიზმებისაგან, რომელთა ოთხ ფერდზე რადიალურად განლაგებულია პარაბოლური მოხაზულობის ზედა სარტყლიანი თაღოვანი წამწეები (ანდა სწორხაზოვანი კოჭოვანი კონსტრუქციები), ხოლო დანარჩენ ოთხ ფერდზე რადიალურად განლაგებულ დგარებზე, ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სიბრტყეებში, განთავსებულია საკოჭები (ბაგიროვანი შპრენგელები). წამწეების (ანდა სწორხაზოვანი კოჭოვანი კონსტრუქციების) ზედა სარტყლის კვანძები და ბაგირის დამჭერი რადიანულად განლაგებული დგარები ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან ხისტი კავშირებით და ქმნიან გისოსოვან დიაფრაგმას. ანუ კომბინირებული კონსტრუქციის ხისტი ნაწილი წარმოადგენს იმ ელემენტებს რომლებიც ღებულობენ ბაგიროვანი კონსტრუქციებისაგან აღძრულ მკუმშავ ძალებს, ასევე, მღუნავ მომენტებსა და განივ ძალებს რომლებიც წარმოიშვებიან ბაგირებში (საკოჭებში) აღძრული სხვადასხვა სიდიდის ძალების სხვაობისაგან. ასევე კონსტრუქციის აღნიშნული ნაწილი მუშაობს მასზე მოქმედი ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ზემოქმედებებისაგან (კონსტრუქციის საკუთარი წონა, სასარგებლო დატვირთვა, თოვლი, ქარისა და სეისმური ზემოქმედება) აღძრულ ძალოვან ფაქტორებზე.

შემთავაზებული ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის მდგრადობაზე გაანგარიშება შესრულებულია მისი ცენტრალური ხისტი ნაწილის განივი კვეთის დრეკადი ხაზის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების მეთოდით.

წინასწარ დაძაბული კომბინირებული ახალი ტიპის კონსტრუქციის მდგრადობაზე გაანგარიშება შესაძლებელია „სახსრული ჯაჭვი“-სა და ენგესსერ-ტიმოშენკოს მეთოდებით. „სახსრული ჯაჭვი“-ს მეთოდის გამოყენების დროს გართულებულია დიაფრაგმის (დგარებისა და კავშირების ერთობლიობის) ღუნვის სიხისტის გავლენის გათვალისწინება, ხოლო ენგესსერ-ტიმოშენკოს მეთოდით გაანგარიშებისას, მართალია შესაძლებელია დიაფრაგმების ღუნვის სიხისტის გავლენის გათვალისწინება, მაგრამ ეილერის მრუდის შესაბამისად მდგრადობის დაკარგვისას შეუძლებელია წინასწარ დაძაბვის ძალის გათვალისწინება.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე შემოთავაზებული კონსტრუქციის მდგრადობაზე გაანგარიშებას ვაწარმოებთ მისი ცენტრალური ხისტი ნაწილის განივი კვეთის დრეკადი ხაზის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების მეთოდით. განიხილება  $n$  პანელისაგან ( $n$  ნაწილად დაყოფილი) შედგენილი შემოთავაზებული კონსტრუქციის ხისტი ნაწილი, რომელიც ოთხი მხრიდან გაძლიერებულია სიმეტრიულად განლაგებული პოლიგონალური მოხაზულობის საკოჭებით (შპრენგელური სისტემებით). საანგარიშო სქემა დაყვანილი არის ორ საყრდენზე სახსრულად და 1, 2 ...  $n-1$  (ნახ. 4.1. ა) წერტილებში დრეკად-პლასტიკური საყრდენებზე (რომლებიც ეწინააღმდეგებიან ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ გადაადგილებებსა და  $P$  კრ კრიტიკული ძალის ზემოქმედებით ღეროს გამრუდებასაგან გამოწვეულ შესაბამის განივი კვეთების მობრუნებებს) დამაგრებული  $L$  სიგრძის (ძალის) კოჭის მდგრადობის განსაზღვრის ამოცანამდე.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის მდგრადობის დაკარგვის სავარაუდო ფორმები იქნება მისი ცენტრალური ხისტი ნაწილის ერთი ან ორი ნახევარტალის სახით გაღუნვისას წარმოქმნილი ფორმები, რასაც წინამდებარე გაანგარიშებაში ვუწოდებთ მდგრადობის დაკარგვის პირველ შემთხვევას (ნახ. 4.1. ა) და მდგრადობის დაკარგვის მეორე შემთხვევას (ნახ. 4.1. ბ). შესაძლებელია კონსტრუქციის მდგრადობის დაკარგვის სამი ნახევარტალის შემთხვევა (ნახ. 4.1. გ).



ნახ.4.1. ახალი ტიპის კონსტრუქციის მდგრადობის კარგვის ფორმები. ა) ერთი ნახევარტალღა- პირველი შემთხვევა; ბ) ორი ნახევარტალღა-მეორე შემთხვევა; გ) სამი ნახევარტალღა.

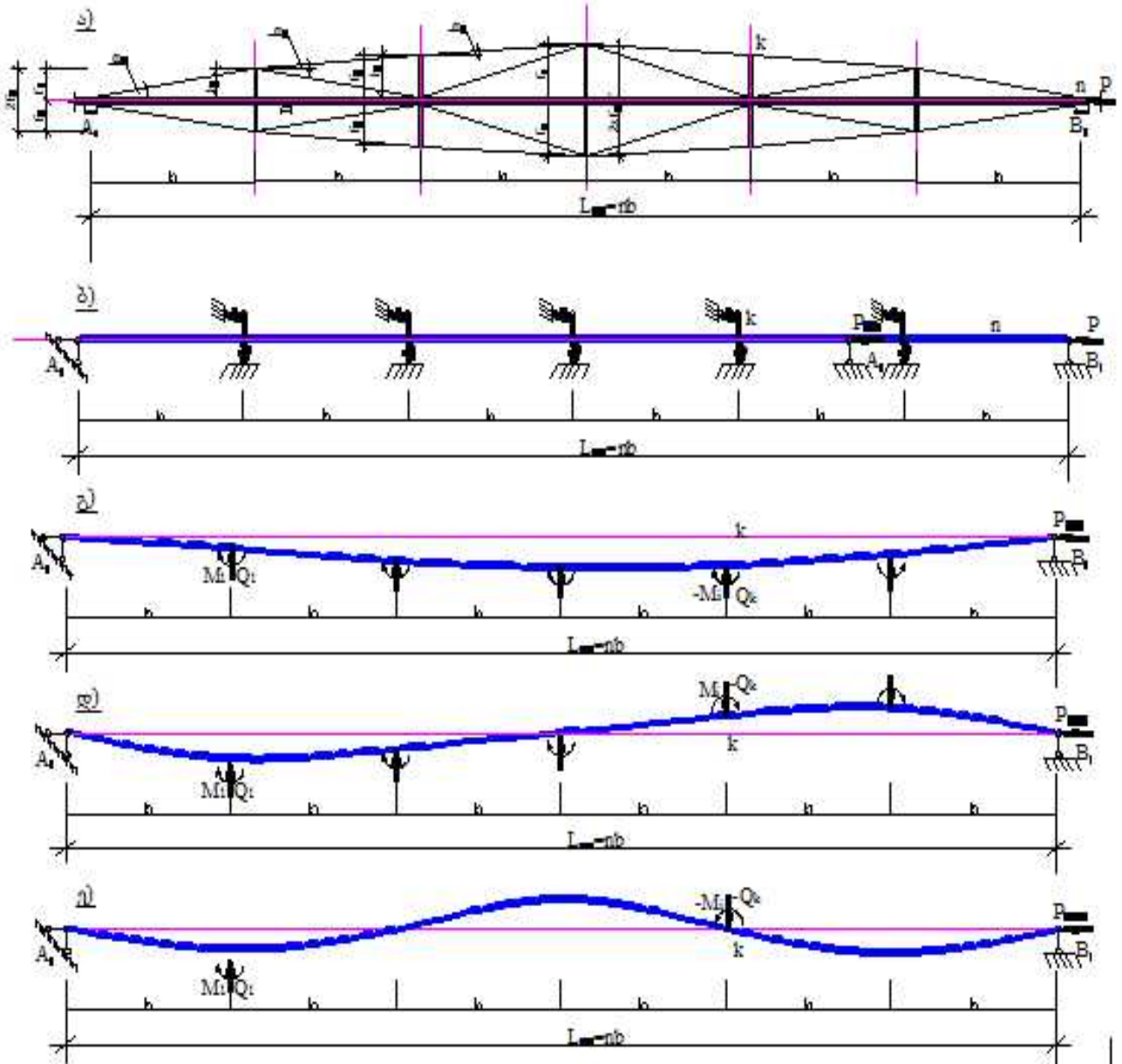
ცენტრალური ხისტი ნაწილის ჩაღუნვები (გადაადგილებები) და მობრუნების კუთხეები საკვანძო წერტილებში ტოლია:

$$u_k = \bar{r}_k \cdot Q_k; \quad \theta_k = -\bar{s}_k \cdot M_k; \quad (18)$$

სადაც,  $Q_k$  და  $M_k$ -k წერტილში რეაქციები და რეაქტიული მღუნავი მომენტები;  $Q_k$  და  $M_k$  მიმართულებები და ნიშნები შესაბამისად დამოკიდებული არის ნახაზ 4.1.ა,ბ,გ მოცემულ მდგრადობის დაკარგვის ფორმებთან;  $r_k$  და  $s_k$  - ხაზოვანი და კუთხურა დამყოლობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია შპრენგელური სისტემის ბაგირების გრძივ და მათი დამჭერი რადიანულად განლაგებული დგარების ღუნვის სიხისტეებზე.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის მდგრადობის ამოცანის გადაწყვეტისას საანგარიშო სქემაზე სასაზღვრო წერტილებში რეაქტიული ძალებისა და მომენტების მიმართულებები აიღება პირობითად, ანუ არაა სავალდებულო მათი ნამდვილი მიმართულებების წინასწარი დადგენა.

საანგარიშო სქემის მარჯვენა ნაწილში განთავსებული წერტილებში ძალოვანი ზემოქმედებების ნიშნები შესაძლებელია მიღებული იქნას დადებითად, ხოლო მარცხენა ნაწილში მდგრადობის კარგვის საძიებო ფორმის მიხედვით – დადებითი ან უარყოფითი (იხ. ნახ. 4.2.გ,დ,ე).



ნახ.4.2. ახალი ტიპის კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის მდგრადობის კარგვის დროს დიაფრაგმების დგარებისაგან გამომცემული დატვირთვების სქემა.

კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის განივი კვეთის  $k$ -ური მონაკვეთის დრეკადი ხაზის დიფერენციალურ განტოლებას ექნება შემდეგი სახე,

$$EI_L \cdot y''(k) + p \cdot y(k) - R_0 \cdot T_k + \sum_{i=1}^{k-1} (T_k - i \cdot L) \cdot Q_i + \sum_{i=1}^{k-1} M_i = 0; \quad (19)$$

სადაც  $(k-1)b \leq X_k \leq k \cdot b$ , აქ  $b$  არის კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის მონაკვეთების ზომა (რვაკუთხა ფორმის პრიზმების განლაგების ზომა);

$y(k)$  - კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის (დეროს)  $k$ -ური მონაკვეთის ჩაღუნვები;

$$R_{(A,B)} = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) \cdot Q_i \pm \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{n-1} M_i \right]; \quad (20)$$

არის ძალოვანი ფაქტორების  $Q_k$  და  $M_k$  ( $k=1,2,\dots,n-1$ ) ზემოქმედებისაგან კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის (ღეროს) საყრდენებში (A და B წერტილებში) აღძრული ვერტიკალური რეაქციები (ინახოს ინგოსთან ერთად!).

ღეროს (კოჭის) გრძივი და განივი ღუნვის შემთხვევისათვის II.4.2 განტოლების ზოგადი ამონახსნს, რომელიც სამართლიანი იქნება კოჭის მოლიან სიგრძეზე, ექნება შემდეგი სახე (კლებშეს მიერ შემოთავაზებული ამოხსნის ხერხის გამოყენებით),

$$y(k) = \frac{R_0 \cdot T_k}{u^2 \cdot E \cdot I_L} + C_1 \cdot \cos u X_k + C_2 \cdot \sin u X_k - \frac{1}{u^3 \cdot E \cdot I_L} \sum_{i=1}^k [u \cdot (X_k - i \cdot b) - \sin u (X_k - i \cdot b)] Q_i - \frac{1}{u^2 \cdot E \cdot I_L} \sum_{i=1}^k [1 - \cos u (X_k - i \cdot b)] M_i, \quad (21)$$

სადაც  $u^2 = P_{კრ.} / EI_b$ .

საკვლევი სისტემის საყრდენების სასაზღვრო პირობების  $y(0) = y(n \cdot b) = 0$ ,  $X_k = kb$  და  $\epsilon = b \cdot u$  შემოტანილი აღნიშვნის გათვალისწინებით II.4.2 განტოლების ამონახსნს ექნება შემდეგი საბოლოო სახე,

$$\sum_{i=1}^{k-1} \left[ n \cdot \frac{\sin(i \cdot \epsilon)}{\cos(k \cdot \epsilon)} - i \cdot \operatorname{tg}(k \cdot \epsilon) - i \cdot (n-k) \cdot \epsilon \right] Q_i + [n \cdot \hat{r}_k \cdot \epsilon^3 + (n-k) \cdot (\operatorname{tg} k \epsilon - k \cdot \epsilon)] Q_k + (\operatorname{tg} k \epsilon - k \cdot \epsilon) \cdot \sum_{i=k+1}^{n-1} (n-i) \cdot Q_i = \frac{1}{b} \left[ \sum_{i=1}^{k-1} [n \cdot \epsilon \cdot \frac{\cos(i \cdot \epsilon)}{\cos(k \cdot \epsilon)} - \operatorname{tg}(k \cdot \epsilon) - (n-k) \cdot \epsilon] M_i - (n \cdot \hat{s}_k \cdot \epsilon^2 \cdot \operatorname{tg} k \epsilon + \operatorname{tg} k \epsilon - k \cdot \epsilon) \cdot M_k - (\operatorname{tg} k \epsilon - k \cdot \epsilon) \cdot \sum_{i=k+1}^{n-1} M_i \right]; \quad (22)$$

სადაც  $\hat{r}_k = (\bar{r}_k \cdot E \cdot I_b) / b^3$ ;  $\hat{s}_k = (\bar{s}_k \cdot E \cdot I_b) / b$ ;

განტოლების ამონახსნის საბოლოო შედეგი (22) წარმოადგენს მაგისტრალური მილსადენის დიდმალიანი გადასასვლელის კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის (ღეროს) გრძივი ღუნვის ამოცანის გადაწყვეტას. განხილულია სიმეტრიული და ირიბსიმეტრიული მდგრადობის კარგვის ფორმების (n-1) ერთგვაროვანი განტოლებების სისტემა  $Q_k$  და  $M_k$  ძალოვანი ფაქტორების ზემოქმედების დროს (მათ შორის ღეროს გაღუნვის ერთი ან ორი ნახევარტალის ფორმის დროს). განტოლების ამონახსნის მიღებულ შედეგში მართებულია ტოლობები:  $|Q_k| = |Q_{(n-k)}|$ ;  $|M_k| = |M_{(n-k)}|$ . (იხ. ნახ. 4.გ, დ)

როგორც ცნობილია, კონსტრუქციის მდგრადობის წონასწორობის საწყისი პირობიდან განსხვავებული ახალი წონასწორობის ფორმის არსებობას შეესაბამება მისი წარმომშობ ძალოვან ფაქტორთა ნულთან ტოლობა. აღნიშნული განმარტება საშუალებას იძლევა 4.4 განტოლებიდან (სისტემის საბოლოო ამონახსნიდან) გამოვრიცხოთ  $Q_k$  და  $M_k$  უცნობები და მივიღოთ შემდეგი სახის მახასიათებელი განტოლება  $\epsilon (\bar{r}_k \cdot \bar{s}_k = 0$ , სადაც როგორც ზემოთ



აღინიშნა ხაზოვანი და კუთხურა დამყოლობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტებია რომლებიც დამოკიდებულია შპრენგელური სისტემის ბაგირების გრძივ და მათი დამჭერი რადიანულად განლაგებული დგარების ღუნვის სიხისტეებზე. მიღებული განტოლების ფესვების პოვნა მიზანშეწონილია არსებული კომპიუტერული ტიპური პროგრამების გამოყენებით.

სისტემის საბოლოო მახასიათებელი განტოლების ამონახსნზე დაყრდნობით, კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის (ღეროს) ნებისმიერი  $n$  მონაკვეთის მდგრადობის წონასწორობის დაკარგვის პირველი ფორმის (ერთი ნახევარტალღის) დროს რეაქტიულ ძალებსა და მომენტებს შორის ადგილი აქვს შემდეგ დამოკიდებულებებს (იხ. ნახ. 4.2.ბ)

$$Q_{n-k}=Q_k; M_{n-k}=-M_k, \quad (23)$$

ხოლო, პანელების ლუწი რიცხვის დროს  $M_{n/2}=0$

კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის (ღეროს) ნებისმიერი  $n$  მონაკვეთის მდგრადობის წონასწორობის დაკარგვის მეორე ფორმის (ორი ნახევარტალღის) დროს (იხ. ნახ. 4.2.გ):

$$Q_{n-k}=-Q_k; M_{n-k}=M_k, \quad (24)$$

ხოლო, პანელების ლუწი რიცხვის დროს  $Q_{n/2}=0$ .

II.4.5 და II.4.6 დამოკიდებულებების II.4.4 განტოლებაში თანმიმდევრულად შეტანის შემდეგ მიიღება ორი მახასიათებელი განტოლება, რომლებსაც გააჩნიათ კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის (ღეროს) მდგრადობის კარგვის სხვადასხვა ფორმების ამსახველი ფესვთა უსასრულოდ ბევრი ამონახსნი. პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება ამონახსნთა მინიმალურ მნიშვნელობას ( $\epsilon_{min}$ ) რომელიც ასახავს მდგრადობის კარგვის რეალურ ფორმას და კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის კრიტიკული ძალის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა-

$$P_{კრ} = (\epsilon^2 \cdot E \cdot I_b) / b^2; \quad (25).$$

კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის მოქნილობა და საანგარიშო სიგრძე განისაზღვრება ფორმულებით:

$$L_{კოჭი} = (fb/\epsilon) \cdot \sqrt{(A_{კოჭი} + A_{ღგარი}) I_b}; \quad (L_{კოჭი})_{ღაყ} = fb/\epsilon; \quad (26)$$

$L_{კოჭი}=n \cdot b$  სიგრძისა და  $f=2 \cdot f_0$  სამადლის შემოთავაზებული ახალი ტიპის კონსტრუქციის საკოჭების კვანძების  $k$ -ური წერტილების ხაზოვანი დამყოლობის კოეფიციენტები ცენტრალური ხისტი დეოების ერთი ნახევარტალღით გადრეკის (გამობურცვის) დროს (მდგრადობის კარგვის პირველი შემთხვევა, იხ. ნახ. 4.ა) გამოითვლება ფორმულით:

როცა კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის (დეროს) დაყოფის რიცხვი კენტია (n=3,5,7 ...)

$$(\bar{r}_{k1})^{\text{კენტია}} = \frac{3(n^2 - 1) \cdot k \cdot (n - k)}{64n^3} \cdot \frac{W_{01} \cdot L_{\text{კოჭი}}^3}{EA_{\text{კოჭი}} \cdot f_0^2}; \quad (27)$$

როცა კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის (დეროს) დაყოფის რიცხვი ლუწია (n=2,4,8 ...)

$$(\bar{r}_{k1})^{\text{ლუწია}} = \frac{3 \cdot n \cdot k \cdot (n - k)}{64(n^2 - 1)} \cdot \frac{W_{01} \cdot L_{\text{კოჭი}}^3}{EA_{\text{კოჭი}} \cdot f_0^2}; \quad (28)$$

სადაც  $\Phi_{01}$  დიაფრაგმის დგარების პარამეტრია და გამოითვლება ფორმულით,

$$W_{01} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\cos^2 r_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ 1 + \left( \frac{n+1-2i}{n-1} \right)^2 \text{tg}^2 r_{01} \right]^{3/2}; \quad (29)$$

საკოჭების სამაგრი დგარების კვანძების k-ური წერილების კუთხურა დამყოლობა  $\bar{S}_k = \bar{S}'_{k1} + \bar{S}''_k$  განპიროვნებულია საკოჭის გრძივი დრეკადი დეფორმაციებით და დიაფრაგმის დგარების ღუნვით. ჯამში შემავალი წევრებიდან კოეფიციენტი  $\bar{S}'_{k1}$  განისაზღვრება მიახლოებით, რომელიც მნიშვნელოვნად მცირეა  $\bar{S}''_k$  კოეფიციენტზე.  $\bar{S}''_k$  კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით,

$$\bar{S}''_k = \frac{n(n-1)}{4k(n-k) \cdot EA_{\text{დგ}} \cdot L_{\text{კოჭი}} \cdot \text{tg} r_{01}}; \quad (30)$$

სადაც  $EA_{\text{დგ}}$  - საკოჭის სამაგრი დიაფრაგმის დგარის სიხისტე;  $r_{01}$  - საყრდენთან საკოჭის პირველ მონაკვეთსა და ცენტრალური დეროს შორის კუთხე.

შემოთავაზებული ახალი ტიპის კონსტრუქციის საკოჭების კვანძების k-ური წერილების საზოგადო დამყოლობის კოეფიციენტები  $\bar{r}_{k2} = \bar{r}'_{k2} + \bar{r}''_{k2}$ , ცენტრალური ხისტი დეროების ორი ნახევარტალდით გადრეკის (გამობურცვის) დროს (მდგრადობის კარგვის მეორე შემთხვევა, იხ. ნახ. 4.ბ) რომლებიც დამოკიდებული არიან საკოჭის დრეკად და კინემატიკურ დეფორმაციებზე გამოითვლება შემდეგი დამოკიდებულებიდან

$$\bar{r}_{k2} = \frac{k^2(n-k)^2 \cdot W_{01} \cdot L_{\text{კოჭი}}^3}{2n^3(n-1)^2 \cdot EA_{\text{კოჭი}} \cdot f_0^2} \cdot \frac{B_{1\text{საკ.}}}{B_{2\text{საკ.}}}; \quad (31)$$

სადაც  $B_{1საკ.}$  და  $B_{2საკ.}$  საკოჭების სისტემის (შემოთავაზებულ კონსტრუქცია შეიცავს ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სისტემებს) რაოდენობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი რომლებიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულებიდან,

$$B_{1საკ.} = k \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) \cdot Q_i \pm n \sum_{i=1}^{n-1} i(n-i) \cdot Q_i; \quad B_{2საკ.} = \frac{n(n+1)}{3(n-1)}; \quad (32)$$

საკოჭების დგარების კვანძების  $k$ -ური წერტილების კუთხურა დამყოლობა მდგრადობის კარგვის მეორე შემთხვევისას,  $\bar{S}_{k2} = \bar{S}'_{k2} + \bar{S}''_{k2}$ , გამოთვლა წარმოებს  $\bar{S}_k = \bar{S}'_{k1} + \bar{S}''_k$  კოეფიციენტების გამოთვლის ანალოგიურად;

### შემოთავაზებული კონსტრუქციის ბაგიროვანი ნაწილის გაანგარიშება

კომბინირებული კონსტრუქციის ბაგიროვანი ნაწილის წინამდებარე გაანგარიშება შესრულებულია დიფერენცირებული საანგარიშო სქემის გამოყენებით.

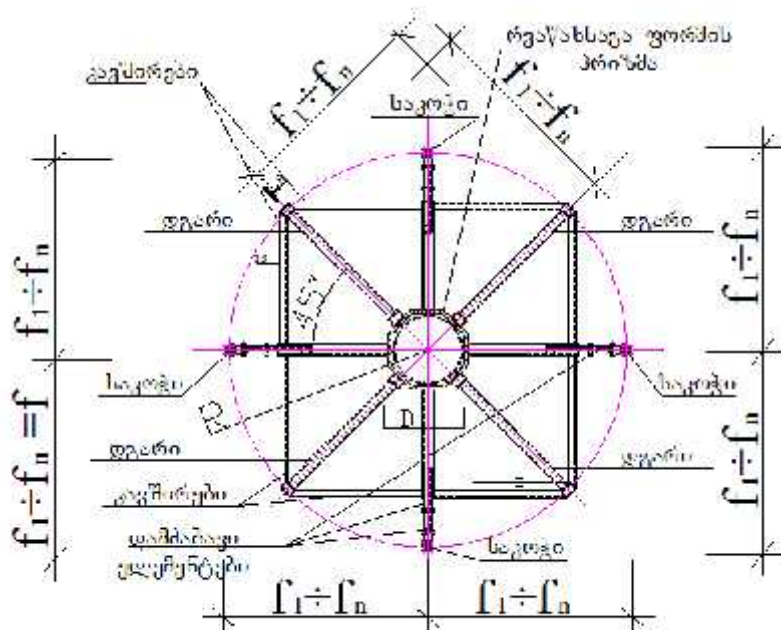
შემოთავაზებული კონსტრუქციის შემადგენლობაში შემავალი საკოჭები (ბაგირები), როგორც კვლევის ობიექტი, წარმოადგენს რთულ სისტემას და ხასიათდება მთელი რიგი თავისებურებით, რომელთა გათვალისწინებას პროექტირების დროს არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება. ბაგირივანი ნაწილის სრულყოფილი მათემატიკური აღწერა და მოდელირება დაკავშირებულია სხვადასხვა სახის სირთულეებთან; კერძოდ, მთელი სისტემა სივრცეში განლაგებულია დიდი ზომის გადასასვლელებზე (მისი მაღი შესაძლოა რამოდენიმე ასეულ მეტრის ტოლი იყოს), გაჭიმული ბაგირი ურთიერთკავშირში მრავალ ელემენტთან, როგორებიცაა, საყრდენი კვანძის ელემენტები, დგარები, საკვანძო მომჭერები ბაგირის ჩასამაგრებელი მიმმართველები. ყველა აღნიშნული თავის მხრივ წარმოადგენს არაწრფივ ელემენტებს. ბაგირს გააჩნია სიხისტე და ამდენად ადგილი აქვს დრეკად დეფორმაციასა და რხევას. განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია მომჭერებისაგან (კლემების მოჭერისაგან) წარმოშობილი ძალის არსებობა. ამრიგად, საკოჭების (ბაგირების) სისტემის მათემატიკური აღწერა ხდება ცვლად კოეფიციენტებიანი არაწრფივი განტოლებათა სისტემით, რომლის ამოხსნა პრაქტიკულად არცთუ ადვილი ამოცანაა. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ კონსტრუქციების გაანგარიშებები (არსებული ტიპური ან სპეციალური პროგრამების გამოყენებით), როგორც ერთიანი სივრცითი სისტემები ცხადია

ძალოვან ფაქტორების ზუსტ და საიმედო შედეგებს იძლევა [1], მაგრამ ასეთი სიზუსტე ყოველთვის არ ესაჭიროება დამპროექტებელს, რადგანაც ხშირ შემთხვევებში გაანგარიშებები დიფერენცირებული სქემის გამოყენებით მიღებული შედეგები დამპროექტებლისათვის საკმარისი სიზუსტით უახლოვდება სივრცითი სისტემის გაანგარიშებიდან მიღებულ შედეგებს და იგი არ მოითხოვს დიდ შრომის დანახარჯებს.

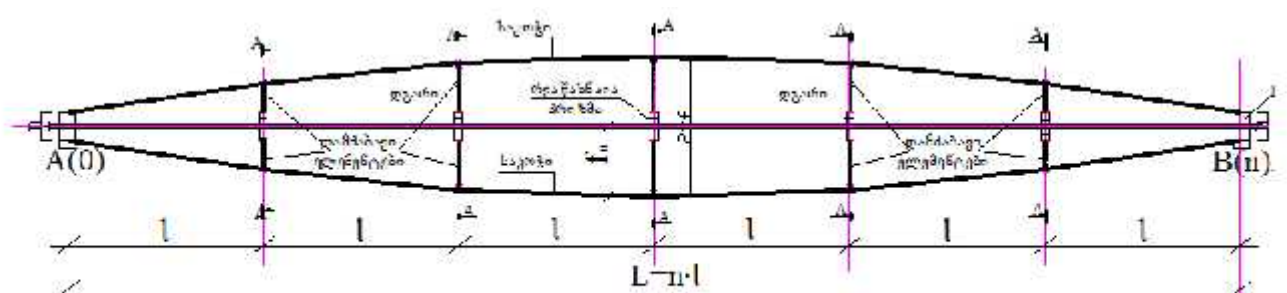
ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, შემოთავაზებული წინასწარ დაძაბული ახალი ტიპის კომბინირებული კონსტრუქციის ბაგიროვანი ნაწილის გაანგარიშება შესრულებულია დიფერენცირებული სქემის და დრეკად გაჭიმული „მოქნილი ძაფის“ საანგარიშო ფორმულების გამოყენებით.

ვერტიკალურ სიბრტყეში განლაგებული საკოჭის საანგარიშო სქემად მიჩნეულია ორ საყრდენზე (A და B წერტილებში) უძრავად ჩამაგრებული არადრეკადი (უჭიმვადი) უწონო ძაფი, რომელიც დატვირთულია შეყურსული ძალებით (ნახ.№1). შემოთავაზებული კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტის მიხედვით როგორც შესავალში აღინიშნა, საკოჭების წინასწარ დაძაბვა ხორციელდება დგარების სათანადო ელემენტების სინქრონული ბრუნვით, რაც იწვევს დგარების საკოჭთან ჩამაგრების კვანძების რადიალურად გადაადგილებას, ამიტომ მნიშვნელოვანია საკოჭის დგარებთან ჩამაგრების წერტილების რადიალური გადაადგილებათა სიდიდის განსაზღვრას, ანუ კვანძების გადაადგილებასა და უშაოლოდ მათზე მოქმედი კვანძურ დატვირთვებს შორის პირდაპირი დამოკიდებულების განსაზღვრას [2].

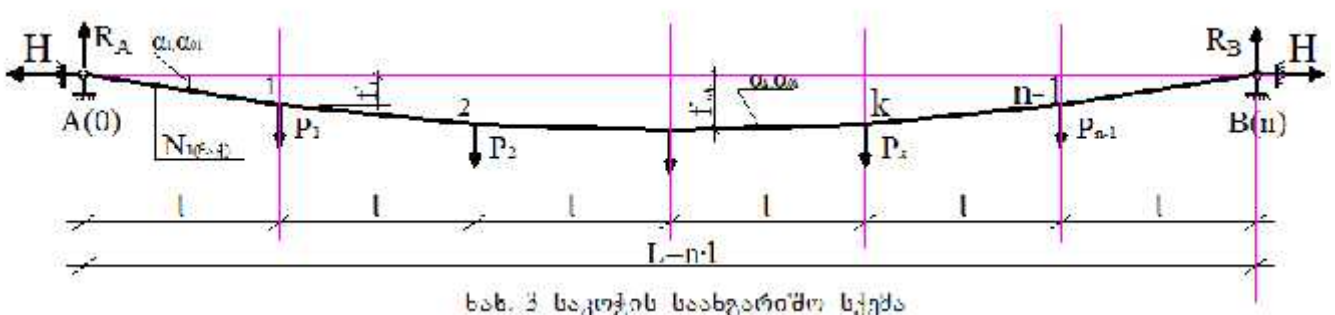
საკოჭის დგარებთან შეერთების კვანძებზე მოქმედი შეყურსული განივი ძალა შედგება შემდეგი სახის დატვირთვების ზემოქმედებისაგან; მუდმივი დატვირთვა (კონსტრუქციული მოსაზრებით კონსტრუქციის მუდმივი დატვირთვა მოდებულია სივრცითი კონსტრუქციის ვერტიკალურ სიბრტყის ქვედა შრეში განლაგებულ საკოჭზე) ბ). ლიპყინულის დატვირთვა და გ). ლიპყინულის დროს ქარის ზემოქმედება. აღნიშნული დატვირთვები მოდებული არის საკოჭის დგარებთან შეერთების კვანძების (1, 2, ....., n-1) წერტილებში (ნახ. 3) როგორც შეყურსული ძალები  $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$ . საკოჭის დგარებთან ჩამაგრების წერტილებს შორის ზომა  $l$ , მალი, A და B წერტილებს შორის ზომა  $L = l \cdot n$  [A(0)-დან B(n)-მდე].



ნახ. 1 კონსტრუქციის განივი კვეთი A-A



ნახ. 2 კონსტრუქციის გრძივი კვეთი



ნახ. 3 საკოჭის სახეგარეშო სქემა

საკოჭის ჩამაგრების წერტილებში ვერტიკალური და პორიზონტალური (სისტემის გამბრუნენი) რეაქციები გამოითვლება ფორმულებით;

$$R_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)P_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} iP_i, (R_A = R_B = R_0) \quad (33)$$

$$H = \frac{R_0}{tg\gamma_1} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (n-i)P_i}{ntg\gamma_1} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} iP_i}{ntg\gamma_n} \quad (34)$$

როცა განივი შეყურსული ძალების სიდიდეები ტოლია, გამბრჯენის მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით;

$$H = [(n-1)P] / (2tg\gamma_{01}) \quad (35)$$

სადაც P არის საკოჭის ჩამაგრების წერტილებში მოქმედი ვერტიკალური (განივი) ძალა;  $r_i$ - საკოჭის პირველ პანელსა და A და B წერტილებზე გამავალ

ჰორიზონტალურ ხაზს შორის კუთხე;

საკოჭის  $k_i$ -ური მონაკვეთის დახრის კუთხე მის წვეროზე გამავალ ჰორიზონტალურ ხაზთან გამოითვლება ტოლობიდან;

$$tg\gamma_k = \frac{R_0 - \sum_{i=1}^{k-1} P_i}{H} = \frac{R_0 - \sum_{i=1}^{k-1} P_i}{R_0} tg\gamma_1 \quad (36)$$

(35) ფორმულაში საყრდენი რეაქციის მნიშვნელობის გათვალისწინებით საკოჭის  $k_i$ -ური მონაკვეთის დახრის კუთხე ნებისმიერ წერტილში გამოითვლება ფორმულით, როდესაც  $1 \leq k \leq n-1$ ;

$$P_1 \neq P_2, \dots, \neq P_i, \quad tg\gamma_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (n-i)P_i - n \sum_{i=1}^{k-1} P_i}{\sum_{i=1}^{n-1} (n-i)P_i} tg\gamma_1; \quad (37) \quad P_1 = P_2, \dots, = P_i, \quad tg\gamma_k = \frac{n+1-2k}{n-1} tg\gamma_1; \quad (38)$$

საკოჭის ცალკეულ მონაკვეთებში აღძრული გამჭიმავი ძალა, როცა საკოჭზე მოქმედებს სხვადასხვა სიდიდის ან ტოლი კვანძური ძალები, გამოითვლება

$$\text{ფორმულებით; } P_1 \neq P_2, \dots, \neq P_i, N_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (n-i)P_i}{n \cdot tg \gamma_1 \cos \gamma_k}; \quad P_1 = P_2, \dots, = P_i, N_k = \frac{(n-1)P}{2 \cdot tg \gamma_1 \cos \gamma_k}; \quad (39)$$

ასევე, გაანგარიშების გამარტივების მიზნით შესაძლებელია საკოჭის განივი კვეთში აღძრული მაქსიმალური გამჭიმავი ძალის გამოთვლა შემდეგი

$$\text{ფორმულით; } N_{\text{საკოჭ}}^{\text{მაქ}} = \sqrt{R_0^2 + H_0^2}; \quad (40)$$

პროექტირებისათვის საჭირო სიზუსტით დამრეცი საკოჭის ( $f_0/L \leq 1/10$ ) სიგრძის გამოთვლა შესაძლებელია კვადრატული პარაბოლის

$$\text{გამოყენებით; } S_{\text{საკოჭ}} = \frac{L}{2} [\sqrt{1+c^2} \pm \frac{1}{c} \ln \sqrt{1+c^2} \pm c], \quad (41)$$

სადაც  $c = 4f_0/L$ . როცა საკოჭი დატვირთულია (როცა საკოჭზე მოქმედებს სხვადასხვა სიდიდის ან ტოლი კვანძური ძალები) და  $L = \text{const}$  საკოჭის სიგრძე გამოითვლება ფორმულით;

$$P_1 \neq P_2, \dots, \neq P_i, S_{\text{ბაჰ}} = l \sum_{i=1}^n \sqrt{1 + tg^2 r_i} \approx l(n+1 \sum_{i=1}^n tg^2 r_i); \quad (42)$$

$$P_1 = P_2, \dots, = P_i, S_{\text{ბაჰ}} = nl[1 + \frac{n+1}{6(n-1)} tg^2 r_1]; \quad (43)$$

როცა კონსტრუქციის მოქნილი ნაწილის დაყოფის რიცხვი კენტია ( $n=3,5,7 \dots$ )

$$P_1 = P_2, \dots, = P_i, S_{\text{ბაჰ}}^{\text{კმ}} = L[1 + \frac{8n^2}{3(n^2-1)} (\frac{f_{\text{ბაჰ}}}{L})^2]; \quad (44)$$

როცა კონსტრუქციის მოქნილი ნაწილის დაყოფის რიცხვი ლუწია ( $n=2,4,8 \dots$ )

$$P_1 = P_2, \dots, = P_i, S_{\text{ბაჰ}}^{\text{ლწ}} = L[1 + \frac{8(n^2-1)}{3n^2} (\frac{f_{\text{ბაჰ}}}{L})^2]; \quad (45)$$

სადაც  $f_{\text{ბაჰ}} = f_0 - 0.5D_{\text{პრ}}$  არის საკოჭის მაქსიმალური ჩაღუნვა. აქ  $f_0$  - კონსტრუქციის მაქსიმალური ჩაწეულობა;  $D_{\text{პრ}}$  არის კონსტრუქციის ცენტრალური ნაწილის რვაკუთხა ფორმის პრიზმის ფუძის ამგები წრის დიამეტრი.

(44) და (45) ფორმულებით გამოთვლილი შედეგები ემთხვევა (9) ფორმულით გამოთვლილ საკოჭის სიგრძის ზუსტ მნიშვნელობებს. ასევე, როცა  $n$  (44) და (45) ფორმულები დადის პარაბოლის სიგრძის განსაზღვრის ცნობილ ფორმულაზე [3], რომლის გამოყენება პროექტირებისას მიზანშეწონილია;

$$P_1 = P_2, \dots, = P_i, S_{\text{ბაჰ}} = L[1 + \frac{8}{3} (\frac{f_{\text{ბაჰ}}}{L})^2]; \quad (46)$$

შეყურსული ძალებით ( $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$ ) დატვირთული საკოჭის საკვანძო წერტილების ორდინატების განსაზღვრა შესაძლებელია იმ მოსაზრებიდან გამომდინარე, რომ მისი წონასწორობის ფორმა მსგავსია ორ საყრდენზე მდებარე  $L$  მალის კოჭის (რომელიც დატვირთულია ანალოგიური შეყურსული ძალებით) მდუნავი მომენტების ეპიურის.  $k$  წერტილში მდუნავი მომენტი გამოითვლება ფორმულით;

$$M_k = [k - n \frac{\sum_{i=1}^{k-1} (k-i)P_i - n \sum_{i=1}^{k-1} P_i}{\sum_{i=1}^{n-1} (n-i)P_i}] R_0 l \quad (47)$$

(47) ფორმულაში პირველი წერტილის ორდინატის  $f_1 = l \cdot tg r_1$  და მდუნავი მომენტი

$M_1 = \bullet R_0$  შეტანის შემდეგ  $k$ -ური წერტილის ორდინატის გამოსათვლელ ფორმულას ექნება სახე;

$$f_k = [k - n \frac{\sum_{i=1}^{k-1} (k-i)P_i - n \sum_{i=1}^{k-1} P_i}{\sum_{i=1}^{n-1} (n-i)P_i}] l \cdot tg r_1 \quad (48)$$

საკოჭის საკვანძო წერტილების ორდინატების ჯამი გამოითვლება ფორმულით;

$$\sum_{i=1}^{n-1} f_i = \frac{n}{2} \frac{\sum_{i=1}^{n-1} i(n-i)P_i - n \sum_{i=1}^{n-1} P_i}{\sum_{i=1}^{n-1} (n-i)P_i} l \cdot tg r_1 \quad (49)$$

საკოჭზე ტოლი კვანძური დატვირთვების შემთხვევაში (48) და (49) ფორმულებს აქვს შედეგი სახე;

$$P_1 = P_2, \dots, P_n, f_k = \frac{k(n-k)}{n-1} l \cdot tg r_1; \quad \sum_{i=1}^{n-1} f_i = \frac{n(n+1)}{6} l \cdot tg r_1 \quad (50)$$

წინასწარდაძაბვის (დგარების საკოჭთან შეერთების კვანძების რადიალური გადაადგილების შემდეგ) საკოჭის k-ური წერტილის ორდინატის მნიშვნელობა ტოლი იქნება  $f_{0k} = f_k + \Delta f_k$ , სადაც  $f_k$  არის გადაადგილების ნაზრდი წინასწარდაძაბვისაგან.

წინასწარდაძაბვის სიდიდე საკოჭში მიიღება  $N_{\text{წინ.}} = (0.2 \div 0.3) N_{\text{მაქ. p}}$  [2]. ანუ საკოჭში აღძრული მაქსიმალური ჯამური ძალა  $N_{\text{საკ.მაქ.}} = (1.2 \div 1.3) \cdot N_{\text{მაქ. p}}$ .

საკოჭთან ჩამაგრების კვანძების რადიალური გადაადგილები რომელსაც აღძრავს ძალა ( $P_{\text{წინ.}}$ ) გამოითვლება (38) ფორმულის გარდაქმნით;

$$\Delta P_{\text{წინ.}} = \frac{(0.2 - 0.3) N_{\text{მაქ. p}} \cdot 2tg r_{01} \cos r_{01}}{n-1}; \quad (51)$$

სადაც  $r_{01}$  არის საკოჭის პირველი პანელის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან მისი დგარებთან შეერთების კვანძების გადაადგილებით დაძაბვის შემდეგ;  $N_{\text{მაქ. p}}$  -  $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$  კვანძებზე მოქმედი ძალებისაგან საკოჭში აღძრული მაქსიმალური ძალა.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულებში k-ური წერტილის ორდინატის გამოსათვლელი ფორმულები შეესაბამება არადრეკადი (უჭიმვადი) საკოჭის საწყის მდგომარეობას, რომელიც დატვირთულია შეეურსული ძალებით. არადრეკადი (უჭიმვადი, არაცვლადი სიგრძის) საკოჭის ძირითადი პარამეტრების დასადგენად (დაძაბვის შემდეგ) განვსაზღვროთ დამოკიდებულება  $r_{01}$ , -სა და  $r_1$ -ს შორის. აღნიშნულის გადასაწყვეტად გარდაქმნათ (40) ფორმულა (36)-ს გამოყენებით;



$$S_{\text{საკ.}} = n l \left[ 1 + \frac{t g^2 r_1}{2 R_0^2} \sum_{i=1}^n \left( R_0 - \sum_{i=1}^{n-1} P_i \right)^2 \right]; \quad (52)$$

(33) და (42) ფორმულებით მიღებული შედეგების გატოლებითა და გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ 01, -სა და 1-თ კუთხეებს შორის დამოკიდებულებას;

$$t g r_1 = \sqrt{\frac{n(n+1)}{3(n-1) \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \left( R_0 - \sum_{i=1}^{n-1} P_i \right)^2 \right]}} \cdot R_0 \cdot t g r_{01} \quad (53)$$

წინასწარდაძაბვისაგან კვანძების გადაადგილების ნაზრდი გამოითვლება ფორმულით  $f_k = f_{0k} - f_k$ ; სადაც  $f_{0k}$  იანგარიშება 01,-ს, ხოლო  $f_k$  1-ს საკოჭის პირველი პანელის ჰორიზონტთან დახრის კუთხეების მიხედვით. გამოსათვლელად გამოიყენება (48) და (18) ფორმულები.

კონსტრუქციული მოსაზრებით ვერტიკალურ სიბრტყის ქვედა შრეში განლაგებულ საკოჭის დაძაბვა ხორციელდება ლიპყინულის დატვირთვისა და წინასწარდაძაბვის რადიალური ძალების ჯამისაგან გაანგარიშებული გადაადგილების მიხედვით. ასევე, შემოთავაზებული სივრცითი კონსტრუქციის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში განლაგებული საკოჭების განივი კვეთები მიიღება ვერტიკალური სიბრტყის ქვედა შრის გაანგარიშებიდან მიღებული შედეგების ანალოგიური;

გარეცხვანტრულად შეკუმშული ღეროების ზიდვის უნარის განსაზღვრა  
(ალბათური ინტერპრეტაცია).

მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის აღწერაში არის მოცემული, რომ მისი ძირითადი მზიდი ელემენტები არის პარაბოლური მოხაზულობის ზედა სარტყლიანი თაღოვანი წამწვე (ან სწორხაზოვანი, მთლიანკედლიანი ან გამჭოლი კოჭოვანი კონსტრუქციები) და წინასწარ დაძაბული მზიდი ბაგროვანი ელემენტები. ანუ შემოთავაზებული კონსტრუქცია შედგება ხისტი და მოქნილი (ბაგროვანი) ნაწილების (ელემენტების) ერთობლიობისაგან. კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის ელემენტები ძირითადად კუმშვაზე ან გარეცხვანტრულ კუმშვაზე მუშაობენ.

ხისტი ნაწილის ელემენტების გაანგარიშებისას მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს მკუმშავი ძალის ზემოქმედებისას მათი ზიდვის უნარის

ამოწურვისა და შენობა-ნაგებობების ჩონჩხედის ცალკეული ელემენტების მტყუნების ალბათობის დადგენა.

მკუმშავი ძალით დატვირთულ რეალურ კონსტრუქციის ელემენტებს ყოველთვის გააჩნიათ საწყისი გაღუნვა, ხოლო მკუმშავი ძალები მოქმედებენ რაღაც ექსცენტრისიტეტებით, ანუ ღეროები დატვირთულია მკუმშავი ძალით და შემთხვევით მღუნავი მომენტით. ამასთან შეკუმშულ-გაღუნული ღერო დაიყვანება ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემად, რაც არ იძლევა დიდ ცდომილებას გაანგარიშების შედეგებში და მისაღებია პრაქტიკული თვალსაზრისით. სისტემის „არასრულყოფილების“ ფაქტორები (ექსცენტრისიტეტები, საწყისი გაღუნვები) შემთხვევითი სიდიდეები არიან და მათთვის შესაძლებელია დადგინდეს შესაბამისი განაწილების მრუდები. აღნიშნულ სიდიდეებზე დამოკიდებული კონსტრუქციის ელემენტების ფუნქციური დანიშნულებისათვის (განსახილველ შემთხვევაში მდგრადობისათვის) შეიძლება მოინახოს, აგრეთვე, განაწილების გარკვეული კანონი და ამგვარად განისაზღვროს, ამა თუ იმ პირობებში, ზიდვის უნარის ამოწურვის ალბათობა.

გრძივი ძალის ექსცენტრული მოქმედებისა და საწყისი სიმრუდის ერთობლივი გათვალისწინების იდეა ეკუთვნის ფ. იასინსკის, რომელმაც საანგარიშო ექსცენტრისიტეტი ღეროს შუაში შემდეგი სახით წარმოადგინა [2];

$$e = e_0 + f_0 = r/10 + l/750 \quad (54)$$

სადაც  $r$  კვეთის გულის რადიუსია (მანძილი).

ფოლადის კონსტრუქციების ამჟამად მოქმედი ნორმატიული მასალებით [5] მიღებულია  $e = i/10 + l/750$ , (55). აქ  $i$  განივი კვეთის ინერციის რადიუსია.

თუ ამ დამოკიდებულებაში კვეთის გულის რადიუსს  $r$ -ს შევიტანთ, (55) შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით;  $e = e_0 + f_0 = r/10 + l/750$ , (56).

სადაც  $r = i/20$  (სხვადასხვა განივი კვეთებისათვის ადვილია  $r$ -ს რიცხვითი მნიშვნელობის გამოთვლა. სწორკუთხა განივი კვეთისათვის  $i = r\sqrt{3}$ ,  $r = 0.0866$ ).

(54) და (55) დამოკიდებულებების შედარებიდან გამოდის, რომ ერთი და იგივე  $e$ -სათვის  $r/10 = i/20$ , ანუ  $i = 2r$ , ხოლო რეალურად, იგივე სწორკუთხა განივი კვეთისათვის  $i = 1.732r$ , სხვაობა საგრძნობია. გარდა ამისა უფრო მართებულად არის მიჩნეული (56) დამოკიდებულებაში ემპირიული საწყისი გაღუნვის  $f_0 = l/750$  ნაცვლად დადგენილი იქნას ღეროს ღერძის მაქსიმალური საწყისი სიმრუდე  $t_0$  [2], რომელიც წარმოადგენს განაპირა ბოჭკოების ნარჩენი წაგრძელებების

სხვაობის  $'$  -ს ფარდობას განივი კვეთის სიმაღლესთან;  $t_0 = ' / h$ . დავუშვათ, რომ საწყისი სიმრუდე (ისე როგორც საწყისი გაღუნვა) იცვლება ღეროს მოვლ სიგრძეზე სინუსოიდური კანონით;

$$t = t_0 \sin \frac{f}{l} z; \quad (57)$$

როგორც ცნობილია, თუ სიმრუდის საერთო გამოსახულებაში ჩავთვლით, რომ ღეროს ღუნვა მცირეა მის სიგრძესთან შედარებით, მაშინ გაღუნული ღერძი იქნება დამრეცი მრუდი და  $(dv/dz)^2 = 1 - v_0''$ , ამ შემთხვევაში მიიღება;

$$t = d^2 v_0 / dz^2 = -v_0''; \quad (58)$$

სადაც  $v_0 = v_0(z)$  საწყისი გაღუნვის სიდიდეა  $z$  განივი კვეთში. საწყისი გაღუნვის ცვალებადობას ღეროს სიგრძეზე, მიახლოებით, სინუსოიდის სახით წარმოადგენენ.  $v_0 = f_0 \sin \frac{f}{l} z$ , ხოლო სიმრუდე იქნება;

$$v_0'' = -f_0 \frac{f^2}{l^2} \sin \frac{f}{l} z \quad (59)$$

(58)-ში (57)-სა და (59)-ს შეტანის შედეგად განისაზღვრება, ღეროს სიგრძისა და განივი კვეთის ზომებთან ფუნქციურ დამოკიდებულებაში, საანგარიშო საწყისი გაღუნვა ღეროს სიგრძის შუაში;

$$f_0 = \frac{t_0 l^2}{f^2} = \frac{' l^2}{f^2 h} \quad (60)$$

მაშასადამე (56) ფორმულის ნაცვლად მივიღებთ;

$$e = e_0 + f_0 = r r + \frac{' l^2}{f^2 h} = r \left( r + \frac{' i^2}{f^2 h r} \right)^2$$

სადაც  $\} = l/i$  ღეროს მოქნილობაა. მაშინ ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი ტოილ იქნება;  $m = \frac{e}{r} = r + s\}$  (61)

$$s = \frac{' i^2}{f^2 h r} = \frac{'}{f^2 h} \cdot \frac{I/A}{W/A} = \frac{' \cdot x}{f^2 h} \quad (62)$$

ვინაიდან ინერციის მომენტის ფარდობა წინააღობის მომენტთან  $I/W = x$ , სადაც  $x$  მანძილია განივი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან ყველაზე უფრო დაშორებულ, შეკუმშულ (გაჭიმულ) ბოჭკომდე. ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი (61) წარმოადგენს შემთხვევით ფუნქციას შემთხვევითი არგუმენტებით;

$$\tilde{m} = \tilde{r} + \tilde{s}\}^2 \quad (10)$$

სადაც } -დეტერმინირებული სიდიდეა, ხოლო  $\tilde{r}$  და  $\tilde{h}$  -შემთხვევითი სიდიდეები, რომელთა განაწილების მრუდი შეიძლება მივიჩნიოთ ნორმალურად, ცენტრით კოორდინატთა სათავეში.

კონსტრუქციის მდგრადობა ექსპლუატაციის პირობებში შეიძლება დახასიათდეს დამოუკიდებელი პარამეტრების სრული რაოდენობით  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ . ამ პარამეტრებიდან ზოგიერთი ახასიათებენ დატვირთვებს, მეორენი მასალის სიმტკიცეს, მესამენი- კონსტრუქციის პირობების გადახრას საანგარიშო სქემიდან და ა. შ. ამ პარამეტრების რიცხვში არ შედიან ის სიდიდეები, რომელთა რეალიზაცია კონსტრუქციებში ხდება გაანგარიშებებთან ზუსტ შესაბამისობაში, ან მცირედი დაშვებით და მათი გავლენა კონსტრუქციის მუშაობაზე შეიძლება უგულებელვყოთ.

ამრიგად პარამეტრები  $q_1, q_2, \dots, q_n$  ჩაითვლებიან შემთხვევით სიდიდეებად, რომელთა ალბათობის ერთობლივი სიმკრივე  $P(q)$  ცნობილია. გაანგარიშება უნდა ეფუძნებოდეს იმის ალბათობის განსაზღვრას, რომ არ იქნება მიღწეული დაშვებული ზღვრული მდგომარეობა. რღვევის ალბათობის განსაზღვრისათვის მიზანშეწონილია შემოვიდოთ შემთხვევითი სიდიდე, რომელიც ზღვრული მდგომარეობის პირობის შესაბამისად შეიძლება ჩაითვალოს ზიდვის უნარის მარაგად [1,2];

$$\tilde{L}(q) = \tilde{R}(q) + \tilde{H}(q) \quad (64)$$

სადაც  $\tilde{R}$  კონსტრუქციის განზოგადებული ზიდვის უნარია;  $\tilde{H}$  - განზოგადებული დატვირთვა;  $q$  დამოუკიდებელი პარამეტრები.  $L(q)$  თავისთავად რამოდენიმე ცვლადის ფუნქციაა, რომელთაგან ზოგიერთს ცხადად გამოსახული შემთხვევითი ხასიათი აქვს, სხვები კი შეიძლება ჩაითვალოს დეტერმინირებულ სიდიდეებად.

გარეცენტრულ კუმშვაზე ალბათური გაანგარიშების საფუძველად აღებულია, საწყისი გაღუნვის და შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტის ერთდროული გათვალისწინებით ჩვენს მიერ მიღებული (63), არსებულის (55) იდენტური, მაგრამ კონცეპტუალურად განსხვავებული, დეტერმინირებული დამოკიდებულება ზიდვის უნარის მარაგის შემთხვევით ფუნქციასა (54) და მასალის საანგარიშო წინააღობის, კრიტიკული ძაბვებისა და ექსცენტრისიტეტის შემთხვევით სიდიდეებს შორის;

$$\tilde{L} = \tilde{R}_y - \tilde{r}_{crit} - \tilde{m} \frac{\tilde{r}_{crit}(1.8\tilde{r}_{crit} + 0.2745\tilde{r}_{crit})}{\tilde{r}_{crit} - \tilde{r}_{crit}}, \quad (12)$$

სადაც  $\tilde{R}_y$  მასალის საანგარიშო წინაღობაა (ფოლადის ღეროების შემთხვევაში);  $\Gamma_{crit}$  და  $\Gamma_{crit}$  შესაბამისად დაყვანილი და მხები მოდულებით განსაზღვრული კრიტიკული ძაბვები;  $\tilde{m}$  - ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი;

$$1.8 (f_0/e)+1 \quad 0.8+1; 0.274 (4/ )-1 \quad 1.274-1 \quad [3].$$

კვლევის შედეგებიდან გამომდინარე ასკვნიან, რომ შეკუმშული ღეროების ზიდვის უნარის დაქვეითება არ შეიძლება მხოლოდ გრძივი ძაღვის მოდების ექსცენტრისიტეტით აიხსნას. დიდი მოქნილობის მქონე ღეროების შემთხვევაში ტორსულ განიკვეთზე ძაღვის მოქმედების ექსცენტრულობა ნაკლებ გავლენას ახდენს მის მდგრადობაზე, სამაგიეროდ დიდ მნიშვნელობას იძებს ღეროს ღერძის შემთხვევითი უმნიშვნელო გაღუნვები, ეს კი თავისთავად არაარსებითია მცირე მოქნილობის ღეროებისათვის [2,4].

ხშირად თვლიან, რომ წასყისი ფარდობითი გაღუნვის მიღებული სიდიდე  $f_0/l$  ( $f_0$ - საწყისი გაღუნვა;  $l$ - ღეროს სიგრძე). ცენტრალური კუმშვის დროს, საკმარისი ხარისხით ითვალისწინებს მკუმშავი ძაღვის მოდების ექსცენტრულობასაც. ეს მოსაზრება, რა თქმა უნდა, არამართებულია. მითუმეტეს მცდარია იგი შეკუმშულ-გაღუნული (გარეცენტრულად შეკუმშული) ღეროების შემთხვევაში, მიუხედავად მდგრადობის კარგვის პროცესის იდენტურობისა.

მაშასადამე  $\tilde{L}$ -ის გამოსახულებაში (65) ხუთი შემთხვევითი სიდიდეა. ერთ-ერთი მათგანი, კერძოდ  $\Gamma_{crit}$  ფორმულაში შედის არაწრფივი სახით.  $\tilde{L}$ -ის განაწილების კანონი ნორმალური იქნება, თუ ის თავის არგუმენტებთან დამოკიდებულებაში წრფივად გამოისახება. ამიტომ ვიყენებთ შემთხვევითი სიდიდეების ფუნქციის ლინეარიზაციის (გაწრფელების) მეთოდს.

თუ ვექტორის  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ალბათობის სიმკვრივე მისი მდგენელების განაწილების ცენტრიდან დაშორებისას სწრაფად მიღევადია, მაშინ შეიძლება გამოვიყენოთ არაწრფივი ფუნქციის ტეილორის მწკრივად გაშლის ფორმულა:

$$\tilde{y} = \bar{y} + (\tilde{x}_1 - \bar{x}_1) \frac{\partial y}{\partial x_1} + (\tilde{x}_2 - \bar{x}_2) \frac{\partial y}{\partial x_2} + \dots + (\tilde{x}_n - \bar{x}_n) \frac{\partial y}{\partial x_n} + \tilde{W}, \quad (13)$$

სადაც  $\bar{y}$  და  $\bar{x}$  შესაბამისად შემთხვევითი ფუნქციის და არგუმენტის მათემატიკური ლოდინი, ანუ განაწილების ცენტრებია. ამასთან  $\bar{y}$  მიახლოებით ტოლი მიიღება:  $\bar{y} \approx y(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ ,

ხოლო, კერძო წარმოებულის მნიშვნელობები  $\partial y / \partial x_j$  აიღება  $x_j = \bar{x}_j$  დამოკიდებულებისათვის.

მაშასადამე ტეილორის მწკრივად გაშლა წარმოებს შემთხვევითი ვექტორის  $(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)$  განაწილების ცენტრების მდებარეობის სიახლოვეში (66) ფორმულაში  $\tilde{W}$ -თი აღნიშნულია არაწრფივი წევრები, რომელთა უგულებელყოფა შეიძლება, რადგანაც განაწილების ცენტრიდან მცირე გადახრისას ისინი ძალზედ უმნიშვნელო სიდიდეები არიან, ხოლო გადახრების შემთხვევაში მცირეა ალბათობის სიმკვრივე  $P(y)$ .

ანალოგიურად (13)-ისა შეგვიძლია (12) გამოსახულების ტეილორის მწკრივად გაშლა. გამოვთვალოთ  $L$  ფუნქციის კერძო წარმოებულები მისი შემთხვევითი არგუმენტებით:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \tilde{x}_y} &= 1; \quad \frac{\partial L}{\partial \tilde{x}_{cr}} = -1 - (\tilde{r} + \tilde{s})^2 \cdot \frac{1.8\tilde{x}_{cr}^2 + 0.548\tilde{x}_{cr} \cdot \tilde{x}_{crT} - 2.74\tilde{x}_{cr}^2}{(\tilde{x}_{crT} - \tilde{x}_{cr})^2}; \\ \frac{\partial L}{\partial \tilde{x}_{cr}} &= (\tilde{r} + \tilde{s})^2 \cdot \frac{2.074\tilde{x}_{cr}^2}{(\tilde{x}_{crT} - \tilde{x}_{cr})^2}; \quad \frac{\partial L}{\partial r} = -\frac{1.8\tilde{x}_{cr}^2 \cdot \tilde{x}_{crT} - 0.274\tilde{x}_{cr}^2}{\tilde{x}_{crT} - \tilde{x}_{cr}}; \\ \frac{\partial L}{\partial s} &= -\frac{1.8\tilde{x}_{cr}^2 \cdot \tilde{x}_{crT} - 0.274\tilde{x}_{cr}^2}{\tilde{x}_{crT} - \tilde{x}_{cr}}. \end{aligned} \quad (67)$$

თუ (67) გამოსახულებებში შემთხვევითი სიდიდეების ნაცვლად შევიტანეთ მათი განაწილების ცენტრებს (მათემატიკურ ლოდინს)  $\tilde{x}_{cr}, \tilde{x}_{crT}, r=0$  და  $\tilde{s}=0$ , მივიღებთ  $L$  ფუნქციის წრფივი აპროქსიმაციის კოეფიციენტებს, მაშინ (66)-ის თანახმად  $L$  შემთხვევითი ფუნქცია (65) გაწრფივებული სახით ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} \tilde{L} &= \bar{L} + A(\tilde{R}_y - \bar{R}_y) + B(\tilde{x}_{cr} - \tilde{x}_{cr}) + C\tilde{r} + D\tilde{s}, \quad (68) \\ \text{სადაც } A &= 1; \quad B = -1; \quad C = -\frac{1.8\tilde{x}_{cr}^2 \cdot \tilde{x}_{crT} - 0.274\tilde{x}_{cr}^2}{\tilde{x}_{crT} - \tilde{x}_{cr}}; \quad D = -\frac{1.8\tilde{x}_{cr}^2 \cdot \tilde{x}_{crT} - 0.274\tilde{x}_{cr}^2}{\tilde{x}_{crT} - \tilde{x}_{cr}}. \end{aligned}$$

რადგანაც (67) გამოსახულებებში

$$\tilde{r} + \tilde{s} = (\tilde{R}_y - \bar{R}_y) = 0, \quad \partial L / \partial \tilde{x}_{cr} = -1 \quad \text{და} \quad \partial L / \partial \tilde{x}_{crT} = 0$$

(65) და (68)-ის გამოყენებით მიიღება განაწილების ცენტრის მიახლოებითი და დისპერსიის მნიშვნელობები:

$$\bar{L} = \bar{R}_y - \tilde{x}_{cr}, \quad L = A^2 \hat{R}_y + B \tilde{x}_{cr} + C^2 \tilde{r} + D^2 \tilde{s} = \hat{R}_y + \tilde{x}_{cr} + \frac{(1.8\tilde{x}_{cr} \cdot \tilde{x}_{crT} - 0.274\tilde{x}_{cr}^2)^2}{(\tilde{x}_{crT} - \tilde{x}_{cr})^2} \cdot (\tilde{r} + \tilde{s})^4$$

აქედან განისაზღვრება  $\tilde{L}$  შემთხვევითი ფუნქციის ცვალებადობა;

$$\begin{aligned} \bar{S}_L &= \frac{\sqrt{\bar{L}}}{\bar{L}} = \frac{\sqrt{\bar{R}_y + \dagger_{crT} + (1.8\dagger_{crT} \cdot \dagger_{crT} - 0.274\dagger_{crT}^2) \cdot (\bar{r} + \bar{s})^4} / (\dagger_{crT} - \dagger_{crT})^2}{\dagger_{crT} - \dagger_{crT}} \times \\ &\times (\dagger_{crT}^2 - 2\dagger_{crT} \cdot \dagger_{crT} + \dagger_{crT}^2) \cdot [\bar{S}_1^2 (R_y^2 - 2R_y \dagger_{crT} - \dagger_{crT}^2) - (\bar{R}_y + \dagger_{crT})] - \\ &- (1.8\dagger_{crT} \cdot \dagger_{crT} - 0.274\dagger_{crT}^2) \cdot (\bar{r} + \bar{s})^4 = 0 \end{aligned} \quad (69)$$

თუ (69) გამოსახულებას გავეყოფთ  $\bar{R}_y^4$  და შემოვიტანოთ აღნიშვნებს;

$$\begin{aligned} \dagger_{crT} / \bar{R}_y &= \zeta; \quad \dagger_{crT} / \bar{R}_y = \zeta; \quad \bar{R}_y / \bar{R}_y^2 = \bar{S}_R^2; \quad (\bar{r} + \bar{s})^4 / R_y^2 = y; \\ \dagger_{crT} / \bar{R}_y^2 &= (\dagger_{crT} / \dagger_{crT}); \quad (\dagger_{crT} / \bar{R}_y^2) = \bar{S}_\dagger^2 \cdot \zeta^2 \end{aligned}$$

სადაც  $\zeta$  გარეცენტრული კუმშვის დროს ზიდვის უნარის შემამცირებელი კოეფიციენტი (იგულისხმება  $\dagger_{crT} / \bar{R}_y = \dagger_{crT} / R_y = \zeta$  [6]), გვექნება:

$$(\zeta^2 - 2\zeta \cdot \zeta + \zeta^2) \cdot (\bar{S}_L^2 - 2\bar{S}_L \cdot \zeta + \bar{S}_L \zeta^2 - \bar{S}_R^2 - \bar{S}_\dagger^2 \zeta^2) - 1.8y\zeta - 0.274y\zeta^2 = 0; \quad (70)$$

დავეუშვათ, რომ  $\bar{S}_R = \sqrt{\bar{R}_y / \bar{R}_y}$  - ზიდვის უნარის ვარიაციის კოეფიციენტი იგივე რიგისაა, როგორისაც  $\bar{S}_L$  ( $\bar{S}_R = \bar{S}_1$ ), მაშინ (70) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\zeta^3 - (2\zeta + \frac{2\bar{S}_L^2}{\bar{S}_L^2 - \bar{S}_\dagger^2})\zeta^2 + (\zeta^2 + \frac{4\bar{S}_L^2\zeta - 0.274y}{\bar{S}_L^2 - \bar{S}_\dagger^2}) \cdot \zeta - \frac{2\bar{S}_L^2\zeta^2 + 1.8y\zeta}{\bar{S}_L^2 - \bar{S}_\dagger^2} = 0; \quad (71)$$

კერძო შემთხვევაში, როდესაც, არსებულთან შედარების თვალსაზრისით, ვუშვებთ დატვირთვების ნულოვან ვარიაციას,

$W_6 = 0$  [2], (71) განტოლების ნაცლად გვექნება:

$$\zeta^3 - 2(\zeta + 1)\zeta^2 + (\zeta^2 + 4\zeta - 0.274y / \bar{S}_L^2) \cdot \zeta - (2\zeta^2 + 1.8y\zeta / \bar{S}_L^2) = 0; \quad (72)$$

მაგალითისთვის ვიღებთ შემდეგ მონაცემებს (აღებულია [2,4,6,8,9]-დან):

$$\gamma = 80; \quad T = 1.4 \cdot 10^5 \text{ მპა}; \quad \dagger_{crT} = \frac{f^2 T}{\gamma^2} = \frac{9.86 \cdot 1.4 \cdot 10^5}{6400} \approx 215.7 \text{ მპა}; \quad R_y = 280 \text{ მპა};$$

$$\zeta = \dagger_{crT} / \bar{R}_y = \dagger_{crT} / R_y = 215.7 / 280 \approx 0.77; \quad \bar{S}_L = 1 / 3.09 \approx 0.32; \quad \zeta^3 - 3.54\zeta^2 + 3.67\zeta - 1.18 = 0.$$

$\zeta \approx 0.72$ , რაც მნიშვნელოვნად მაღალია იგივე მონაცემებით [2]-ში მიღებულზე.

$\zeta$ -ს გამოყენებადი მნიშვნელობები არ უნდა აღემატებოდეს ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გრძივი ღუნვის კოეფიციენტის  $\zeta$ -ს მნიშვნელობებს [12]

შენობა-ნაგებობებისათვის მიღებული მტყუნების ალბათობა ძალზედ დაბალია. მათი მნიშვნელობების რიგი უხეში შეფასებით ტოლია:  $P_f = 10^{-3}$ , ისეთი ზღვრული მდგომარეობისათვის, რომლებიც არ წარმოადგენენ საშიშროებას ადამიანების სიცოცხლისათვის და  $P_f = 10^{-3} \div 10^{-6}$  ზღვრული მდგომარეობისათვის კატასტროფული შედეგებით. ამას შეეფარდება

საიმედოობის ზომა  $P_s = 0,99999 \div 0,999999$ , რომლის შესაბამისი უსაფრთხოების მახასიათებელი (სტანდარტების რიცხვი)  $x = 4.26 \div 4.75$  მეტად დიდია – საინჟინრო პრაქტიკაში არ პოულობს რეალურ სტატისტიკურ ასახვას [7]. ამიტომ შენობა-ნაგებობათა საიმედოობის ხარისხისაგან განსხვავებით, ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტების (რომელთა ლოკალური ზიდვის უნარის კარგვა ვერ გამოიწვევს ნაგებობების სრულ რღვევას) მტყუნების ალბათობას ვიღებთ  $P_f = 10^{-3}$ , შესაბამისი საიმედოობის ზომით (უზრუნველყოფით)  $P_s = 0,999$  და უსაფრთხოების მახასიათებელი  $x = 3.09$ .

(19) განტოლებაში შემავალი სიდიდეების შესაბამისი მნიშვნელობების შეტანის შედეგად, ჩვენს მიერ მიღებული (მტყუნების ალბათობით დადგენილი) უსაფრთხოების მახასიათებლის და ვარიაციის კოეფიციენტის საფუძველზე, განისაზღვრება გარეცენტრული კუმშვის დროს საანგარიშო წინაღობის (ზიდვის უნარის) შემამცირებელი კოეფიციენტების სპექტრი, როგორც სიმეტრიული, ისე ასიმეტრიული განივი კვეთის დეროებისათვის, ტოლფასი საიმედოობის უზრუნველყოფით;

შემოთავაზებული კონსტრუქციის აეროდინამიკურ მდგრადობაზე  
გაანგარიშება

შემოთავაზებული უგამრჯენო ახალი ტიპის კომბინირებული კონსტრუქციის სისტემაზე ძირითადად მოქმედებს მუდმივი, ქარისა და სეისმური დატვირთვები.

ქარისა და სეისმური დატვირთვების ზემოქმედებისაგან კომბინირებული უგამრჯენო სისტემამ შეიძლება შეასრულოს დეტერმინებული ან იძულებითი რხევები. იმ შემთხვევაში თუ სისტემა იმყოფება რხევით მოძრაობაში, მაშინ მის ხისტი ნაწილზე გადაეცემა ცვლადი მკუმშავი ძალა, რომელიც კონსტრუქციის ბაგიროვანი და მისი ხისტი ნაწილის საკუთარი რხევის გარკვეული (რომელიმე კონკრეტულ) მნიშვნელობების ფარდობისას კომბინირებულ სისტემას მიიყვანს პარამეტრულ რეზონანსამდე. ანუ აღნიშნული მოვლენის განვითარებისას ადგილი ექნება კომბინირებული სისტემის წინასწარდაძაბული ხისტი ნაწილი აეროდინამიკურ მდგრადობის კარგვას.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გამო აუცილებელია განისაზღვროს ის პარამეტრები რომლის დროსაც უზრუნველყოფილი იქნება შემოთავაზებული ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის აეროდინამიკურ მდგრადობა.



შემოთავაზებული კონსტრუქციის დიფერენცირებულ (მიახლოებით) საანგარიშო სქემად (ნახ.-1) აღებულია ვერტიკალურ სიბრტყეში განლაგებული საკოჭები და მის ცენტრალურ ნაწილში განთავსებული ხისტი ნაწილი, ანუ, საანგარიშო სქემა მიყვანილია ორშრიან კომბინირებულ ბაგიროვან წამწის საანგარიშო სქემაზე და წინამდებარე გაანგარიშება წარმოებს ანალოგიური კონსტრუქციების გაანგარიშების [4] მეთოდით. სისტემის რადიალურად განლაგებული დგარები მიჩნეულია როგორც დრეკადი საყრდენები.

წინამდებარე გაანგარიშებაში მიღებულია შემდეგი დაშვებები: 1. კომბინირებული სისტემა ასრულებს რხევას ჰარმონიული კანონით, სიხშირე  $\omega$ , ამპლიტუდა  $A$ ; 2. წინასწარდაძაბული დერო განთავსებულია ცვლად საგების კოეფიციენტთან ( $K$ ) დრეკად ფუძეზე; 3. სისტემა აუცილებლად გაივლის რეზონანსულ მოვლენას და მოძრაობა აღიწერება მატიეს განტოლებით.

განიხილება შემთხვევა როდესაც კონსტრუქციის ხისტი ნაწილი დატვირთულია შემდეგი ძალებით;

$$P_1 = P_0 \cos \frac{V_1 t^2}{2}; \quad P_2 = H_{\text{სფ.}} + H_0 \cos(2 \cdot h \cdot t); \quad (73)$$

მაშინ ხახუნის ძალების გათვალისწინებით მოძრაობის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \sim_0 EI \frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} + \dots F \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + P_2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + ky = f(x, t); \quad (74)$$

სადაც  $EI$ -ხისტი ნაწილის სიხისტე;  $\sim_0$ -წინააღობის კოეფიციენტი;  $\dots F$  - განსახილველი დეროს ერთეული სიგრძის მასა;  $k$ - საგების კოეფიციენტი.

განტოლების (2) ამონახსნი შეგვიძლია მივიღოთ მწკრივის სახით რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ სასაზღვრო პირობებს:

$$y(x, t) = \sum y_n(t) \sin \frac{nf x}{t}; \quad (75)$$

მწკრივის (3) განტოლებაში (2) შეტანით მიიღება:

$$\frac{\partial^2 y_n}{\partial t^2} + \sim_m \frac{\partial y_n}{\partial t} + \check{S}_n^2 (1 - k_n \cos 2h \cdot t) y_n = \frac{P_n}{m} \cos \frac{V_1 t^2}{2}; \quad (76)$$

აქ შემოტანილია შემდეგი აღნიშვნები:

$$\sim_m = \sim_0 \frac{EI}{m} \left( \frac{nf}{t} \right)^4; \quad \dots F = m; \quad k_n = \frac{k}{m};$$

$$k = \frac{128(1+r_{01})E_{\text{დვ.}} F_{\text{დვ.}} f_{\text{დვ.}}^2}{3m_{\text{დვ.}}^2 t^2}; \quad H_0 = \frac{16AE_{\text{დვ.}} F_{\text{დვ.}} f_{\text{დვ.}}}{3m_{\text{დვ.}}^2 t^2} (1-r); \quad (n=1, 2, 3 \dots);$$

$$r = \frac{m_{\text{ბ}}^2 E_{\text{ბ}} F_{\text{ბ}} f_{\text{ბ}}}{m_{\text{ბ}}^2 E_{\text{ბ}} F_{\text{ბ}} f_{\text{ბ}}}; r_1 = \frac{m_{\text{ბ}}^2 E_{\text{ბ}} F_{\text{ბ}} f_{\text{ბ}}^2}{m_{\text{ბ}}^2 E_{\text{ბ}} F_{\text{ბ}} f_{\text{ბ}}^2}; H_0 = 0 \quad (n = 2, 4, 6, \dots);$$

$$P_n = 2P_0; \check{S}_n^2 = \check{S}_n^2 - \check{S}^2 H_{\text{ბ}} + k; \check{S}_n^2 = \frac{EI}{m} \cdot \frac{n^4 f^4}{L^4};$$

$$\check{S}^2 H_{\text{ბ}} = \frac{H_{\text{ბ}}}{m} \cdot \frac{n^2 f^2}{L^2}; k_n = \frac{\check{S}^2 H_{\text{ბ}}}{\check{S}_n^2}; \check{S}^2 H_{\text{გობ}} = \frac{H_{0(\text{გობ})}}{m} \cdot \frac{n^2 f^2}{L^2};$$

აქ,  $m_r = S_r/L$ -ბაგირის სიგრძის ფარდობა მალთან;  $n$ - შპრენგელური სისტემის რხევის ფორმების რიცხვი.

განტოლების (4) ამოსახსნელად შემოვიტანოთ ახალი ფუნქცია  $R_{e_{w_n}} = y(t)$ ,  $n$ - ინდექსების გარეშე (4) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \check{r}_1 \frac{\partial w}{\partial t} + \check{S}^2 (1 - k_n \cos 2h t) w = \frac{P}{m} e^{-i \frac{v t^2}{2}}; \quad (78)$$

შემოვიტანოთ ახალი ცვლადები  $\ddagger = h t$ ;  $w(t) = y(\ddagger) \exp(-i \frac{\ddagger^2}{2})$ , რომელიც (77)

განტოლებას მიიყვანს მატიეს სტანდარტულ განტოლებამდე:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial \ddagger^2} + (a - 2q \cos 2\ddagger) y = f(\ddagger); \quad (79)$$

სადაც

$$f(\ddagger) = \frac{P}{mh^2} \exp\left(\frac{\ddagger}{2} - i \frac{v \ddagger^2}{2}\right); \quad \check{r}_1 = \frac{\check{r}_1}{h}; \quad v = \frac{v_1}{h^2};$$

$$a = \left(\frac{\check{S}}{h}\right)^2 - \frac{\check{r}_1^2}{4}; \quad 2q = k \left(\frac{\check{S}}{h}\right)^2 \quad (80)$$

საწყისი პირობების ნულის ტოლობის შემთხვევაში განტოლებას (79) აქვს შემდეგი სახე:

$$y(\ddagger) = \frac{y_2(\ddagger)}{c^2} + \int_0^{\ddagger} f(\ddagger) y_1(\ddagger) d\ddagger - \frac{y_1(\ddagger)}{c^2} - \int_0^{\ddagger} f(\ddagger) y_2(\ddagger) d\ddagger; \quad (81) \quad \text{სადაც}$$

$y_1(\ddagger)$  და  $y_2(\ddagger)$ -შესაბამისი ერთგაროვანი განტოლების კერძო ამონახსნები;  $c^2$ - ბრონსკის დეტერმინანტი, რომელიც ტოლია  $y_1(0) y_2(0)$ . ვუშვებთ, (ვვარაუდობთ) რომ  $y_1(\ddagger) e^{-is\ddagger}$  და  $y_2(\ddagger) e^{-is\ddagger}$  არის  $\ddagger$  ფუნქციის პერიოდული ფუნქციებია. ამიტომ,  $a$  და  $q$  პარამეტრების მნიშვნელობიდან გამომდინარე, ამ ფუნქციების პერიოდები იქნება  $f$  და  $2f$ .

როცა პერიოდი  $f$  ტოლია, მაშინ

$$y_1(\ddagger) = e^{is\ddagger} \sum_{r=-\infty}^{\infty} c_{2r} e^{i2r\ddagger}; \quad y_2(\ddagger) = e^{-is\ddagger} \sum_{r=-\infty}^{\infty} c_{2r} e^{i2r\ddagger} \quad (82)$$

სადაც  $c_2$  და  $S$  - მუდმივი კოეფიციენტები, რომელთა გამოთვლის ხერხები მოცემულია მათივე განტოლების თეორიაში.

(80) განტოლების დამოკიდებულებების (81) განტოლებაში შეტანით მიიღება  $P = const$  შემთხვევისათვის მათივე სტანდარტულ განტოლება შემდეგი სახით;

$$y(\ddagger) = \frac{P}{mc^2 \hbar^2} \{ y_2(\ddagger) \sum_{r=-\infty}^{\ddagger} c_{2r} \int_0^{\ddagger} \exp(x_{2r} + \frac{1}{2} \ddagger) d\ddagger - y_1(\ddagger) \sum_{r=-\infty}^{\ddagger} c_{2r} \int_0^{\ddagger} \exp(u_{2r} + \frac{1}{2} \ddagger) d\ddagger \}; \quad (83)$$

$$\text{სადაც } x_{2r} = \frac{1}{2} i \ddagger^2 + i(2r + S) \ddagger; \quad u_{2r} = -\frac{1}{2} i \ddagger^2 - i(2r + S) \ddagger. \quad (84)$$

შემოვიტანოთ ახალი ცვლადები, როცა  $2r > 0$

$$U_{2r} = \frac{1-i}{2\sqrt{\zeta}} (\zeta_r - 2r - S + i \frac{\zeta}{2}); \quad U_{2r} = \frac{i-1}{2\sqrt{\zeta}} (\zeta_r + 2r + S + i \frac{\zeta}{2});$$

როცა  $2r < 0$ ,  $\zeta_{2r} = -U_{2r}$ ;  $\zeta_{2r} = -\hat{\zeta}_{2r}$ .

შემოტანილი გამოსახულებების გამოყენებით მათივე სტანდარტულ განტოლება (83) მიიღებს შემდეგ სახეს;

$$\begin{aligned} W(\ddagger) = y(\ddagger) e^{\frac{-\ddagger}{2}} = \frac{1-i}{2mc^2} \cdot \frac{P}{\hbar^2} \sqrt{\frac{f}{\zeta}} \{ y_2(\ddagger) [ \sum_{r=-\infty}^{\ddagger} c_{2r} (W_{(\zeta_{2r})} \exp x_{2r} - \\ - W_{(u_{2r}^0)} e^{\frac{-\ddagger}{2}}) - \sum_{r=1}^{-\infty} c_{2r} (W_{(\zeta_{2r})} \exp \zeta_{2r} - W_{(\zeta_{2r}^0)} e^{\frac{-\ddagger}{2}}) ] + y_1(\ddagger) [ \sum_{r=0}^{\infty} c_{2r} (W_{(\zeta_{2r})} \exp u_{2r} - \\ - W_{(u_{2r}^0)} \exp(-\frac{\ddagger}{2})) - \sum_{r=-1}^{-\infty} c_{2r} (W_{(\zeta_{2r})} \exp u_{2r} - W_{(\zeta_{2r}^0)} \exp(-\frac{\ddagger}{2})) ] \}, \quad (85) \end{aligned}$$

სადაც  $u_{2r}^0, \zeta_{2r}^0, \zeta_{2r}^0, \zeta_{2r}^0$  - როცა  $\ddagger = 0, u_{2r}, \zeta_{2r}, \zeta_{2r}$  პარამეტრების მნიშვნელობები, ხოლო  $W$  - კომპლექსური არგუმენტიდან ალბათური ინტეგრალი

$$W_{(\zeta)} = e^{-\zeta^2} (1 + \frac{2i}{\sqrt{f}} \int_0^{\zeta} e^{-z^2} dz)$$

$[W(\ddagger)]$  მოდული წარმოადგენს რხევითი პროცესის ამღწერ აღმავალ მრუდს, რომელიც უჩვენებს განსახილველი სისტემის ამპლიტუდების ცვლილების კანონზომიერებას.

მიღებული ამოხსნის (გადაწყვეტის) შედეგების მუდმივი პარამეტრების მქონე სისტემის ამონახსნის შედეგთან შედარების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ პარამეტრები  $\zeta_{2r} = |2r + S| (\pm r \pm 0, 1, 2, 3 \dots)$ ; (86) შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც სისტემის უგანზომილო საკუთარი სიხშირეების სპექტრი, რომელთაგან ძირითადი სიხშირე არის ის სიხშირე, რომლის მნიშვნელობა ყველაზე ახლოსაა  $k\sqrt{a}$  მნიშვნელობასთან. განსახილველ სისტემას მუდმივ

პარამეტრების მქონე სისტემისაგან განსხვავებით, გააჩნია არა ერთი რეზონანსი, არამედ მისი მნიშვნელობების უსასრულო სიმრავლე. აღნიშნულიდან გამომდინარე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ განსახილველ სისტემაში სიხშირეების სიმრავლეთა შორის რამოდენიმე შედეგს (ძირითადი სიხშირის, მაქსიმალურ-პირველი მნიშვნელობას) შეიძლება ქონდეს პრაქტიკული მნიშვნელობა.

$[W(\ddot{x})]$  მოდულის მნიშვნელობა და სიხშირეების სპექტრი, როცა ფუნქციების  $y_1(\ddot{x}) \exp(-iS\ddot{x})$  და  $y_2(\ddot{x}) \exp(iS\ddot{x})$  პერიოდი ტოლია  $2f$ , გამოითვლება (85) და (86) ფორმულების გამოყენებით, მათში  $2r$ -ის  $2r+1$ -ით შეცვლის გათვალისწინებით. სიხშირეების მნიშვნელობები განისაზღვრება  $a$  და  $b$  პარამეტრებით.

როცა  $p=0$  მიიღება მატეის სტანდარტული განტოლება (79), რომლის გამოყენებით (დახმარებით), ასევე  $a - b$  პარამეტრებზე დაყრდნობით განისაზღვრება (ბ. ა. ბოდნერის უტოლობების მიხედვით და აინსა-სტრეტის დიაგრამების გამოყენებით) სისტემის მდგრადი და არამდგრადი რხევების არეები.

სისტემის წერტილები, რომლებთანაც შესაძლებელია არამდგრადი რხევების წარმოშობა (დადგომა), განისაზღვრება (74) ფორმულის კომბინირებულ ვარიაციული მეთოდით ამოხსნით, როცა  $f(x,t) = 0$

$$\xi_n + \frac{\sim n^2 f^2}{2mL^2} = \tilde{\xi}_n [1 - (H_{\text{სტ.}} + H_{\text{გოფ.}}) \frac{n^2 f^2}{mL^2 \tilde{\xi}_n^2} + \frac{k}{m\tilde{\xi}_n^2} + \frac{\sim n^4 f^4}{4m^2 L^4 \tilde{\xi}_n^2}]^{1/2}; \quad (87)$$

კერძო შემთხვევაში, როცა  $\sim = 0$  და  $H_{\text{გოფ.}} = 0$ , (87) ფორმულას აქვს შემდეგი სახე

$$\xi_n = \frac{n^2 f^2}{L^2} \sqrt{\frac{E_{\text{ბ.}} I_{\text{ბ.}}}{m} \left(1 - \frac{H_{\text{სტ.}} L^2 n}{m f^2 E_{\text{ბ.}} I_{\text{ბ.}}} + \frac{\sim n^4 f^4}{4m^2 L^4 \tilde{\xi}_n^2}\right)} \quad (88)$$

როცა  $k=0$  მიიღება საყრდენებში სახსრულად დაყრდნობილი (ჩამაგრებული) შეკუმშული ღეროს სიხშირის ცნობილ ფორმულას

$$\xi_n = \tilde{\xi}_n \sqrt{1 - H_{\text{სტ.}} / P_{\text{კოლ.}}} \quad (89)$$

სადაც  $\tilde{\xi}_n = \frac{n^2 f^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$  - ორ საყრდენზე განთავსებული ღეროს თავისუფალი

რხევის სიხშირე;  $P_{\text{კოლ.}}$  - ეილერის კრიტიკული ძალა.

როგორც შესავალში აღინიშნა, ზემოთ მოყვანილი აეროდინამიკურ მდგრადობაზე გაანგარიშება ჩატარებულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის

დიფერენცირებული (მიახლოებით) საანგარიშო სქემის გამოყენებით. შემოთავაზებული კონსტრუქციის, როგორც სივრცითი კომბინირებული სისტემის აეროდინამიკურ მდგრადობაზე გაანგარიშება ჩატარება შესაძლებელია სამშენებლო კონსტრუქციების საანგარიშო ტიპური პროგრამების გამოყენებით;

შემოთავაზებული კონსტრუქციის გაანგარიშება არსებული საანგარიშო

ტიპური პროგრამების გამოყენებით

დღეისათვის არსებობს პერსონალურ კომპიუტერებზე სამშენებლო კონსტრუქციების გასაანგარიშებელი ტიპური პროგრამები, რომელთა გამოყენებით შესაძლებელია გასაანგარიშებელი კონსტრუქციის ისეთი იდეალიზირებული მოდელის შექმნა, რომელიც უახლოვდება კონსტრუქციის ნამდვილ მუშაობას.

ხსენებული მოდელის რეალურ კონსტრუქციის მუშაობასთან მიახლოების ხარისხი დამოკიდებულია ინჟინერ-კონსტრუქტორის კვალიფიკაციაზე და გამოსათვლელი კომპლექსის სიმძლავრეზე.

სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების აღნიშნულ ტიპურ პროგრამებს საფუძვლად უდევს, სამშენებლო მექანიკაში გავრცელებული სასრულ ელემენტთა მეთოდი. გაანგარიშება იწყება, როგორც ზემოთ ავლინებით, კონსტრუქციული სქემის მოდელის შექმნით. პირველ ეტაპზე განისაზღვრება კონსტრუქციის გეომეტრია, კერძოდ კვანძების კოორდინატები, შემდეგ ეტაპზე საორიენტაციო განიკვეთებსა და შესაბამის მასალის დრეკადობის მოდული და სხვა საჭირო მექანიკურ მახასიათებლები.

კონსტრუქციის ტიპური პროგრამების გასაანგარიშებელი პროგრამის გამოყენება შეუძლებელია საორიენტაციო გაანგარიშების გარეშე, ანუ ბიჯური მეთოდის გამოყენების გარეშე. სადოქტორო ნაშრომში მოცემული ანალიზური გაანგარიშებები საკმარისია საწყისი მონაცემების შესაქმნელად, ანუ ისინი ითვლება კონსტრუქციათა გაანგარიშების პირველ მიახლოებად.

ზემოთაღნიშნულის საილუსტრაციოდ გამოყენებულია უკრაინის ქალაქ კიევის სამეცნიერო ინსტიტუტის ავტომატიზირებული სისტემების (დაგეგმა და მართვა მშენებლობაში) ვარიანტი LIRA ПК 9.6.

**მეოთხე თავში** მოცემულია მილსადენების დიდმალიანი საპაერო გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის კონსტრუირების საკითხები, კერძოდ, მოცემულია კონსტრუქციის ხისტი და მოქნილი ელემენტების (ბაგირების) შეერთების კვანძების გაანგარიშება. ასევე განხილულია მისი ელემენტების კოროზიისაგან დაცვის

საკითხები. ასევე მოცემულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის აგების ტექნოლოგია და წინასწარი დაძაბვის განხორციელების ტექნოლოგია.

**მესუთე თავში** მოცემულია შემოთავაზებული და არსებული კონსტრუქციების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარება.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტურობის შესაფასებლად წინამდებარე გაანგარიშებაში შედარებულია არსებული (ანალოგიური) და ახალი ტიპის კონსტრუქციის ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები. არსებული კონსტრუქციების ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები აღებულია რეალური აღსრულებული პროექტების მასალებიდან (საქართველოს ნავთობისა და გაზის კორპორაციის საინჟინრო-ტექნიკური უზრუნველყოფის დეპარტამენტი, შპს „ხუროთმოძღვარი“ და Н. М. Кирсанов, всякие конструкций, лист 16,17. Под обшей редакцией. Д Т Н, проф. Н. С. Стрелецкого. Проект Разработан, Московский ЦНИИ проектсталь- конструцией, построена -1964 г.);

შერჩეულია ოთხი სახის არსებული კონსტრუქცია:

1. მდინარე ტეხურაზე ხიდისებური საჰაერო გადასასვლელი, 4 მალიანია,  $4 \times 30 = 120$  მ, პროექტი დამუშავებულია საქ. ნავთ. და გაზის კორპორაციის მიერ;
2. ბოლნისის რაიონის წყალმომარაგების ცენტრალური მილსადენის დამეწერილი მონაკვეთის („საყაფლანო“) გადაკვეთის კიდული საჰაერო გადასასვლელი აღდგენის პროექტი, 1 მალიანია,  $L = 130$  მ; პროექტი დამუშავებულია შპს „ხუროთმოძღვარი“-ს მიერ;
3. მდინარე რიონზე ხიდისებური საჰაერო გადასასვლელი, ათ მალიანია,  $27 + 8 \times 30 + 27 = 294$  მ, პროექტი დამუშავებულია საქ. ნავთ. და გაზის კორპორაციის მიერ;
4. მდინარე ამუდარიაზე კიდული საჰაერო გადასასვლელი, 1 მალიანი,  $L = 300$  მ, Н. М. Кирсанов, всякие конструкций, лист 16,17. Под обшей редакцией. Д Т Н, проф. Н. С. Стрелецкого. Проект Разработан, Московский ЦНИИ проектсталь- конструцией, -1964 г.;

შემოთავაზებული კონსტრუქციის გაანგარიშება ჩატარებულია არსებული კონსტრუქციების მალეების ზომების შესაბამისად შემდეგი ოთხი ვარიანტისათვის:

1. შემოთავაზებული კონსტრუქცია შესრულებულია მალით 120 მ.;
2. შემოთავაზებული კონსტრუქცია შესრულებულია მალით 130 მ.;
3. შემოთავაზებული კონსტრუქცია შესრულებულია მალით 290 მ.;
4. შემოთავაზებული კონსტრუქცია შესრულებულია მალით 300 მ.;

შემოთავაზებული კონსტრუქციის ოთხივე ვარიანტი გაანგარიშებულია არსებული გადასასვლებზე მიღებულ დატვირთვაზე.

შედარება ჩატარებულია მასის, შრომის დანახარჯების და მონტაჟის დანახარჯების მიხედვით. შეფასების ძირითად კრიტერიუმად მიღებული იყო ღირებულება.

კონსტრუქციის დამზადების შრომის დანახარჯები განსაზღვრულია დღეისათვის საქართველოში არსებული დამამზადებელი ქარხნების არსებული ტექნოლოგიების გათვალისწინებით.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის თვითღირებულება განსაზღვრულია იმ ხარჯთაღრიცხვის ნორმებით, რომლითაც განსაზღვრული იყო არსებული კონსტრუქციების თვითღირებულება და გადაყვანილი იქნა ლარებში დღეისათვის საქართველოში მოქმედი სამშენებლო რესურსების ფასთა კრებულში მითითებული ლარებში გადამყვანი კოეფიციენტის გათვალისწინებით.

შედარება ჩატარებულია ცხრილური წესით და დისერტაციაში მოცემული ცხრ.5.1 5.5 სახით.

ტექნიკურ-ეკონომიკურმა გაანგარიშებამ აჩვენა, რომ შემოთავაზებული კონსტრუქციის L=120 მ. გამოყენების შემთხვევაში (მდინარე ტესურაზე ხიდისებური საჰაერო გადასასვლელი დანახარჯებთან მიმართებაში) ეკონომიკური ეფექტი შეადგენს 25.5 %-ს, კონსტრუქციის L=130 მ. გამოყენების შემთხვევაში [ბოლნისის რაიონის წყალმომ. ცენტრალური მილსადენის დამეწერილი მონაკვეთის („საყაფლანო“) გადაკვეთის კიდული საჰაერო გადასასვლელი დანახარჯებთან მიმართებაში] ეკონომიკური ეფექტი შეადგენს 20.9 %-ს, კონსტრუქციის L=290 მ. (მდინარე რიონზე ხიდისებური საჰაერო გადასასვლელი დანახარჯებთან მიმართებაში) ეკონომიკური ეფექტი შეადგენს 28.6 %-ს, ხოლო შემოთავაზებული კონსტრუქციის L=300 მ. გამოყენების შემთხვევაში (მდინარე ამუდარიზე გაზსადენის კიდული საჰაერო გადასასვლელის დანახარჯებთან მიმართებაში) ეკონომიკური ეფექტი შეადგენს 27.09 %-ს.

### **ძირითადი დასკვნები**

1. დამუშავებულია მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული კომბინირებული კონსტრუქცია, რომლის ტექნიკურ გადაწყვეტილების სიახლეზე „საქპატენტის“ მიერ გაცემულია პატენტი განაცხადზე №12245/01 (საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ცენტრი, საქპატენტი, ბრძანება პატენტის გაცემის შესახებ განაცხადზე №12245/01, ბრძანების №737/01, 12. 06. 2013 წ.), რომლის ტექნიკურ გადაწყვეტით მიიღწევა მისი ანალოგების ტექნიკურ გადაწყვეტებში არსებული კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური ხარვეზების აღმოფხვრა. ასევე ახალი ტიპის კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტა არსებული ანალოგიური კონსტრუქციებისაგან განსხვავდება წინასწარდასაძაბავი ელემენტების განლაგებით და მისი დაძაბვის ახალი-გაუმჯობესებული სქემით. ნაშრომში აღწერილი ტექნიკური გადაწყვეტით

მიიღწევა მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის კონსტრუქციის ყველა მზიდ ელემენტში ძაბვების მოხერხებული რეგულირება.

2. შემუშავებულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის გეომეტრიული პარამეტრებისა და დატვირთვების განსაზღვრის მეთოდика; 3. შემუშავებულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის მდგრადობაზე გაანგარიშების მეთოდика, მოცემულია კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის განივი კვეთის დრეკადი წირის დიფერენციალურ განტოლების ამონახსნის საბოლოო შედეგი;

4. დამუშავებულია ახალი ტიპის კონსტრუქციის ბაგროვანი ნაწილის გაანგარიშების მეთოდика დიფერენცირებული საანგარიშო სქემის გამოყენებით („მოქნილი ძაფისა“ და „ჯაჭვწირის“ პარაბოლით აპროქსიმაციის მეთოდებით);

5. შემუშავებულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის გარეცენტრულად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშების მეთოდика (ალბათური ინტერპრეტაცია). მოცემულია გარეცენტრულად შეკუმშული დეროების ზიდვის უნარის განსაზღვრა ალბათური ინტერპრეტაციით, რომელიც, ზოგადად, კონსტრუქციების ხისტი ნაწილის ელემენტების გაანგარიშებისას მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს. დადგენილია მკუმშავი ძალის ზემოქმედებისას დეროს ზიდვის უნარის ამოწურვისა და შენობა-ნაგებობების ჩონჩხედის ცალკეული ელემენტების მტყუნების ალბათობა;

6. შესრულებულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის გაანგარიშება სამშენებლო კონსტრუქციების ტიპური საანგარიშო პროგრამა LiRa-ს გამოყენებით;

7. დამუშავებულია ახალი ტიპის კონსტრუქციის ელემენტებისა და ძირითადი კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები;

8. მოცემულია მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციის კონსტრუირება;

9. მოცემულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის დამზადების, მონტაჟისა და წინასწარი დაძაბვის განხორციელების ტექნოლოგია;

10. შემოთავაზებული მილსადენების დიდმალიანი საჰაერო გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარდაძაბული კომბინირებული კონსტრუქციისათვის ჩამოყალიბებული გაანგარიშების მეთოდოლოგია იმდენად მიახლოებულია კონსტრუქციის ნამდვილ მუშაობასთან, რომ მისი ექსპლუატაციისას უზრუნველყოფილია კვანძებისა და დეროვანი ელემენტების ზიდვისუნარი;

11. ჩატარებულია ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი. შემოთავაზებული კონსტრუქციის გამოყენებით ეკონომიკური ეფექტურობა  $20.9 \div 28.6$  %-ის ფარგლებშია.



დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია

შემდეგ ნაშრომებში:

1. გ. ბერაძე, „მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის ახალი ტიპის წინასწარდაბებული კომბინირებული კონსტრუქციის ბაგროვანი ნაწილის გაანგარიშება“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, № 1(28), 2013 წ. გვ. 135.
2. ბ. სურგულაძე, გ. ბერაძე - „მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარდაბებული კომბინირებული კონსტრუქცია“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №1(24), 2012 წ.
3. ი. მშენიერაძე, ბ. სურგულაძე, გ. ბერაძე – „მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარდაბებული კომბინირებული ახალი ტიპის კონსტრუქციის ხისტი ნაწილის მდგრადობაზე გაანგარიშება“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №3(26) ,2012 წ. გვ. 80.
4. ბ. სურგულაძე, გ. ბერაძე – „მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარ დაბებული კომბინირებული კონსტრუქცია“, პატენტი განაცხადზე №12245/01 (საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ცენტრი, საქპატენტი, ბრძანება პატენტის გაცემის შესახებ განაცხადზე №12245/01, ბრძანების №737/01, 12. 06. 2013 წ.)
5. გ. ბერაძე - „მილსადენების დიდმალიანი გადასასვლელის წინასწარდაბებული კომბინირებული კონსტრუქცია“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 49-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისების კრებული, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2013. გვ. 21.

## Resume

This thesis shows the results of the constructing, analytical research and technical-economic calculations for the pre-strained combined construction of large-span crossing of new-type pipelines.

The thesis shows the review, classification and critical analysis of the existed constructing of the main pipelines' large-span crossings. On the basis of the above, the new-type construction is elaborated and the positive decision is issued by "Sakpatenti" for the innovation of its technical decisions.

The method is provided for the geometric parameters, probable active-load types and calculations of the proposed construction. The dependence of the ropes and arch truss inflection on the crossing span's value and arch ground-to-top distance is determined, which in its turn depends on the radius of arc segment and size of octagonal prisms' arrangement, which is defined according to the span's size, determined from the bearing capacity of a pipeline's pipe to be passed inside it.

Thesis shows the elaboration of calculation method of rigidity of the rigid part of pre-strained combined new-type construction of pipelines' large-span crossing, which is performed with the integration method of differential equation of flexible line for the cross-section of its central rigid part. Possible shapes of proposed construction resistance loss are described, when its central rigid part is bent in the shape of one or two semi-wave.

Calculations on the rigidity of the proposed pre-strained combined new-type construction is possible with the "Hinge-Chain" and Engesser-Timoshenko methods. When using the "Hinge-Chain" method, it is complicated to take into account the diaphragm's (combinatin of foot-pieces and connections) bending rigidity influence, and when calculating with the Engesser-Timoshenko method, althouth it is possible to take into account the diaphragms' bending rigidity influence, but it is not possible to take into account a pre-stain force when there is an Eulerian instability.

Thesis shows the final result of the differential equation's solution of the construction rigid part's cross-section flexible line, which is the solution for the task of longitudinal bending of rigid part (stem) of the construction of the main pipeline's large-span crossing. The system of homogeneous equations of the shapes of the simmetrical and slant-symmetrical loss of rigidity is described, when the power factors make influence (including a case when a stem is bent in one or two semi-wave shape). Two characteristic equations are received, which have infinitely many solutions of the roots describing different shapes of rigidity loss of the construction rigid part (stem). The minimum values of the solutions, which describe the real shapes of rigidity loss and gives possibility to determine a critical power of a construction rigid part, have the practical importance.

Calculations of the stretched and off-centrally compressed elements of the proposed construction are made with the use of probabilistic method.

Thesis shows the calculations of the rope part of the pre-strained combined new-type construction of the pipelines' large-span crossing, which is performed with the "ideal cable" and "chain-line" parabolic approximation methods.

The new-type pipelines' large-span crossing's pre-strained combined construction is elaborated, the construction solution of which differs from the analogues with the placement of pre-straining/to be

strained elements and new improved scheme of its strain. Simplified installation of the main pipelines' pipe as well as convenient adjustment of the force in crossing's load-bearing elements are achieved with the technical solution of the thesis. Technical solution also reduces the construction period and materials' costs and increases the bearing capability of a construction and reliability during an operation.

Technical result is achieved with the fact that the connecting elements of load-bearing elements of main pipelines' large-span crossing with L span f up/down arrow is performed with the octagonal prisms; on the four lateral sides of which the arch trusses, with the parabolic inflection and upper belt, are placed radially; and on the other four lateral sides the ropes are placed on the radially arranged foot-pieces; which are hinged to the supporting node-pieces of the pipeline's construction; and the racks at the free ends have the screw-pads in which the screw uniform cross-section elements are screwed; which have the counter-nuts and cross-like holes in its rectangular part; the ends of the uniform cross-section elements are connected with the cylindrical hinges to the rope rack linked open-section elements; on which the semi-cylindrical node-details are hinged; and a rope with the sheet pad and bolts are connected to the open-section elements; the node-points of truss upper belt and rope-holding radially arranged supports are connected to each other with the rigid connections.

The main node-points for the connection of supporting and load-bearing elements, needed for the new-type pre-strained combined construction's engineering, are decided and elaborated.

On the basis of the calculations carried out with the typical calculation programs of the building structures the validity and priority of the technical solution, described in a formula shown in an author's right, is substantiated compared with the analogues.

On the basis of technical-economic calculations the effectiveness of the proposed new-type construction is assessed.

