

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ედიშერ წოწერია

სამთო - სატრანსპორტო სისტემის - ვანტური ბაგირგზა-ხიდის  
კონსტრუქციის დამუშავება და კვლევა დისკრეტული მოდელის  
საფუძველზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი  
2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი  
სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელები: ტმდ დ. პატარაია  
ასოც. პროფესორი გ. ჯავახიშვილი

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება 2014 წლის „-----“, „-----“, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური  
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის #  
სხდომაზე. კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მასმართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,  
ასოც. პროფესორი

დ. თევზაძე

**თემის აქტუალურობა.** რთული და მთავორიანი რელიეფის პირობებში გადაადგილების ერთ-ერთ საუკეთესო გადაწყვეტას წარმოადგენს დაკიდებული ბაგირგზები. მათი რაოდენობის და გამოყენების ზრდის პროცესი ქვეყნის მთიანი რეგიონების ათვისების ერთერთი განუყოფელი ნაწილია. დაკიდებული ბაგირგზების უპირატესობებია:

- დიდი მალის მქონე გადასასვლელების (ხიდების) განხორციელება მასალების მინიმალური ხარჯით;
- ეფექტიანია ფართო ხეობებსა და წყლის გადასასვლელებზე;
- გამოიყენება მაღალი სიმტკიცის მქონე ფოლადისაგან დამზადებული ბაგირები და ვანტები, რაც ამცირებს კონსტრუქციის საკუთარ წონას;
- რელიეფიდან მაღლა განლაგებით შესაძლებელია არსებული ინფრასტრუქტურის შენარჩუნება;
- მძიმე ხიდებთან შედარებით უფრო ადაპტირებულია დინამიური (ქარი, სეისმიკა) ზემოქმედებების მიმართ;

თანამედროვე ვანტური ბაგირგზის პირველი კონსტრუქცია - პროტოტიპი შეიქმნა და გამოიცადა შვეიცარიაში 1972 წელს (ე.წ. მიულერის გზა - „აერობუსი“).

ამ გადაწყვეტას გამოუვლინდა ხარვეზი, რომელმაც გააძნელა კონსტრუქციული სისტემის ფართოდ გავრცელება. მის ძირითად სიახლეს - სავალ ნაწილად ბაგირის გამოყენებას თან ახლავს უარყოფითი ეფექტი. კერძოდ, ვანტების ჩამაგრების ადგილას სავალი ბაგირი მკვეთრად იღუნება, შესაბამისად ინტენსიურად იღლება და ჩნდება დეფექტები. მოძრავი შემადგენლობის სიჩქარე შეზღუდულია, ვინაიდან ამ ადგილებზე ბორბლის გადავლისას წარმოიშვება დარტყმები და ვიბრაცია.

მიუხედავად იმისა, რომ ამ მიდგომამ ვერ ჰპოვა ფართო პრაქტიკული გამოყენება, მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ მისი გაუმჯობესების გზების ძიება და განხილვა.

**კვლევის მიზანი.** სადირსექტაციო თემატიკის ძირითადი დასმული ამოცანის განხორციელების ფარგლებში მიზნად იყო დასახული

თანამედროვე, დაკიდებული საბაგირო სატრანსპორტო სისტემის (ვანტური ბაგირგზის) კონსტრუქციული ნაწილების დამუშავება და კვლევა. სისტემის საბაზო მოდელად აღებულ იქნა გერმანელი ინჟინრის გ. მიულერის მიერ გასული საუკუნის 70 -იან წლებში დამუშავებული ვანტური სატრანსპორტო დანადგარი, რომელიც გამოირჩეოდა კონსტრუქციის სიმსუბუქით და საკმაოდ დიდი სიგრძის მალეების განხორციელების შესაძლებლობით.

აღნიშნული სექციის მუშაობის მთავარ სიახლედ მიღებულია შემდეგი: ბაგირების წინასწარი დაჭიმვით (ან საკიდების დაჭიმულობის რეგულირებით) ხდება კონსტრუქციის საერთო სიხისტის გაზრდა და შესაბამისად ვერტიკალური გადაადგილებების (ჩანაღუნების) შემცირება.

დანადგარის მოძრავი შემადგენლობის სავალ ნაწილად შერჩეულ იქნა ბაგირი (კონსტრუქციის სიმსუბუქისა და მაღალი მზიდუნარიანობის გამო), მაგრამ აღმოჩნდა, რომ სავალი ბაგირის დაკიდების წერტილები წარმოადგენდნენ ვიბრაციის ინტენსიურ კერას, რაც არ იძლეოდა მაღალი სიჩქარეების განვითარების შესაძლებლობას. აგრეთვე, აღნიშნულ ადგილებში ბაგირი მკვეთრად იღუნება, შესაბამისად ინტენსიურად იღლება და ჩნდება დეფექტები. სავალი ნაწილისთვის ბაგირის გამოყენება ართულებს მოძრაობის მიმართულების კუთხის შეცვლას, რაც ხშირ შემთხვევაში გადაულახავი წინააღმდეგობაა თანამედროვე ურბანიზაციის პირობებში.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები.** გ. მიულერის სისტემის ერთ-ერთი მთავარი კომპონენტი - ზედა ბაგირის ჩანაღუნების შეზღუდვა განპირობებული იყო ქვედა ბაგირის წინასწარდაჭიმვის ეფექტით. ჩვენს მიერ შესრულებულ იქნა ასეთი სისტემის და მისი ალტერნატიული გადაწყვეტის სხვადასხვა ვარიანტების განხილვა-გაანგარიშება და დამუშავება.

ბაგირს გააჩნია ერთი თავისებურება, რომელიც გახდა ჩვენი ყურადღების საგანი და ერთ-ერთი დამუშავებული ვარიანტის საფუძველი.

ამავე დროს ბაგირის ჩანალუნის ხარისხი, რაც უმნიშვნელოვანესია ასეთი სისტემების მუშაობისთვის, დამოკიდებულია მის სიხისტეზე. სიხისტე (განივი კვეთი, მასალის დეფორმაციის მოდული) განაპირობებს დაჭიმულობის შედეგად მიღებულ ფარდობით გრძივ დეფორმაციას.

თეორიულმა მოდელირებამ გვაჩვენა, რომ მიუღწერის მოდელში მოძრავი შემადგენლობის ტრაექტორიის წრფივობა მიუღწევადია. გადაულახავი კონსტრუქციული წინააღმდეგობების გამო საჭიროდ ჩავთვალეთ მიუღწერის მიერ დამუშავებული ვანტური სატრანსპორტო სისტემის კონსტრუქციის გადახედვა.

აღნიშნული ხარვეზის აღმოფხვრისკენ მიმართულია სადისერტაციო თემის შემოთავაზებული ახალი მიდგომა - სავალ ნაწილად გამოყენებულ იქნეს სპეციალური კონსტრუქციის ღეროვანი სტრუქტურა. მთლიანი სისტემის და ლოკალური კონსტრუქციების მოდელირებისა და გაანგარიშებისათვის გამოყენებული იქნა ცნობილი საანგარიშო კომპლექსი ლირა 9.6 და დ. პატარაიას მიერ დამუშავებული დისკრეტულ მოდელზე დაფუძნებული მყარი დეფორმირებადი ტანების მოდელირებისა და გაანგარიშების მეთოდი სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფით.

**კვლევის ძირითადი მეცნიერული სიახლე და შედეგები.** თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგად დამუშავდა მსუბუქი ტიპის, მობილური ვანტური ბაგირგზა - ხიდი.

მისთვის დამახასიათებელი უპირატესობებია:

- კონსტრუქციის სიმსუბუქე;
- სტანდარტული მოდულებისგან აწყობა;
- მონტაჟის, დემონტაჟის და გადატანის სიადვილე;
- მოძრავი შემადგენლობის ოპტიმალური სიჩქარის უზრუნველყოფა;
- მოძრაობის ტრაექტორიის გაწრფივების შესაძლებლობა.

სიახლეა სავალ ნაწილად მოქნილი ღეროვანი სისტემის - შედგენილი ლითონის კოჭის დამუშავება, რომელზეც შესაძლებელია შედარებით სწრაფი მოძრაობა.

სადისერტაციო თემატიკიდან გამომდინარე, აგრეთვე წარმოდგენილია სიახლე - „ფეხით სავალი ბაგიგზა-ხიდი“, სადაც შედგენილია ნახაზები, ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება და გაფორმებულია პრაქტიკული გამოყენებისთვის.

მეცნიერულ სიახლედ შესაძლებელია მიჩნეულ იქნეს სადისერტაციო თემაში განხილული დისკრეტული მოდელის გამოყენების შესაძლებლობა რთული სივრცული სტრუქტურების გაანგარიშებისთვის - მისი უნივერსალიზაცია.

**შედეგების გამოყენების სფერო.** ვთვლით, რომ ნაშრომს გააჩნია პრაქტიკული ღირებულება:

1. ჩვენს მიერ დამუშავებული მსუბუქი ტიპის, მობილური, ვანტური ბაგიგზა-ხიდი წინგადადგმული ნაბიჯია ასეთი ტიპის სატრანსპორტო სისტემის ჩამოყალიბება-გამოყენებაში;
2. ჩვენს მიერ დამუშავებული „ფეხით სავალი ბაგიგზა-ხიდი“ - ს პროექტის რეალიზაციით დაინტერესდა ქ. თბილისის მერია (ნ.დუმბაძის პარკში). შეიძლება გამოსაყენებლად შეთავაზებული იქნეს სოფლის მაცხოვრებლებისა და ტურისტების მომსახურებისთვის;
3. პერსპექტიულია დ. პატარაიას მიერ დამუშავებული დისკრეტულ მოდელზე დაფუძნებული მყარი დეფორმირებადი ტანების მოდელირებისა და გაანგარიშების მეთოდის შემდგომი განვითარება, მათ შორის ჩვენს მიერ შესრულებული მისი უნივერსალიზაციის მიდგომა.

**დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.** სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 105 გვერდს და შედგება შესავლის, შვიდი თავისა და დასკვნისაგან. სადისერტაციო ნაშრომს თან ერთვის გამოყენებული ლიტერატურის სია.

## დისერტაციის ძირითადი შედეგები

### თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

განხილულია ნარკვევები ისტორიიდან და ე.წ. „მეორე დონის“ სატრანსპორტო სისტემების თანამედროვე გადაწყვეტები.

მდინარეებსა და ხეობებზე გადასასვლელად მცენარეული წარმოშობის (ლიანები, ბამბუკი) დრეკადი ჭიმვადი ელემენტების გამოყენების იდეა წარმოიშვა ადამიანთა საზოგადოების გარიჟრაჟზე. არსებობს უტყუარი ისტორიული მონაცემები ასეთი ხიდების აშენების შესახებ ძველ ეგვიპტეში, სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზიაში, ცენტრალურ და სამხრეთ ამერიკაში. დაკიდებული ხიდების პრიმიტიული კონსტრუქციებიდან თანამედროვე სისტემებზე გადასვლა მოხდა XVII – XVIII საუკუნეებში.

70-იანი წლების დასაწყისში შვეიცარიელმა ინჟინერმა გერხარდ მიულერმა შეიმუშავა სისტემა „აერობუსი“. ამ სისტემამ თავისი გამოყენება ჰპოვა მცირე ზომის ერთეული სატრანსპორტო ხაზების სახით, რომელსაც საპარკო-რეკრეაციული მნიშვნელობა ჰქონდა.

სატრანსპორტო სისტემა აერობუსი წარმოადგენს მზიდ ბაგირებზე მოძრავ დაკიდებულ სარკინიგზო ტრანსპორტს.

აერობუსის ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს პილონებს შორის დიდი დაშორება (600 მეტრამდე). ეს საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად შემცირდეს სამშენებლო სამუშაოები ტრასაზე. სისტემის გამოყენება შესაძლებელია ტვირთის კონტეინერებით გადაზიდვისას. აერობუსის სისტემის საფუძველს წარმოადგენს ხიდის ტიპის მიწისზედა სტრუქტურა პილონებზე დაკიდების ვანტური სისტემით. იგი ანალოგიურია სისტემისა, რომელიც გამოიყენეს სან-ფრანცისკოში “ოქროს კარიბჭისა” და ნიუ-იორკში ბრუკლინის ხიდების მშენებლობისას. როგორც აღინიშნა, მანძილმა საყრდენებს შორის შეიძლება მიაღწიოს 600 მეტრს, რაც საშუალებას იძლევა გზაჯვარედინები, საგზაო კვანძები და წყლის ბარიერები გადაილახოს სწორხაზოვნად, მიწის დიდი ნაკვეთის დაკავების გარეშე.

საინტერესოა ა. იუნიცკის სიმებიანი ტრანსპორტის პროექტი, რომელიც ეფუძნება წინასწარ დაჭიმულ ღრუტანიან კონსტრუქციის რელსს, რომლის შიგნითაც გაჭიმულია ფოლადის არმატურული მავთულები - სიმები. სიმები მიერთებულია რელსის კორპუსთან და თავთან და ქმნის ერთ მთლიანობას. მიერთება ხდება როგორც მექანიკურად, ასევე სპეციალური კომპოზიტით.

რელსი, როგორც წესი, წარმოადგენს ღრუტანიან კოლოფს, რომლის შიგნით განთავსებულია დაჭიმული მავთული-სიმების პაკეტი. ყუთის შიდა სივრცე, რომელიც სიმებით არაა დაკავებული, ივსება მინერალური ან პოლიმერული კომპოზიტებით. სიმების დაჭიმვის ძალვა შეადგენს 100-დან 1500კნ, მოძრაობის გათვლითი ჩქაროსნული რეჟიმიდან და სისტემის ტიპებიდან გამომდინარე.

30 მ. სიგრძის მქონე მაღზე სატრანსპორტო საშუალების მოძრაობისას, რელსის ვერტიკალური ჩაზნექა დაბალსიჩქარიანი გზისათვის არ უნდა აღემატებოდეს 30 მმ, ხოლო მაღალსიჩქარიანისათვის 6 მმ.

რაც შეეხება ბაგირის ჩაკიდებულობას, ძირითადი იდეა აქ ისაა, რომ რაც არ უნდა დაჭიმო ბაგირი, ჩაზნექა მაინც იქნება. ამიტომ ეს ჩაზნექა კომპენსირდება რელსის ტანის ღრუში. შემდგომ ზევიდან ჩამოცმევა სახურავი, რომელიც წარმოადგენს თვით რელსის თავს და დამუშავდება ჰორიზონტალურ სწორ ხაზად.

## **თავი 2. დაკიდებული ხიდი**

განხილულია დაკიდებული ხიდის სივრცითი კონსტრუქციის შემადგენელი კომპონენტების ძირითადი სტრუქტურა. დაკიდებული ხიდი ეს არის ხიდი, რომელშიც ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია შესრულებულია დრეკადი ელემენტებისაგან (ბაგირები, კაბელები, ჯაჭვები და სხვ.). ისინი მუშაობენ გაჭიმვაზე, ხოლო სავალი ნაწილი ჩამოკიდებულია. ძირითად მზიდ ტროსებს (ან ჯაჭვებს) კიდებენ ნაპირებთან აღმართულ პილონებს



შორის. ამ ტროსებზე ამაგრებენ ვერტიკალურ ტროსებს ან კოჭებს, რომლებზეც დაეკიდება ხიდის ძირითადი მუშა მალის გზის საფარი. ძირითადი ტროსები გრძელდება პილონებს მიღმა და მაგრდება მიწის დონეზე.

ამავე თავში ჩამოთვლილია დაკიდებული ხიდების უპირატესობები და ნაკლოვანებები:

### **თავი 3. ვანტური ბაგირგზა-ხიდის დამუშავება და კვლევა**

განხილულია ვანტური ბაგირგზა-ხიდის დამუშავება და კვლევა: სადისერტაციო თემატიკის განხორციელების აღწერა, ბაგირგზის ბაგირთა სისტემის დისკრეტული მოდელის გაანგარიშების ალგორითმი და პროგრამა, სისტემის კონსტრუქციული გადაწყვეტის ვარიანტები და შერჩეული საბაზო მოდელი.

გაანგარიშებების ანალიზის და კვლევების შედეგად საკიდებთან სავალი გზის მდოვრედ, წყვეტების (ტეხვების) გარეშე ფორმირებისათვის, ვანტური სატრანსპორტო დანადგარის სავალ ნაწილად უპირატესობა მიენიჭა ჩვენს მიერ დამუშავებულ სპეციალურ კონსტრუქციას - მოქნილ, შედგენილ ლითონის კოჭს. კოჭის პარამეტრები (ფორმა, მასალა, კვეთი) შერჩეულ იქნა იმ პირობით, რომ ის იქნებოდა მზიდუნარიანი და სათანადოდ ხისტი ორ მომიჯნავე საკიდს შორის (არანაკლებ 10 მეტრიან ზონაში) და ამავე დროს მაქსიმალურად მსუბუქი. მოდელირების დროს ვანტური საბაგირო გზის ტიპური მალის სიგრძედ აღებული იქნა 100 მ, ხოლო მანძილი საკიდებს შორის - 10 მ.

შეირჩა რამდენიმე ტიპის შედგენილი კოჭის ლითონკონსტრუქციის პროფილი სავალი ნაწილის მოდელირებისთვის მოძრავი შემადგენლობის პირობით დატვირთვებზე 1000 კგ/მ, ვაგონის სიგრძე -10 მ.

განხილულ იქნა მოძრავი შემადგენლობის დაკიდების ვარიანტები.

გამოკვლევულ იქნას თანამედროვე მასალებისგან, კერძოდ ბაზალტის ბოჭკოსაგან (ამ მასალის ნედლეულით მდიდარია საქართველო) ვანტური სატრანსპორტო სისტემის სავალი და მზიდი კონსტრუქციების აგების შესაძლებლობა. თანამედროვე ტექნოლოგიური მიღწევები შესაძლებლობას იძლევა ბაზალტის ბოჭკოსაგან დამზადდეს ვანტური სატრანსპორტო სისტემის ძირითადი კომპონენტები, მათ შორის ბაგირები, რაც მნიშვნელოვნად შეამცირებს კონსტრუქციის წონას და ეს არ მოხდება სხვა ტექნიკური მახასიათებლების გაუარესების ხარჯზე. ამ გარემოებათა გარკვევა და ბაზალტის ბოჭკოს საფუძველზე დამზადებული კვანძებით ლითონის ჩანაცვლების შესაძლებლობათა შეფასება ერთ-ერთი ამოცანა იყო.

ბაზალტის ბოჭკოსაგან დამზადებულ მზიდ კონსტრუქციებს ახასიათებს ძალზე მაღალი კოროზიამედეგობა, რაც დიდ უპირატესობას წარმოადგენს ლითონკონსტრუქციებთან შედარებით. ჩვენს შემთხვევაში მნიშვნელოვანია აგრეთვე, რომ ბაზალტის ბოჭკოს ტემპერატურული მედეგობა ლითონთან შედარებით თითქმის 1.5 - 2 ჯერ ნაკლებია: მაღალხარისხოვანი ფოლადისათვის- 1300<sup>0</sup> – 1400<sup>0</sup> C, ბაზალტის ბოჭკოსათვის კი - 700<sup>0</sup> – 900<sup>0</sup> C, რაც შესაძლოა უსაფრთხოების თვალსაზრისით გადამწყვეტი ფაქტორი იყოს კონსტრუქციის მასალის შერჩევისას. ამ გარემოების მხედველობაში მიღებით და, მთლიანად, აღნიშნული მიმართულებით მოპოვებული ინფორმაციის შესწავლის საფუძველზე, ჩვენს მიერ გადაწყდა მოქნილი სავალი ნაწილის შერჩევა და მისი ზომების დადგენა განხორციელდეს შედგენილი ლითონის კოჭის კონსტრუქციის დამუშავებით. ამოცანის შესრულებამ მიგვიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ დღევანდელი მდგომარეობით ბაზალტის ბოჭკოსგან დამზადებული ღეროების გამოყენება მიზანშეწონილია და შეიძლება რეკომენდებული იყოს მხოლოდ საკიდებისთვის.

#### თავი 4. შედეგების განსჯა

ხდება შედეგების განსჯა: სისტემის სავალი ნაწილის კონსტრუქციის დამუშავება, სისტემის სხვა ძირითადი ელემენტების და მათი მონტაჟის გადაწყვეტა, სისტემის სამონტაჟო გეომეტრიის შერჩევა.

სადისერტაციო თემის ძირითადი შედეგი არის სისტემის სავალი ნაწილის დამუშავებული კონსტრუქცია. ჩატარებული გაანგარიშებების და კვლევების საფუძველზე შერჩეული იქნა ფოლადის შედგენილი კოჭის საბაზო ვარიანტი. კოჭის კვეთი შეწყვილებული ორტესებრების ფორმისაა. ქვედა სარტყელის სიგანე (650 მმ) მეტია ზედა სარტყელზე (500 მმ). წიბოების სიმაღლე 500 მმ-ია, ხოლო მანძილი მათ შორის - 200 მმ. ქვედა სარტყელის ზომას განაპირობებს მოძრავი შემადგენლობის (ვაგონის) ბორბლების განლაგება. ლითონის ფურცლის სისქე მიღებულია 8 და 10 მმ.

სავალი ნაწილის კონსტრუქციის მე-3 საბაზო ვარიანტად განხილულ იქნა სამკუთხედის კვეთის მქონე 10 მმ სისქის ლითონის ფურცლის შედგენილი კოჭი (იხ. ცხრილი 1). ამ შემთხვევაში მოძრავი შემადგენლობის ბორბლების კუთხე იქნება დახრილი.

შესაძლებელი გახდა, საერთო წონის შემცირების მიზნით, სამკუთხედის კვეთის მქონე კოჭის ქვედა ფურცელში ღიობების მოწყობა, რაც საჭიროების შემთხვევაში ხელს შეუწყობს გატარებულ იქნას სხვადასხვა დანიშნულების კომუნიკაციები. აგრეთვე ამ მხრივ მოდელირებული იქნა ორტესებრი კოჭების შემსუბუქების (ღიობების მოწყობით) მისაღები ვარიანტები.

გაანგარიშებების შედეგების პარამეტრები გვადლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ სავალი ნაწილის ასეთი გადაწყვეტები პერსპექტიულია და მას არ გააჩნია რაიმე სახის ხილვადი ხარვეზი.

სავალი ნაწილის გარდა ვანტური ბაგირგზა-ხიდის სხვა ძირითადი ელემენტებია: საყრდენის კონსტრუქცია, საყრდენის საძირკვლები, ძირითადი მზიდი ბაგირი, საკიდები (ვანტები).

საბაზო მოდელში საყრდენის კონსტრუქციული გადაწყვეტა წარმოდგენილია ლითონის მილის სახით. პირობითად საყრდენის სიმაღლე

## სამკუთხედის კვეთის მქონე საბაზო კოჭის მხასიათებლები

sixistis ოდული	E kg/sm <sup>2</sup>	2.1e+006
პუასონის კოეფიციენტი	v	0.30
ნასალის ჯრის ოდული	G kg/sm <sup>2</sup>	913043
ნასალის სინკრივე	R <sub>0</sub> kg/sm <sup>2</sup>	0.00785
გეონეტრიული მახასიათებლები		
დასახელება	აღნიშვნა	სანკუთხა
სინჯიმის ცენტრის ფარდობითი კოორდინატები	U <sub>oc</sub> sm	-2.49994
	V <sub>oc</sub> sm	13.0787
ფართობი	F sm <sup>2</sup>	176.88
ინერციის მონენტი $\int R^2 ds$ მინარტ	I <sub>u</sub> sm <sup>4</sup>	42638.6
ინერციის მონენტი $\int v R^2 ds$ მინარტ	I <sub>v</sub> sm <sup>4</sup>	58775.3
ინერციის ცენტრიდანული მონენტი UOV კოორდ.	I <sub>uv</sub> sm <sup>4</sup>	-0.0137441
კვეთის გაბარიტული სიგანე	b sm	65
კვეთის გაბარიტული სიმაღლე	h sm	48
გარე კონტურის პერიმეტრი	P <sub>ext</sub> sm	180.935
სიდა კონტურის პერიმეტრი	P <sub>int</sub> sm	170.368
ინერციის მართავარი მონენტი $\int R^2 ds$ მინარტ	I <sub>y</sub> sm <sup>4</sup>	58775.3
ინერციის მართავარი მონენტი $\int \gamma R^2 ds$ მინარტ	I <sub>y+</sub> sm <sup>4</sup>	1808.47
ინერციის მართავარი მონენტი $\int \gamma R^2 ds$ მინარტ	I <sub>y-</sub> sm <sup>4</sup>	1808.48
ინერციის მართავარი რადიუსი $\int \gamma R^2 ds$ მინარტ	R <sub>y</sub> sm	18.2288
ბრტვული მართავარი მონენტი $\int Y^2 ds$ მინარტ	I <sub>y+</sub> sm <sup>4</sup>	15.5736
ბრტვული მართავარი მონენტი $\int Y^2 ds$ მინარტ	I <sub>y-</sub> sm <sup>4</sup>	7.41236
ინერციის მართავარი მონენტი $\int Z^2 ds$ მინარტ	I <sub>z</sub> sm <sup>4</sup>	42638.6
ინერციის მართავარი მონენტი $\int Z^2 ds$ მინარტ	I <sub>wz+</sub> sm <sup>4</sup>	1311.1
ინერციის მართავარი მონენტი $\int Z^2 ds$ მინარტ	I <sub>wz-</sub> sm <sup>4</sup>	2754.66
ინერციის მართავარი რადიუსი $\int Z^2 ds$ მინარტ	R <sub>z</sub> sm	15.5261
ბრტვული მართავარი მონენტი $\int Z^2 ds$ მინარტ	I <sub>z+</sub> sm <sup>4</sup>	10.2243
ბრტვული მართავარი მონენტი $\int Z^2 ds$ მინარტ	I <sub>z-</sub> sm <sup>4</sup>	10.2243
სიქსისტის მახასიათებლები		
რერჯული სიქსისტე	E <sub>F</sub> kg	3.71448e+008
რერჯული სიქსისტე $\int \gamma R^2 ds$ მინარტ	E <sub>ly</sub> kg/sm <sup>2</sup>	1.23428e+011
რერჯული სიქსისტე $\int z R^2 ds$ მინარტ	E <sub>lz</sub> kg/sm <sup>2</sup>	8.9541e+010
სიქსისტე ბრუნვა	G <sub>l</sub> kg/sm <sup>2</sup>	0
სექტორიული სიქსისტე	E <sub>lw</sub> kg/sm <sup>4</sup>	0
რერჯული სიქსისტე $\int \gamma R^2 ds$ მინარტ	G <sub>Fy</sub> kg	0
რერჯული სიქსისტე $\int z R^2 ds$ მინარტ	G <sub>Fz</sub> kg	0
გრძვიწასა	g kg/sm	1.38851

მიღებულია 10-12 მეტრი. გაანგარიშებების და კვლევების მიხედვით საყრდენზე ზემოქმედი ძალოვანი ფაქტორებია: ძირითადი ბაგირის დაჭიმულობა; მოძრავი შემადგენლობის დამუხრუჭება; ქარის განივი დატვირთვა; სეისმური აჩქარება.

საყრდენის კონსტრუქციის მილის ქვედა ნაწილი 100 სმ დიამეტრის და 1.4 სმ სისქისაა, მილის ზედა ნაწილის კვეთის დიამეტრი - 70 სმ, კედლის სისქე - 1.4 სმ.

საყრდენების კონსტრუქციული გადაწყვეტა შესაძლებელია განხორციელდეს სხვა ვარიანტებშიც, როგორც მასალის (რკინაბეტონი), ასევე სტრუქტურული (ფერმა, ჩარჩო) თვალსაზრისით.

რაც შეეხება საყრდენების საძირკვლებს, ის დამოკიდებულია დაფუძნების პირობებზე - გრუნტების საინჟინრო-გეოლოგიურ მონაცემებზე და უნდა გადაწყდეს ადგილზე, კონკრეტული კვლევების საფუძველზე. უმეტეს შემთხვევაში ეს არის ცალკემდგომი, წერტილოვანი, მასიური ტიპის რკინაბეტონის საძირკველი.

ძირითადი მზიდი ბაგირის კონსტრუქციას შეადგენს მაღალი სიმტკიცის მოთუთიებული მავთული და გულანა. გვარლის, გულანების და მავთულის რაოდენობა შესაძლებელია იყოს სხვადასხვა. მასალა - მოთუთიებული ნახშირბადოვანი ფოლადი, რიგ შემთხვევაში გულანა არის სინთეტიკური. კონკრეტულ საბაზო მოდელში გამოყენებულია ძირითადი მზიდი ბაგირები დიამეტრით 50,5 მმ.

საკიდები (ე.წ. ვანტები) გამოიყენება სავალი ნაწილის დასაკიდებლად ძირითად მზიდ ბაგირებზე. აქედან გამომდინარე საკიდების ძირითადი მუშა მდგომარეობა დაჭიმულობაა, მაგრამ დატვირთვების თანწყობების გარკვეულ პირობებში შესაძლებელია მათი კუმშვაც. საკიდების კონსტრუქციად მიღებულია მცირე დიამეტრის ბაგირი, არმატურა ან სხვა გაგლინული ფოლადის ან სინთეტიკური ელემენტი. ჩვენს შემთხვევაში საკიდებად მიღებულია 21.0 მმ დიამეტრის ბაგირები.

ჩვენს მიერ ასევე დამუშავდა მოძრავი შემადგენლობის პროტოტიპის ესკიზი და ჩატარდა კონსტრუქციის ოპტიმიზაცია უსაფრთხოების ფაქტორის მოთხოვნილი მნიშვნელობისათვის.

შერჩეული მოდელის ფარგლებში გადაიჭრა სავალი ნაწილის მოდულური აგების ამოცანა.

სატრანსპორტო სისტემის შერჩეული კომპონენტების შემთხვევისათვის შედგა სისტემის მონტაჟის სქემის ორი ვარიანტი:

ვარიანტი 1. სამონტაჟო სქემა მონტაჟის ერთი მიმართულებით;

ვარიანტი 2. სამონტაჟო სქემა მონტაჟის ორი შემხვედრი მიმართულებით;

სამონტაჟო ამოცანის განხილვის დროს გამოიკვეთა რამდენიმე თავისებურება, რაც დაკავშირებულია სისტემის გეომეტრიულად არაწრფივობასთან. ეს თავისებურებები გასათვალისწინებელია მონტაჟის საფეხურზე. როგორც გამოთვლებმა აჩვენა მონტაჟის დროს ადგილი აქვს სამონტაჟო კვანძების მნიშვნელოვან გადაადგილებებს, რაც ართულებს ასეთი მოქნილი სისტემის საპროექტო გათვლებთან შესაბამისობაში მონტაჟის ზუსტად შესრულებას. აღსანიშნავია, რომ საკიდების სიგრძეების და დაჭიმულობების რეგულირების პროცესი არაწრფივი პროცესია და მონტაჟის პროცესის ოპტიმიზაცია მოდელირების შედეგად უნდა დაიხვეწოს.

მოცემული ვანტური ბაგირგზა-ხიდის კონსტრუქციული სისტემისთვის ქარის დატვირთვა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან დატვირთვის ფაქტორს. ჩვენი საბაზო მოდელებისთვის კონსტრუქციის ჯამური ფართი ქარის ზემოქმედების პერპენდიკულარული მიმართულებით ერთი მალისთვის მერყეობს 45 - 50 მ<sup>2</sup> - ის ფარგლებში. მათ შორის, ბაგირთა სისტემის შუბლის ფართის სიდიდე არ აღემატება მთელი ფართის 10% -ს. ამრიგად, ქარის ზემოქმედების ძირითადი შემადგენელი არის სავალი ნაწილი. ქარის ზემოქმედების გავლენის შესწავლა ერთი მალის ფარგლებში მოხდა შემდეგი საწყისი პირობებისათვის:

a) სავალი ნაწილის ბოლოები ხისტადაა ჩამაგრებული;

b) როდესაც სავალი ნაწილის ერთი ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული, ხოლო მეორე თავისუფალია გრძივი მიმართულებით.

სავალი ნაწილის მაქსიმალური გადაადგილება (გადაღუნვა) აღწევს 1,84 მეტრს. ქარის ზემოქმედების შედეგების ძალოვანი ფაქტორებიდან აღსანიშნავია სავალი ნაწილის მაქსიმალური ჰორიზონტალური მღუნავი მომენტი - 14.7 ტ\*მ, და მზიდი ბაგირის დაჭიმულობა - 29.2 ტ.

საქართველოს სეისმური საშიშროების რუკის მიხედვით მაღალმთიანი რეგიონები ძირითადად მიეკუთვნებიან მაქსიმალურ - 9 ბალიან ზონას. მიუხედავად ამისა სეისმური ზემოქმედების გავლენა სისტემის მდგრადობაზე და მზიდუნარიანობაზე ნაკლებია ქარის ზემოქმედებასთან შედარებით და ამ შემთხვევაში არ განიხილება.

ვანტური სატრანსპორტო სისტემის სავალი ნაწილის გეომეტრიაზე მნიშვნელოვანი გავლენა შეიძლება იქონიოს ვაგონის დამუხრუჭების (აძვრის) დროს წარმოშობილმა ინერციის ძალებმა. ინერციის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრა უძრაობის ხახუნის მაქსიმალური ძალის სიდიდის მიხედვით, რაც პრაქტიკაში უეცარი დამუხრუჭების დროს შეიძლება განვითარდეს. ამრიგად, თუ აღებული სავალი ნაწილისათვის და მოძრავი შემადგენლობისათვის ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობას ავიღებთ  $\mu = 0.2$  ასეთ შემთხვევაში სამუხრუჭე ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა  $F \leq 20$  კნ.

ამ შემთხვევაშიც განხილულ იქნა სტატიკის ამოცანის ორი სხვადასხვა საწყისი პირობა:

a) სავალი ნაწილის ერთი ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული;

b) სავალი ნაწილის ორივე ბოლო თავისუფალია.

გაანგარიშების მიხედვით მზიდი ბაგირის მაქსიმალური დაჭიმულობაა 27.3 ტმ.

სამუშაოს ერთ-ერთ ძირითად შედეგად შეიძლება მივიჩნიოთ გზის სავალი ნაწილის და დაკიდების სისტემის ისეთი პარამეტრების შერჩევა,

რომლებიც უზრუნველყოფენ საკიდებთან სავალი გზის მდოვრედ, წყვეტების (ტეხვების) გარეშე ფორმირებას. მოძრავი შემადგენლობის ტრაექტორიის მაქსიმალური გაწრფივება ხელს შეუწყობს სასურველი გადაადგილების სიჩქარის დაგეგმვას და მიღწევას. განხილულ იქნა სავალი ნაწილის სასურველი გეომეტრიის მიღება მისთვის წინასწარი ფორმის მიცემით (აზნექვით). დრეკად - დეფორმირებული მდგომარეობის მიღება საკიდების სიგრძის რეგულირებით, ან (და) მზიდი ბაგირების დაჭიმვის რეგულირებით.

კომპიუტერული მოდელირებით გამოკვლეული იქნა საბაზო მოდელების სავალი ნაწილისთვის და მაქსიმალურად დატვირთული ვაგონისათვის მოძრაობის ტრაექტორიის გაწრფივების შესაძლებლობა. დადგინდა, რომ ფიქსირებული დატვირთვისათვის შესაძლებელია სავალი ნაწილის წინასწარი ფორმირების შედეგად (ანგარიშით დადგენილი ზემოთ აზნექილი ფორმის მიცემით) მიღწეულ იქნას პრაქტიკულად წრფესთან მიახლოებული მოძრაობის ტრაექტორია.

განგარიშების მიხედვით, სისტემის საბაზო მოდელზე დატვირთული ვაგონის (მოძრავი შემადგენლობის) ზემოქმედება განაპირობებს გეომეტრიას, სადაც სავალი ნაწილის მაქსიმალური აზნექვა (მალის შუაში) უდრის 1.06 მეტრს. შესაძლებელია გაკეთდეს დასკვნა, რომ დასახული მიზანი - მოძრაობის ტრაექტორიის გაწრფივება, მიღწეულია. მაქსიმალური თეორიული ჩანაღუნნი არ აღემატება  $\pm 8$  მილიმეტრს.

## **თავი 5. სისტემის საბაზო კონსტრუქციის**

### **ლაბორატორიული სტენდი**

განხილულია სისტემის საბაზო კონსტრუქციის ლაბორატორიული სტენდი: ექსპერიმენტი და მისი კომპიუტერული მოდელირება, ექსპერიმენტის შედეგები და დასკვნები. აღსანიშნავია, რომ ვანტური სატრანსპორტო სისტემის კომპიუტერული მოდელი შედგა და გაისინჯა რიცხვით მაგალითებზე იმ ანგარიშით, რომ კონსტრუქციათა ზომები



რეალური და განხორციელებადი ყოფილიყო ნატურული ექსპერიმენტის ჩატარების შემთხვევაში.

სისტემის საბაზო კონსტრუქციის და მისი ძირითადი კომპონენტების (ელემენტების) ლაბორატორიული სტენდის დამუშავება და თეორიული კვლევის შედეგების ექსპერიმენტული შემოწმება განხორციელდა გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტში.

ლაბორატორიული სტენდი აღიჭურვა CAS-ის ფირმის ტენზოგადამწოდით, რაც იძლევა საშუალებას მზიდ ბაგირში მოხდეს დაჭიმულობის ცვლილების კონტროლი უწყვეტ რეჟიმში, მონაცემთა ავტომატური დაფიქსირებით კომპიუტერში.

შეირჩა და შესრულდა ექსპერიმენტის ჩატარების რამდენიმე სქემა:

- ექსპერიმენტის სპეციფიკიდან გამომდინარე (სისტემა წარმოადგენს გეომეტრიული არაწრფივობის მქონე ბაგირღეროვან კომპლექსს) აუცილებელია ნულოვანი საბაზო მდგომარეობის შერჩევა;

- სავალი ნაწილის საკიდებთან შეერთების წერტილებში ცვლადი სტატიკური დატვირთვის მოდების სქემა;

- სავალ ნაწილზე საკიდებს შორის განლაგებული სტატიკური დატვირთვის მოდების სქემა.

ექსპერიმენტის ჩატარების თანმიმდევრობა:

- შეირჩა მზიდი ბაგირის სიგრძე (5.0 მ);

- მზიდი ბაგირის ბოლოზე მიერთდა ტარირებული ტენზოგადამწოდი;

- დაფიქსირდა მზიდი ბაგირის წინასწარი დაჭიმულობა და განისაზღვრა საწყისი (ნულოვანი) გეომეტრია;

- წინასწარ განსაზღვრულ ბაგირის წერტილებში დამონტაჟდა საკიდები, ცნობილი წონით და გეომეტრიული მონაცემებით;

- დაფიქსირდა საკიდების მონტაჟის შედეგად მზიდ ბაგირში გამოწვეული ცვლილებები (ძალები და გეომეტრია);

-საკიდების მონტაჟის შემდეგ მოხდა საკიდების მეორე ბოლოს წერტილების განლაგება ერთ ჰორიზონტალურ წრფეზე, რითაც განისაზღვრა საკიდების სამუშაო-სამონტაჟო სიგრძეები;

- მოხდა სავალი ნაწილის მონტაჟი და დაფიქსირდა მთელი სისტემის ძალოვანი ფაქტორები და გეომეტრია. აღნიშნული მდგომარეობა არის ექსპერიმენტში სისტემის სასტარტო (ნულოვანი) მდგომარეობა;

- ექსპერიმენტის შემდგომ ეტაპზე განხორციელდა სავალი ნაწილის არსებული გეომეტრიის პირობებში მისი დატვირთვა საკიდებთან ჩამაგრების კვანძებთან;

- ექსპერიმენტის დასკვნით ეტაპზე რეალიზდება სავალი ნაწილის ნულოვანი გეომეტრიის პირობებში სავალი ნაწილის საკიდებს შორის წინასწარ შერჩეულ წერტილებში დატვირთვის მოდება.

ექსპერიმენტის შედეგებთან შედარებითი ანალიზის ჩასატარებლად გაანგარიშებები განხორციელდა დ. პატარაიას დისკრეტული მოდელის და ლირა 9.6 პროგრამული კომპლექსის გამოყენებით. ექსპერიმენტულმა კვლევებმა დაადასტურა როგორც კომპიუტერული მოდელირებით, ასევე ანალიზური და რიცხვითი მეთოდებით მიღებული გაანგარიშებების სისწორე (იხ. ცხრილი 2). ჩატარებული ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევები იძლევა შემდეგი დასკვნების გაკეთების შესაძლებლობას:

- ვანტური სატრანსპორტო დანადგარის სავალი ნაწილისათვის ბაგირი, როგორც ეს ჰქონდა გადაწყვეტილი გ. მიულერს, მიზანშეწონილია ჩანაცვლდეს მოქნილი ძელით (კოჭი, წამწე), რაც მოგვცემს შესაძლებლობას მნიშვნელოვნად გავაუმჯობესოთ ვანტური სატრანსპორტო დანადგარის ტექნიკური მახასიათებლები. კერძოდ, შესაძლებელი იქნება თავიდან ავიცილოთ ვიბრაციის კერები საკიდებთან და გავზარდოთ ტრანსპორტირების სიჩქარე.

- განხილული ვანტური სატრანსპორტო დანადგარი წარმოადგენს გეომეტრიულად არაწრფივ სისტემას, რაც უნდა იქნეს გათვალისწინებული სისტემის სავალი ნაწილის კონსტრუქციის

შერჩევას. კერძოდ, სავალი ნაწილის სიხისტე ისე უნდა იქნას შერჩეული, რომ სავალი ნაწილის მაქსიმალური ჩაღუნვა იყოს ვანტური სისტემის მალის ჰორიზონტალური სიგრძის 1/200 . . . 1/500 -ის ფარგლებში.

- კოჭის მაქსიმალური ჩაღუნვა სასარგებლო დატვირთვის მოქმედების არეში (უახლოეს საკიდთა შორის) არ უნდა აღემატებოდეს მალში სავალი ნაწილის მაქსიმალური ჩაღუნვის 1/10 -ს. სატრანსპორტო სისტემის მდგრადობის თვალსაზრისით რეკომენდებულია სავალი ნაწილი აღიჭურვოს განივი მიმართულებით მოძრაობის შემზღვევადი კონსტრუქციით. ამასთან სისტემაზე დინამიკური გავლენის შესამცირებლად საჭირო იქნება კონსტრუქციაში მადემპფერებელი ელემენტების ჩართვა.

ცხრ. 2.

**ექსპერიმენტით და კომპიუტერული მოდელირებით მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი**

კვანძის #	ექსპერიმენტით მიღებული შედეგები, მმ	საბაზისური მოდელირებით მიღებული შედეგები, მმ	გაზონების ცდომილება, მმ	საბაზისური მოდელირებით მიღებული შედეგები, მმ
A	0	0	±2	0
1	- 1	- 2.07	±2	- 1.07
2	- 3	- 6.21	±2	- 3.21
3	- 8	- 11.7	±2	- 3.7
4	- 17	- 17.4	±2	- 0.4
5	- 22	- 20.3	±2	1.7
6	- 15	- 17.7	±2	- 2.7
7	- 13	- 12.5	±2	0.5
8	- 8	- 7.32	±2	0.68
9	- 5	- 2.88	±2	2.12
D	0	0	±2	0

## თავი 6. ფეხით სავალი ბაგირგზა-ხიდი

ჩვენს მიერ დამუშავებულია საპროექტო გადაწყვეტა - ფეხით სავალი ბაგირგზა-ხიდი. აღნიშნული საკითხი თანხვედრია და შეესაბამება სადისერტაციო თემატიკას. გადაწყვეტილ იქნა მისი დამუშავება დეტალურად - საპროექტო დოკუმენტაციის დონეზე.

ფეხით სავალი დაკიდებული ხიდები წარმატებით გამოიყენება რთული და მთაგორიანი რელიეფის, დაცული ტყე-პარკების, მდინარეების გადასასვლელების, ატრაქციონების, ტურისტული ობიექტების, ჰარმონიული არქიტექტურული გადაწყვეტების პირობებში. დრეკად-დაჭიმულ ელემენტად სტანდარტული არმატურული ღეროს გამოყენებას საფუძვლად დაედო დაჭიმული არმატურის შეპირაპირების სამონტაჟო კვანძის მოწყობის ახალი ტექნოლოგიური გადაწყვეტა კუთხვილიანი მაერთებელი ქუროთი.

ქარხნული სტანდარტებით არაგლუვი არმატურა იწარმოება 12 მეტრამდე სიგრძით და ძირითადად გამოიყენება სამშენებლო რკინაბეტონის კონსტრუქციებში, სადაც ერთმანეთს უკავშირდება შედუღებით, ან ცვალებადი სიგრძის პირგადადებით. რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არმატურის შეპირაპირებისთვის კუთხვილიანი მაერთებელი ქურო ამჟამად საქართველოშიც გამოიყენება. შესაბამისად, არსებობს მათი დასამზადებელი დანადგარებიც. მზიდ ელემენტად არმატურის შერჩევა აგრეთვე განაპირობა არმატურის ხელმისაწვდომობამ და შედარებით დაბალმა ღირებულებამ.

ჩვენს მიერ მოდელირებული და გაანგარიშებული იქნა ლითონის ქუროს კვანძის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა.

ლირა 9.6-ის და დ. პატარაიას საანგარიშო პროგრამული პაკეტის - დისკრეტული მოდელის საფუძველზე შედგენილი საანგარიშო პროგრამების გამოყენებით გაანგარიშებულია კონსტრუქციის მზიდი და სავალი ნაწილის ყველა ძირითადი პარამეტრი, შედგენილია ესკიზური ნახაზები, დადგენილია ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები და

შედგენილია ხარჯთაღრიცხვა. ქვემოთ წარმოდგენილი პროექტი არ ატარებს მუშა დოკუმენტაციის ხარისხს, ვინაიდან ის ტიპურია. მისი „მიზმა“ და ადაპტაცია უნდა მოხდეს კონკრეტული ადგილმდებარეობის მიხედვით: მაგალითად საძირკვლები, ანტიკოროზიული დაცვა, მილების დაკიდების კვანძი და სხვ.

წინასწარი მოდელირების და ანალიზის საფუძველზე გადაწყდა და კონსტრუქციისთვის შეირჩა:

- ხიდის მალის სიგრძე 30-დან 50 მეტრამდე;
- მზიდი „ბაგირის“ ფუნქციას ასრულებს 25-32 მმ დიამეტრის 500ს, ან AIII კლასის არმატურა;
- საძირკველი - ცალკე მდგომი მონოლითური რკინაბეტონის მასივი ან ანკერის ტიპის ჩასასობი ხიმინჯი;
- სპეციალური ფორმის ლითონის მილებზე დაკიდებული ხის ფიცრების სავალი ნაწილი სიგანით 600 მმ;
- უსაფრთხოების უზრუნველყოფა - ლითონის დამცავი ზადე.

კუთხვილიანი მაერთებელი ქუროს დიამეტრი და სიგრძე დამოკიდებულია არმატურის დიამეტრზე და შეადგენს: 25-იანი არმატურისათვის შესაბამისად 45 და 65 მმ-ს, 28-ანი არმატურისათვის 48 და 75 მმ-ს, ხოლო 32-ანი არმატურისათვის 52 და 85 მმ-ს.

ფეხითსავალი ბაგირგზა-ხიდის ქვემოთ მოცემული საბაზო საპროექტო გადაწყვეტები და გაანგარიშების შედეგები განსაზღვრულია 30 მეტრის სიგრძის გადასასველისთვის.

მზიდი მუშა არმატურის დაჭიმულობა განპირობებულია საფეხმავლო ბაგირგზა-ხიდის მიღებული გეომეტრიით და დროებითი და მუდმივი დატვირთვების თანაწყობით. კერძოდ, მოცემული 30 მეტრიანი მალისათვის წინასწარი ჩალუნვა მიღებულია 50სმ. მაქსიმალური, ჯამური დატვირთვების კომბინაციით ხიდის კონსტრუქციების ჩალუნვა არ აღემატება 100 სმ-ს.

მზიდი მუშა არმატურის მაქსიმალური დაჭიმულობა შეადგენს 18 ტონას, რაც შესაბამისად გადაეცემა საძირკვლებს.

დასმული ამოცანისთვის საძირკვლების ფუძედ პირობითად განხილულია ორი განსხვავებული საინჟინრო-გეოლოგიური ელემენტი: თიხოვანი და კლდოვანი (ძირითადი ქანები) გრუნტები.

თიხოვან გრუნტებზე დაფუძნებისას გამოყენებულია ცალკე მდგომი ბეტონის მასივი, რომელშიც ჩაანკერდება მზიდი არმატურა და ამავე დროს ის გამოიყენება ხიდის სავალ ნაწილთან დასაკავშირებლად. კლდოვანი გრუნტების შემთხვევაში ლითონის გაგლინული ელემენტი (ჩვენს შემთხვევაში - მილი) ჩაანკერდება ძირითად ქანებში და მასზე მონტაჟდება მზიდი არმატურა შედუღებით ან კუთხვილიანი კვანძით.

დაფუძნების ზემოაღნიშნული გადაწყვეტები პრინციპულად მოიცავს საძირკვლების მოწყობის ძირითად სპექტრს. მიუხედავად ამისა, ის მხოლოდ პირობითია და პროექტის რეალიზაციის შემთხვევაში, საძირკვლების ნახაზები უნდა დამუშავდეს ხიდის კონკრეტული ადგილმდებარეობის მიხედვით შესრულებული საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევის საფუძველზე.

ცხრილებში მოცემული სპეციფიკაციების მიხედვით 30 მეტრიანი საფეხმავლო ბაგირგზა-ხიდის მასალების გასაშუალებული თვითღირებულება არ აღემატება 5500 ლარს.

მოცემული კონსტრუქციების სამონტაჟო სამუშაოები სირთულეს არ წარმოადგენს. ის შესაძლებელია ორ სამუშაო დღეში შეასრულოს პროფესიულად მომზადებულმა ორმა სპეციალისტმა. აქ არ იგულისხმება მიწის სამუშაოები და საძირკვლების მოწყობა.

არც ხიდის კონსტრუქციების გამოყენებული მასალების წონა და გაბარიტები ქმნიან მათი მიწოდების რაიმე სახის შეზღუდვებს.

ჩატარებული სამუშაო იძლევა საფუძველს ფეხით სავალი ხიდი გამოსაყენებლად შეთავაზებული იქნეს სოფლის მაცხოვრებლებისა და ტურისტების მომსახურებისთვის. კონსტრუქცია მზადაა

რეალიზაციისთვის - შედგენილია სათანადო დოკუმენტაცია სტადია პროექტის სახით და მზადაა მუშა ნახაზების შესადგენად.

დამუშავებული ფეხით სავალი ხიდის კონსტრუქციას აქვს შემდეგი უპირატესობები: მცირე ღირებულება, მონტაჟის სიადვილე, ხელმისაწვდომობა დამზადებისა და გამოყენების თვალსაზრისით, კონსტრუქციული სიმარტივე.

### **თავი 7. ზაგირ-ღეროვანი სტრუქტურების გაანგარიშება დისკრეტული მოდელით წარმოდგენის საშუალებით**

წარმოდგენილია დისკრეტული მოდელის მიდგომა ბრტყელ (გარსი) სტრუქტურასთან მიმართებაში - ამოცანის დასმა, სასაზღვრო პირობები, ამოხსნის თანმიმდევრობა და ალგორითმი.

სადისერტაციო თემაზე მუშაობის პერიოდში დადგა საკითხი: დისკრეტული მოდელის გამოყენება ღეროვან-სივრცული სტრუქტურების გაანგარიშებისათვის.

ცნობილ და მოქმედ კომპიუტერულ საანგარიშო კომპლექსების აბსოლუტურ უმრავლესობაში ძირითადად რეალიზებულია გაანგარიშების სასრული ელემენტების მეთოდი: ღერო, გარსი, მასივი და სხვა ერთეული პირობითად დაყოფილი და დანაწევრებულია გარკვეული (ოპტიმალური) რაოდენობით და წარმოდგენილია სხვადასხვა სახის (ტიპის) სასრული ელემენტების ერთობლიობით, რომელთაც მინიჭებული აქვს გარკვეული ფიზიკური თვისებები.

ღეროვანი და მის საფუძველზე შედგენილი სივრცული სტრუქტურების გაანგარიშებისა და კვლევისათვის დისკრეტულ მოდელში საჭიროა დამატებითი ფიზიკური პარამეტრების შეყვანა:

- ღერომ უნდა იმუშაოს როგორც გაჭიმვაზე, ასევე კუმშვაზე;
- ღეროს ელემენტს გაუჩნდება განივი სიხისტე;
- ახალი, პირობითი “ზამბარები” (მლუნავი მომენტი) იმოქმედებენ კვანძებშიც.

დასმული ამოცანის მიხედვით განიხილება დისკრეტული მოდელის განზოგადება უწყვეტი ტანის 2 და 3 განზომილებიანი წარმოდგენისათვის. ამ მიზნით ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ნებისმიერი მყარი ტანის პირობითად წარმოდგენა წერტილთა ერთობლობის სახით, ისე რომ გარემოს დრეკადი თვისებების მოდელირება წარმოებდეს მომიჯნავე წერტილებს შორის. ე.ი. კლასიკური დერო (სვეტი, კოჭი), ფილა (გარსი), და სხვა ნებისმიერი კონსტრუქციული ელემენტი (ტანი) შესაძლებელია მოდელირებულ იქნას როგორც დერო, სიბრტყე (გარსი) ან სივრცული ბადე.

რეალურ დეროს გააჩნია კონკრეტული გეომეტრიული პარამეტრები (სიგრძე, განივი კვეთის ფართობი, ინერციის მომენტი) და ფიზიკური მახასიათებელი - დრეკადობის მოდული. ჩვენი მიდგომით დისკრეტული მასის ლოკალიზაცია გათვალისწინებულია კვანძებში.

დეროს დისკრეტული მოდელის და მისი ძირითადი სასაზღვრო პირობების და პარამეტრების დასამუშავებლად შედგენილ იქნა შესაბამისი განტოლებები.

სასაზღვრო პირობების ფორმულირებისათვის გამოყენებულ იქნა დრეკადობის თეორიის გადაადგილებების მეთოდი (გადაადგილება – დაფორმაცია - გუკის კანონი - წონასწორობის განტოლებები).

ამოცანის გადაწყვეტის ალგორითმი აგებულია იტერაციულ-ვარიაციულ პრინციპზე, ისე რომ სისტემა თავისი წონასწორობის მდგომარეობისკენ მიისწრაფის. პროცესი შესაძლებელია დასრულდეს საკმარისი სიზუსტის უზრუნველყოფის შემთხვევაში.

ამოცანის ამოხსნით მიდგომა: ძირითადი პრინციპი, ნაბიჯების თანმიმდერვრობა და შესაბამისად შედგენილი განტოლებები. წარმოდგენილია განტოლებათა სისტემა მხოლოდ ბრტყელი (2დ) გარსის მოდელირებისათვის. სივრცული სტრუქტურის გასაანგარიშებლად ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი უცვლელია. ამ შემთხვევაში



პროპორციულად იზრდება ამოსახსნელი უცნობების და შესაბამისი განტოლებების რაოდენობა.

მოცემული მიდგომის ნაკლია ის, რომ ამოცანა მოითხოვს კომპიუტერული გამოთვლის საკმაოდ დიდ დროს და დამოკიდებულია საანგარიშო ობიექტის მოცულობაზე, მისი დანაწევრების (დისკრეტული ბადე) ხარისხზე: განტოლებები, უცნობები, იტერაციის და ბიჯების რაოდენობა და ა.შ. ამავე დროს:

- მოდელირების მოცემული მიდგომის უპირატესობა თვალსაჩინოა გეომეტრიულად არაწრფივი ამოცანებისათვის;

- შესაძლებელია გავითვალისწინოთ საანგარიშო ობიექტის კომპოზიტური შედგენილობა (მაგ. რკინაბეტონის კონსტრუქციაში არმატურის განლაგების პირდაპირი ასახვა);

- პერსპექტივაში ასეთი ტიპის საანგარიშო კომპლექსს არ დაჭირდება ე.წ. “სასრული ელემენტების ბიბლიოთეკა”, სიხისტეების ნაირსახეობა და ციფრული ანალოგიები;

- შესაძლებელი იქნება მოდელში კონსტრუქციული მიკროელემენტების ზღვრული დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ლოკალური კონტროლი.

- შესაძლებელი იქნება არსებული საანგარიშო ობიექტებისათვის მათი დეტალური პარამეტრების მოდელირება.

ამჟამად მიმდინარეობს გაანგარიშების აღწერილი მიდგომის კომპიუტერული საანგარიშო მოდელის ალგორითმის დამუშავება-სრულყოფა C++ და Matlab პროგრამული ენების გამოყენებით. ამოცანა მოითხოვს მათემატიკურ ოპტიმიზაციას, დეტალურ ანალიზს და კვლევებს. საჭიროა მისი ტესტირება (შესაბამისობა და შედარება) არსებულ საანგარიშო კომპლექსებთან.

## ზოგადი დასკვნები

1. ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მიულერის ტიპის ვანტური სატრანსპორტო სისტემის ძირითადი ხარვეზის - დაკიდების წერტილებში სავალი გზის ტევვა და ინტენსიური დაღლა შესაძლებელია არსებითად აღმოიფხვრას ისე, რომ ამასთანავე შენარჩუნდეს სისტემის ძირითადი უპირატესობები, თუ სავალი გზა ნაცვლად ბაგირისა წარმოდგენილი იქნება ამ მიზნით დამუშავებული სპეციალური პროფილის მქონე ძელის (კოჭის) სახით.
2. ზემოთ აღნიშნული ძირითადი დასკვნის სარეალიზაციოდ დამუშავდა სავალი ნაწილის, მოძრავი შემადგენლობის და სახაზო ნაგებობების საბაზო კონსტრუქციები, განისაზღვრა მათი ძირითადი პარამეტრები და მაჩვენებლები, რომლებიც საფუძვლად დაედება სათანადო საექსპერიმენტო დანადგარის საპროექტო გადაწყვეტებს.
3. სადისერტაციო სამუშაოს შესრულებისას მიღებული შედეგების გამოყენებით დამუშავდა აგრეთვე ფეხით სავალი ხიდის პროექტი და სათანადო სარეალიზაციო დოკუმენტაცია. აქ შეთავაზებულია სიახლე - დრეკადი დაჭიმული ელემენტის ფუნქციას ნაცვლად ბაგირისა ასრულებს სამშენებლო პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებული არმატურის ღერო, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს და აიაფებს ასეთი კონსტრუქციის აგებასა და ექსპლუატაციას. სამუშაოს ეს ნაწილი მზადაა პრაქტიკაში გამოსაყენებლად.

კერძო შედეგებიდან უნდა აღინიშნოს:

1. გარდა პრაქტიკაში გავრცელებული საანგარიშო პროგრამული კომპლექსებისა (მაგ., „ლირა“, „ანსისი“) განხილული სამშენებლო ბაგირ-ღეროვანი კონსტრუქციები პარალელურად გაანგარიშებული იქნა აგრეთვე მყარი დრეკადი სტრუქტურების დისკრეტული წარმოდგენისა და სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით (მიდგომა დამუშავებულია დ.პატარაიას მიერ), რამაც დაგვარწმუნა აღნიშნული

მიდგომისა და კომპიუტერული უზრუნველყოფის კონკურენტუნარიანობაში და რიგ დადებით თვისებებში. კერძოდ, აღნიშნული მიდგომა, განსხვავებით პროგრამული კომპლექსებისგან, არ არის მომთხოვნი საწყისი პირობების ხარისხისადმი, შეუძლია იანგარიშოს კონსტრუქციის მახასიათებელი პარამეტრების ფართო დიაპაზონში, შედარებით ადვილია ხახუნისა, ჰისტერეზისა და სხვა არაწრფივობათა გათვალისწინება.

2. კომპიუტერული მოდელირებით დადგინდა, რომ ფიქსირებული სასარგებლო დატვირთვისათვის სავალი ნაწილის წინასწარი ფორმირების შედეგად (ანგარიშით დადგენილი ზემოთ აზნექილი ფორმის მიცემით) შესაძლებელია მიღწეულ იქნას წრფესთან მიახლოებული მოძრაობის ტრაექტორია. ასევე მიღწევადია ვიბრაციის კერების გამოვლენა და მათი ზემოქმედების თავიდან აცილება და შედეგად ტრანსპორტირების სიჩქარის გაზრდა.
3. დამუშავდა და აიგო ვანტური სატრანსპორტო სისტემის ლაბორატორიული სტენდი, რომელზეც სპეციალურად შედგენილი პროგრამით ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების ანალიზმა დაადასტურა თეორიული, ანალიზური და კომპიუტერული გაანგარიშების შედეგები.

## აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები მოხსენებების სახით გაშუქდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა ღია 81-ე სამეცნიერო კონფერენციაზე, კოლოკვიუმებსა და თემატურ სემინარებზე.

### გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:

1. ვანტური სატრანსპორტო სისტემა მოქნილი სავალი ნაწილით - პრობლემები და პერსპექტივები. საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის პირველი ყოველწლიური კონფერენცია. თბილისი, 2010 წ.
2. საფეხმავლო ბაგირგზა-ხიდი. სტუდენტთა 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი, 2013 წ.
3. Д. И. Патарая, Г. В. Джавахишвили, Э. Ш. Цоцерия, и др. Дискретная модель разреженных канатно-стержневых систем. Стальные канаты, вып. 6. Астропринт, Одесса, 2008. с.15-23.
4. Д. И. Патарая, Э. Ш. Цоцерия, Г. В. Джавахишвили, и др. Усовершенствование конструкции вантовой канатной дороги. Стальные канаты, вып. 8. Астропринт, Одесса, 2010.
5. ე. წოწერია, დ. პატარაია, გ. ჯავახიშვილი, და სხვ. ვანტური სატრანსპორტო სისტემების ძირითადი კონსტრუქციული კვანძების გაუმჯობესების გზები. სამთო ჟურნალი, 1(32), თბილისი, 2014.
6. ე. წოწერია. ფეხით სავალი ბაგირგზა-ხიდი. სამთო ჟურნალი, 1(32), თბილისი, 2014.

### Abstract

#### **Development and research design of the cable-stayed ropeway-bridge of mining and transportation system based on the discrete model**

Guyed cableways is one of the best ways for moving vehicles in the mountainous and complex relief.

The aim of this work is to improve the faults and deficiencies which hinder wide usage of the constructions of guyed cableways; namely, the new approach proposed by the topic of the Thesis is: to use a flexible stem structure of a special construction as a roadway. On the basis of this construction a guyed cableway - bridge, has been designed with the following advantages:

- Lightweight construction;
- construction – by adjustment of standard modules; easy assembly and disassembly, portability.
- different functional combinations opportunity – carrying both people and cargo;
- energy self-sustainability.

A light, mobile, multifunctional guyed cableway-bridge has been worked out as the result of the conducted researches. A flexible stem structure permitting comparatively higher traffic speed, is a novelty.

Suspension bridges are successfully used on the long distances when erecting of the intermediate pillars is impossible or dangerous.

Main load-bearing cables (or chains) are suspended on the pylons on the banks/shore. Vertical cables/ropes or beams are attached to them to hold the road surface of the basic working span.

Main cables (or chains) are lengthened beyond the pylons and are anchored into the ground. The load-bearing construction may become deformed under compression or any other load which is caused by the low plasticity of the bridge. To reduce sagging of the road surface of the modern bridges is strengthened by stringers and trusses which distribute the load.

A system of straight-line ropes, attached immediately to the pylons, is also used to keep the road surface from impact.

The advantages of the suspension bridges are as follows:

- Construction of suspension bridges enables to construct a basic working span with the minimum quantity of constructing materials. This is the reason for effective usage of such constructions over the large canyons and isthmuses.
- Cables and ropes of the ultimate strength (2-2.5 gn/m<sup>2</sup>) are widely used in construction of modern suspension bridges which significantly reduces the bridge weight.
- Suspension bridges may be constructed rather high above the surface which enables ships and other large vessels to pass under it.
- Constructing of Intermediate pylons is not required which is a big advantage in the cases of the eroded mountain slopes and the rivers with strong current.
- Due to their flexibility suspension bridges sag under strong winds and seismologic impacts without their constructions being damaged while the solid bridges require being stronger and heavier to withstand the same loads.

The current Thesis is based on the Guyed Transport Unit of the particularly light construction, with the opportunity of usage of rather long spans, developed by a German engineer G. Müller in 90's of the past century.

Testing of the model this guyed transport unit identified the following faults of the construction:

- The cable, designed as a roadway due to the lightness and high load-bearing of its construction, had its negative aspect, namely, its points of suspension were the places of intensive vibration which prevented from developing high-speed traffic.
- Using the cable as a roadway complicates the construction of traffic direction change which might be a big hindrance in the modern urbanization process.

The conducted theoretical and experimental researches have enabled us to conclude the following: the traffic cable construction of G. Müller's Guyed Cable System model must be replaced by a flexible stem structure – a rail which improves the traffic part of the road, traffic trajectory and gives the opportunity of increasing the traffic speed and reducing the vibration – the main goals to be achieved.

The Thesis also foresees a distinguished project of a pedestrian cable-bridge. The pedestrian cable-bridge has the novelty – usage of a standard armature as a strained element (a cable/rope). The idea was supported by the modern version of the assembly unit of the armature edging - angled fast coupling.

Every basic parameter of the load-bearing and traffic parts of the construction is calculated by means of the calculating programmes based on Lira 9.6 and a discrete model; the lay outs are designed and the technical-economical documentation is ready to use in practice.

The Thesis is also the basis of usage D. Pataraia's Discrete Calculating Programmes and Methods for calculating and modelling of not only a stem constructions but the casing and special ones too. The mentioned working process is kept in progress now.