

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირაკლი ჯინჭარაძე

დიდმალიანი გადახურვების აგების
ტექნოლოგია

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი
2012 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამშენებლო ფაკულტეტის სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის
მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: პროფესორი
ლევან მახვილაძე
პროფესორი
ინგუშა მშენიერაძე

რეცენზენტები: პროფესორი **ვლადიმერ ლოლაძე**
პროფესორი **კონსტანტინე ჩხიკვაძე**

დაცვა შედგება 2012 წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატის - სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს
სწავლული მდივანი,
სრული პროფესორი

მურმან კუბლაშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა:

დიდმალიანი შენობების, აეროპორტების, ანგარების, სხვადასხვა დანიშნულების დარბაზების, პავილიონების, საწარმოო და სამოქალაქო ობიექტების მშენებლობა – უპირველეს ყოვლისა დაიწყო იქ, სადაც ეს ტექნიკური პროგრესით, ტექნოლოგიური პროცესების ახალი მოთხოვნილებებით იყო განპირობებული. რკინაბეტონის და სხვა კომპოზიციური ახალი მასალების აღმოჩენამ, სამშენებლო მეცნიერების განვითარებამ, განსაკუთრებით გარსთა თეორიის ანგარიშის სრულყოფამ მიგვიყვანა თანამედროვე თხელკედლიან სივრცითი კონსტრუქციის შექმნამდე, შესაძლებელი გახდა შენობის დიდი მალის გადახურვა შუასაყრდენების გარეშე, მასალის შედარებით ნაკლები დანახარჯებით.

სამამულო პრაქტიკაში, საზღვარგარეთისაგან განსხვავებით, მთავარი ყურადღება ეთმობა ასაწყობი რკინაბეტონის გარსების მშენებლობას. ასეთია სპორტის სასახლე თბილისში, შენობა წყალტუბოში, პავილიონი ერევანში და სხვა.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს ძვირადღირებული კომპოზიციური მასალების გამოყენებას ან ორიგინალური, პროგრესული ტექნოლოგიების გამოყენებას, რომელიც საშუალებას იძლევა მასალების, განსაკუთრებით შრომის დანახარჯების და ელექტროენერჯის რესურსების ეკონომიას.

ამასთან დაკავშირებით დიდმალიანი გადახურვის აგების ტექნოლოგია, კონსტრუქციის გაანგარიშების პრობლემა საკმაოდ არსებობს სხვადასხვა მალის რკინაბეტონის და კომპოზიციური მასალებისაგან აგებული გარსების გაანგარიშების პროგრამები.

მიუხედავად ამისა, დისერტაციაში დიდი ყურადღება დაეთმო გაანგარიშების გაუმჯობესებულ დამუშავებას მეთოდის და ძირითადი აქცენტის გადატანას გუმბათოვანი შენობის აგების ახალი ტექნოლოგიას, რაც გვაძლევს მნიშვნელოვანი ეფექტის მიღწევის საშუალებას.

დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს დიდმალიანი გადახურვების ახალ ტექნოლოგიას, რომელიც ითვალისწინებს აგების ორიგინალურ

მონტაჟს, უზრუნველყოფს საიმედოობას და მშენებლობის დროის შემცირებას, გაიაფებას, შრომის დანახარჯების და ენერგო რესურსების დაზოგვას. პრაქტიკული გამოყენებისათვის საჭირო ეფექტური გაანგარიშების მეთოდს. ღეროვანი სფერული გუმბათის გაანგარიშების დაზუსტებას და ღეროვანი გუმბათის გაანგარიშების პროგრამის ალგორითმის მიხედვით გუმბათის კონსტრუქციის ექსპერიმენტულ გამოკვლევებს.

მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს პროგრესული ტექნოლოგიის შემუშავებაში, რამაც უნდა მოგვცეს შრომის დანახარჯების, მასალის და ენერგორესურსების ეკონომია. აგრეთვე გარსების თეორიული მეთოდის შემუშავების შეფასება, კონსტრუქციისათვის ელემენტების, ოპტიმალური ზომების უზრუნველყოფა ხისტი კვანძების გათვალისწინებით. შემოთავაზებულია ახალი მეთოდი, რომლის მიხედვითაც გუმბათი განიხილება როგორც ერთიანი გარსი წყვეტილად ცვალებადი სიმრუდით, რაც საგრძნობლად ამოკლებს გამოთვლის ალგორითმს.

მიღებულია უმომენტო გათვლების ცდომილება და მისი გამოყენების ზღვარი არათანაბარ განაწილებულ ძაბვებთან მიმართებაში.

მიღებულია ღეროვანი სფერული გუმბათის გაანგარიშების მეთოდი. შემოთავაზებულია დიდმალიანი გადახურვის კონსტრუქციის აგების ახალი ტექნოლოგია.

ნაშრომის ღირებულება მდგომარეობს თეორიულ და ექსპერიმენტულ გამოკვლევებში, რომელიც წარმოადგენს საფუძველს პრაქტიკული რეკომენდაციებისათვის გარსული დიდმალიანი კონსტრუქციების მზიდი ელემენტების ასაგებად.

დისერტაციაში წარმოდგენილი კვლევის შედეგებმა გამოყენება ჰპოვეს:

- მტკიცდება სხვადასხვა ავტორების მიერ მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტალური შედეგების დამაკმაყოფილებელი თანადამთხვევა.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა:

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო კონსტრუქციების კათედრის სამეცნიერო სემინარზე (თბილისი, 2006 წ.);

– საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო კონსტრუქციების, თეორიული მექანიკის, სამშენებლო მექანიკისა და სეისმომდებლობის კათედრების გაფართოებულ სამეცნიერო სემინარზე (თბილისი, 2006 წ.).

პუბლიკაციები: დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 1 მონოგრაფია, 2 პატენტი და 6 სამეცნიერო ნაშრომი.

ნაშრომის მოცულობა: დისერტაცია შედგება შესავლის, 3 თავის, დასკვნების, ლიტერატურის და დანართისაგან. იგი შედგება „„ გვერდისაგან, მათ შორის 24 ნახაზის და 4 ცხრილისაგან. ლიტერატურა მოიცავს „„ დასახელებას.

ნაშრომის შინაარსი

შესავალში მოცემულია ნაშრომის საერთო დახასიათება, დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, სამუშაოს მიზანი, მეცნიერული სიახლე, კვლევის მეთოდები, პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების რეალიზაცია, მეცნიერული დასკვნების და რეკომენდაციების სარწმუნოება, სამუშაოს აპრობაცია, ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.

პირველ თავში გადმოცემულია მიმოხილვა გუმბათების და მათი კვლევების, თხელკედლიანი სივრცითი სისტემების გაანგარიშების მეთოდების განვითარების ძირითად მიმართულებებზე. ჩატარებული ანალიზი ადასტურებს თემის აქტუალობას და საშუალებას გვაძლევს ჩამოვყალიბოთ კვლევის მიზანი.

მოსახლეობის მნიშვნელოვანი კონცენტრაცია, რაც დიდი ქალაქების თანამდევ პროცესია პერმანენტულად წარმოქმნის რიგ პრობლემებს, რომელთა გადაწყვეტა ასევე მუდმივ ძალისხმევას მოითხოვს.

საკითხს განსაკუთრებით ართულებს მოქალაქეების თავშეყრის ობიექტები, სადაც ისედაც მჭიდროდ დასახლებულ რაიონებში მათი რაოდენობა მკვეთრად იზრდება, რთულდება ტრანსპორტის მოძრაობა, ირღვევა ეკოლოგია, მძვინვარებს ანტისანიტარია და სხვა.

მსოფლიოს მრავალწლიანი გამოცდილება ადასტურებს, რომ მსხვილი მრავალპროფილიანი ობიექტები გააქვთ ქალაქგარეთ, მაგისტრალების გადაკვეთების სიახლოვეს და შენდება კომპლექსურად,

ინფრასტრუქტურის სრული სპექტრის გათვალისწინებით. ძირითადად ეხება დიდ სავაჭრო ბაზრობებს.

ავტორის მიერ შემოთავაზებული აღნიშნული ობიექტის აგების სიახლე ითვალისწინებს ორივე პრობლემის დაძლევის უნიკალურ შანსს.

თავისთავად ძალზე საპასუხისმგებლო საინჟინრო ნაგებობებს წარმოადგენს დიდმალიანი გუმბათოვანი რკინაბეტონის გარსები, რომლებიც გამოიყენება ბაზრების, სპორტული ნაგებობების, გამოფენების და სხვათა მშენებლობისას, რომლებიც გარდა ფუნქციონალური დანიშნულებისა, საინტერესო არქიტექტურულ და ღირშესანიშნავ შენობათა კლასს განეკუთვნება.

დღეისათვის ცნობილია დიდმალიანი გადახურვების მშენებლობის რამდენიმე ტექნოლოგია, რომელთაგან ყველაზე გავრცელებულია მონოლითური, ანაკრები, ან შერეული რკინაბეტონის კონსტრუქციებით აგებული გუმბათოვანი ნაგებობები, რომელთა ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები თითქმის ერთნაირია და ითვლება ძვირადღირებულ ობიექტებად.

დიდმალიანი კოჭოვანი გადახურვის გუმბათები შეიძლება განვიხილოთ როგორც სივრცული კონსტრუქციები, სადაც თვითოეული წყვილი საპირისპირო კოჭი მუშაობს ერთობლივად, როგორც თაღები.

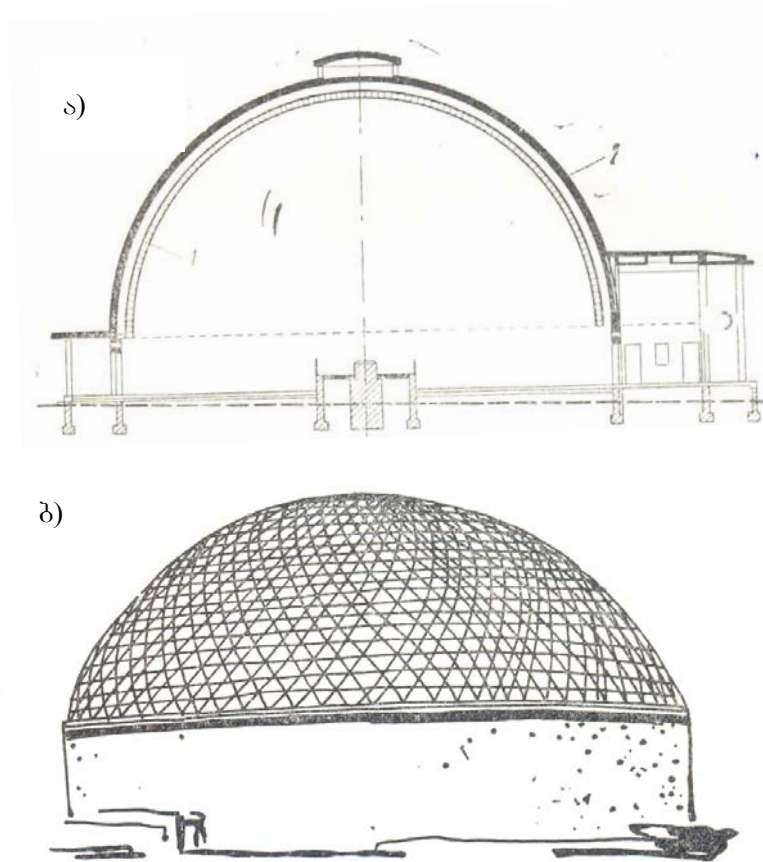
კოჭები შეიძლება განლაგებული იყოს გუმბათის, როგორც შიგა ისე გარე ზედაპირზე ერთ-ერთი პირველი იენის პლანეტარიუმის გარსული გადახურვა, წარმოადგენს გუმბათოვან ჩაკეტილ კომპოზიციას (ნახ. 1 ა,ბ) რომელსაც ირგვლივ წრიულად სარტყლის დონეზე მიშენება აქვს გაკეთებული.

გარსული გადახურვის სამშენებლო ოპერაციები მრავალრიცხოვანია, რთულია, მოითხოვს დიდ სიზუსტეს და მშენებლობის გახანგრძლივებულ პროცესს.

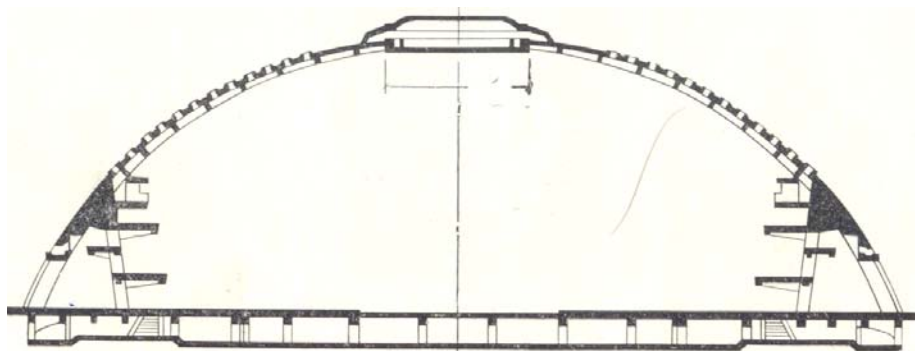
მაგალითად, სპორტის სასახლე ოპპორტოში (ნახ. 2) წარმოადგენენ უნივერსალურ ნაგებობებს, რომლებიც გადახურულია კოჭოვანი გარსებით და გამოიყენებიან სპორტული შეჯიბრებებისათვის, შეკრებებისათვის და მასობრივი სანახაობებისათვის.

ოპპორტოში გარსული გადახურვის დიამეტრი 92 მეტრია და აწვეის ისარი 15 მეტრი.

გუმბათი და მზიდი კოლონები აგებულია მონოლითური რკინა-ბეტონისაგან ხის ქარგილების გამოყენებით.



ნახ. 1. იენის პლანეტარიუმის გადახურვა

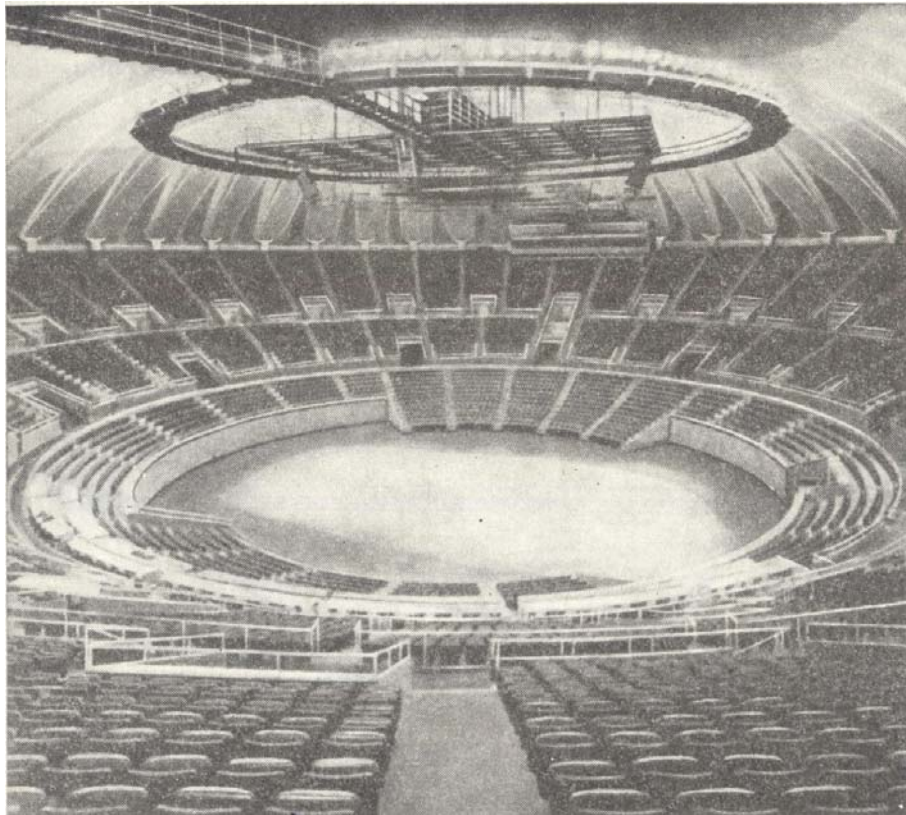


ნახ. 2. სპორტის სასახლე ოპორტოში

მასიური კომპოზიცია ნაგებობისა ურბანოში (აშშ) ილინოისის უნივერსიტეტის აუდიტორიისა შესრულებულია თაღის მაგვარი ჩაღრმავების მსგავსად, რომელიც გადახურულია გარსით (ნახ. 3).

– უზარმაზარი რკინაბეტონის გარსი 132 მ. დიამეტრით, 40,9 სიმაღლით შედგება 48 ერთნაირი სიდიდის სექტორისაგან.

- თეფშის მაგვარი ჩაღრმავება, რომელშიც განლაგებულია სკამები, თავდება ძლიერი რკინაბეტონის წრიული სარტყლით.



ნახ. 3. ილინოისის უნივერსიტეტის აუდიტორიის (აშშ)

გარსი დაბეტონებულია გადასაადგილებელი ქარგილით. მიუხედავად ამისა, საქარხნო და სამშენებლო მოედანზე ჩატარებული სამონტაჟო სამუშაოების ღირებულება მაღალია.

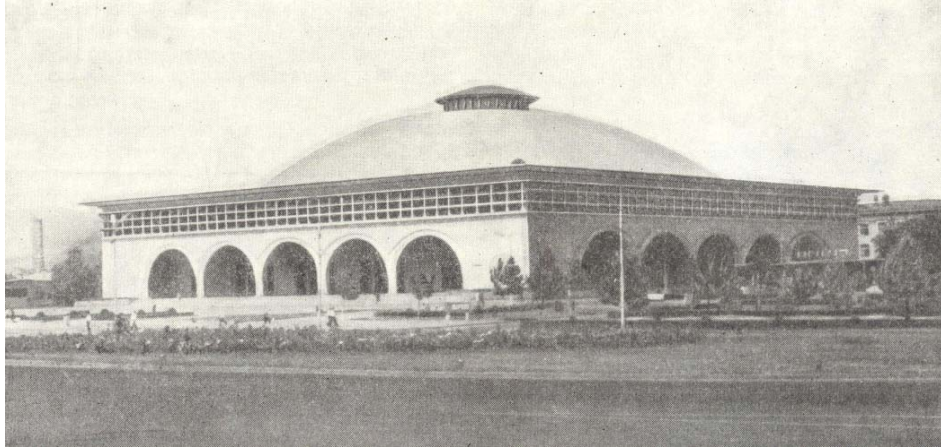
თბილისის სპორტის სასახლე გეგმაში კვადრატული ნაგებობაა (ნახ. 4). იგი გადახურულია ასაწყობი რკინაბეტონის გარსით, დიამეტრით 77 მ. ისრის აწევით 13მ. გარსის შუაგულში დატოვებულია წრიული ღიობი დიამეტრით-13,5მ.

გარსი დაპროექტებულია 10 ტიპური ტრაპეციის ფორმის საფეხურიანი ელემენტისაგან.

მონოლითური სარტყელი გეგმაში წარმოადგენს სწორ რვაკუთხედს, რომელიც ოთხი გვერდით ეყრდნობა კვადრატული ფორმის სარტყელს, ხოლო დანარჩენი ოთხი გვერდით კი გვერდით კედლებს.

გარსის მონტაჟის დროს დეფორმაციის მინიმუმამდე დასაყვანად, ავტორებმა შეიმუშავეს ციკლური მეთოდი: მონტაჟი წარმოებდა 2

ამწეთი “ლესმ5-5ა”, რომელიც განლაგებული იყო გარსის ქვედა სივრცეში, რომელიც მოძრაობდა პარალელური ქორდების გასწვრივ.



ნახ. 4. თბილისის სპორტის სასახლე

აღნიშნული აგების ტექნოლოგია შედარებით გაადვილებულია, მაგრამ მასაც გააჩნია მნიშვნელოვანი ნაკლოვანებები.

კერძოდ, ტრაპეციული ფორმის საფეხურიანი ელემენტი დამზადებული უნდა იყოს მაღალი სიზუსტით. თითოეული ელემენტი იწონის 8-10 ტონას. ასეთი დიდი ზომის ფორმის დამზადება და შემდეგ მისი ტრანსპორტირება ჯდება ძალიან ძვირი, ხოლო მშენებლობის დამთავრების შემდეგ ეს ფორმები წარმოადგენს ჯართს.

აღნიშნული გუმბათის აგების ტექნოლოგია გაადვილებულია, მაგრამ მიუხედავად მონტაჟის სიზუსტის მკაცრი მოთხოვნების დაცვისა ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლების ეფექტურობა დიდად არ განსხვავდება სხვა ტიპის ტექნოლოგიებისაგან.

აღნიშნული კონსტრუქციების აგების ტექნოლოგიების მოდიფიკაციის სხვა და სხვა მაგალითები ცხადყოფს მშენებლობის ძვირადღირებულებას. რაც გამოწვეულია მასალების, ენერგორესურსების და შრომის დანახარჯების სიძვირით.

მშენებლობის გაიაფების მცდელობა დღესაც აქტუალურია. მნიშვნელოვანს ამ საკითხის გადასაწყვეტად წარმოადგენს რკინაბეტონის გუმბათის აგების ინოვაციური ტექნოლოგია, რომელსაც პირობითად „ქართული ვარიანტი“ ეწოდება. იგი მნიშვნელოვანად განსხვავდება ზემოთ აღნიშნული სამივე ტიპის გადახურვების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებისაგან, რომლის შესახებაც ქვემოთ მოგახსენებთ.

მაჩვენებელთა ობიექტური შედარებისა და გაანგარიშების კორექტულობის უზრუნველსაყოფად მიზანშეწონილად მივიჩნით შევარჩიოთ ერთი და იგივე ფართობის და ერთი და იგივე სიმაღლეზე აგებული (10 მ.) მონოლითური რკინაბეტონის გუმბათოვანი გადახურვების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. ამ შემთხვევაში რკინაბეტონის მოცულობა და ლითონის სვეტების წონა – შესადარებელი ობიექტებისათვის თითქმის ერთი და იგივეა.

რაც შეეხება გუმბათოვანი გადახურვების აგების ტექნოლოგიას, სადაც ტრადიციული ვარიანტისათვის საჭიროა დიდი მოცულობის დამჭერი ხარახოების და გუმბათის ფორმის ქარგილის მოწყობა, აგრეთვე ყველა სხვა სამუშაოების – საარმატურე, საშემდუღებლო, დაბეტონების, სახურავის მოწყობის, სამღებრო, ჭალების შეკიდვის, ხარახოების და ქარგილების მოსხნის შრომატევადი ოპერაციები წარმოებს 17-20 მეტრის სიმაღლეზე.

შემოთავაზებული ვარიანტისათვის მკვეთრად შემცირებულია სამუშაოთა ჩამონათვალი, რადგან გუმბათის დაბეტონება, სახურავის მოწყობა და სხვა სამუშაო სრულდება უშუალოდ 0-ოვან ნიშნულზე და შემდეგ ხდება მისი საპროექტო ნიშნულამდე ერთდროული აწევა, ამიტომ მშენებლობის ვადები თუ ტრადიციული ვარიანტისათვის შეადგენს 3,5-დან 4 წლამდე, ქართული ვარიანტისათვის ერთი წლით განისაზღვრება.

მეორე თავში განხილულია სხვადასხვა გარსების გაანგარიშების ვარიანტები, გამომდინარე გარსთა საერთო თეორიის განტოლებებიდან, კერძოდ, დაფუძნებული უმემონტო თეორიის ჰიპოთეზის გამოყენებით. ეს უკანასკნელი ხშირად გამოიყენება საკუთარი წონებისაგან სიმეტრიული დატვირთვის ქვეშ მყოფი ბრუნავ გუმბათებთან მიმართებაში.

გაანგარიშებული სისტემების თავისებურება, განსხვავებით სხვა ბრუნვითი გარსისაგან, რომლის გაანგარიშება საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი და დაწვრილებით არის აღწერილი სათანადო სახელმძღვანელოებში და მოყვანილია ცხრილებში, მდგომარეობს იმაში, რომ ზედაპირის გაუსისეული სიმრუდე ზედა ნაწილიდან ქვედაზე გადასვლისას იცვლება ნახტომისებურად, რადგან ყოველი ნაწილი შექმნილია სხვადასხვა რადიუსის რკალების ერთი და იგივე

დერძის ირგვლივ ბრუნვით. ჩვეულებრივ, აქამდე გამოყენებული მეთოდები ასეთი სისტემის გაანგარიშებისათვის დაფუძნებული იყო იმაზე, რომ ცალკე განიხილებოდა თითოეული ნაწილი, რომელსაც ჰქონდა მდოვრედ ცვალებადი სიმრუდე, შემდგომში შეერთებით, მათი დეფორმაციის შეთავსების პირობების გათვალისწინებით.

მოცემულ ნაშრომში გამოყენებულია ახალი მეთოდი, რომლის მიხედვითაც მთელი გუმბათი განიხილება როგორც ერთიანი გარსი წყვეტილად ცვალებადი სიმრუდით, რაც საგრძნობლად ამოკლებს გამოთვლის ალგორითმს.

პრაქტიკულად ამის მიღწევა შეიძლება თუ წარმოვადგენთ სიმრუდის რადიუსს, მერიდიანული მიმართულებით წყვეტილი (ჰვეისაიდის) ფუნქციის მეშვეობით:

$$R_1 = R_{1(1)}H(\theta_1 - \theta) + R_{1(2)}H(\theta - \theta_1). \quad (1)$$

ზედაპირის ბრუნვისათვის ცნობილი თანაფარდობის გათვალისწინებით:

$$\frac{dR_2 \sin \theta}{d\theta} = R_1 \sin \theta.$$

სიმრუდის რადიუსი წრიული მიმართულებით შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც:

$$R_2 = (R_{1(1)} + \theta_1)H(\theta_1 - \theta) + (R_{1(2)} + \theta_2)(\theta - \theta_1). \quad (2)$$

ასეთი მიდგომა ამარტივებს არა მხოლოდ მოცემული გუმბათის საანგარიშო ფორმულებს, არამედ ნებისმიერი შედგენილი ბრუნვითი გარსის გაანგარიშებასაც და გვაძლევს საშუალებას მივიღოთ გამოსათვლელი ფორმულები ძალებისათვის გარეგნული ფორმით ისეთივე, როგორც გლუვი არაშედგენილი გარსისათვის:

$$T_1 = -\frac{\sqrt{(1+(r_x^2)^2)}^x}{r} \int_0^x r(X - r_x Z) dx; \quad (3)$$

$$T_2 = -\frac{r \cdot r_x^1}{1+(r_x^1)^2} T_1 + r \sqrt{(1+(r_x^1)^2)} Z,$$

სადაც

$$r = \sqrt{R_1^2 - (x - x_0)^2} (H(x) - H(x - x_1)) + \sqrt{R_2^2 - (x - x_0)^2} (H(x - x_1) - H(x - x_2)).$$

ანალოგიური მიდგომა გამოყენებული იყო გუმბათის გაანგარიშებისას არასიმეტრიულ ქარის დატვირთვაზე. ამ შემთხვევაში ამოცანა დაიყვანება მეორე რიგის დიფერენციულ განტოლებამდე წყვეტის კოეფიციენტებით. მის გამოსათვლელად იყო გამოყენებული ვარიაციული მეთოდი კოჭური ფუნქციების აპროქსიმაციით, რომლებიც შეჯერებულია გუმბათის დაყრდნობის სასაზღვრო პირობებთან, მიღებულია გამოსათვლელი ფორმულები. გარდა ამ გამარტივებული მიდგომისა, უმემონტო თეორიის განტოლების გამოყენებით, დისერტაციაში მოყვანილია წყვეტილად ცვლილებადი სიმრუდის მქონე გუმბათის გაანგარიშების მეთოდი მომენტური თეორიის მიხედვით, რომელიც ითვალისწინებს საყრდენ ზონაში კიდური ეფექტის ზემოქმედებას დაძაბულ მდგომარეობაზე.

ამ გათვლების მიზანია: 1. მომენტური ძაბვების შეფარდებითი სიდიდის განსაზღვრა გრესა-კუმშვის ძაბვებთან შედარებით და ამ ძაბვების ზემოქმედება კონსტრუქციების საიმედოობისა და ხანგამძლეობის შეფასებაზე.

2. უმომენტო გაანგარიშების ცდომილების განსაზღვრა და მისი გამოყენების ზღვარი არათანაბარ განაწილებულ ძაბვებთან მიმართებაში.

უკანასკნელი დაკავშირებულია იმასთან რომ, როგორც ზემოთ, აღინიშნებოდა, გუმბათის ზედაპირის სიმრუდე განიცდის წყვეტას დაბალი ნაწილიდან მაღალზე გადასვლისას, ამიტომ მოცემული სისტემა არ აკმაყოფილებს უმემონტო მდგომარეობის არსებობის პირობებს, რასაც აქვს ადგილი ფიზიკურ-გეომეტრიული პარამეტრების მდოვრედ ცვლილების დროს.

მიღებული მიდგომა მოითხოვდა საიმედო დასაბუთებას, მიღებული შედეგები კი დაზუსტებას ამოცანის გადაწყვეტის უფრო მკაცრად დაყენების გზით. გარსის მომენტური თეორიის გამოყენების შემთხვევაში იყო არჩეული (საფუძვლად დაიდო) ამოხსნადი განტოლებების ვარიანტი, გამარტივებული ვლასოვის მეთოდის კომპლექსური ფორმა:

$$\Delta^2 \varphi + in\Delta_k \varphi = P/D, \quad (4)$$

სადაც

$$\varphi = W + i \frac{n}{Eh} F; \quad n = \frac{\sqrt{R(1-\mu)}}{h}; \quad i = \sqrt{-1}.$$

ეს ამოხსნადი განტოლება გამოიყენება გუმბათის როგორც მაღალი ისე დაბალი ნაწილისათვის. ოპერატორებს აქვს სახე:

$$\Delta = \frac{1}{R_1 R_2 \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} \frac{R_2 \sin \theta}{R_1} \frac{\partial (\)}{\partial \theta} + \frac{R_1 \sin \theta}{R_2} \frac{\partial^2 (\)}{\partial \beta^2} \right]; \quad (5)$$

$$\Delta_k = \frac{1}{R_1 R_2 \sin \theta} \left[\frac{1}{R_1} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial (\)}{\partial \theta} + \frac{1}{R_2 \sin \theta} \frac{\partial^2 (\)}{\partial \beta^2} \right].$$

ვინაიდან გუმბათის ზედა და ქვედა ნაწილებს აქვს სხვადასხვა სიმრუდე, ოპერატორებში შემავალი სიმრუდის რადიუსებს, ექნება განსხვავებული მნიშვნელობა.

– $R_{1(1)}, R_{1(2)}, \Delta_{(1)}, \Delta_{k(1)}$ სიმრუდის რადიუსები და ოპერატორები ზედა ნაწილისათვის;

– $R_{2(1)}, R_{2(2)}, \Delta_{(2)}, \Delta_{k(2)}$ სიმრუდის რადიუსები და ოპერატორები ქვედა ნაწილისათვის.

მაშინ ერთდროულად ზედა და ქვედა ნაწილების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა აღიწერება შემდეგი სახის ერთი განტოლებით

$$[\Delta_{(1)} \cdot H(\theta_1 - \theta) \cdot \Delta_{(2)} \cdot H(\theta - \theta_1)]\varphi + in[\Delta_{k(1)} \cdot H(\theta_1 - \theta) \cdot \Delta_{k(2)} \cdot H(\theta - \theta_1)]\varphi = P/D, \quad (6)$$

გამოიკვეთება ერთი საინტერესო ვითარება, რომ მიღებული განტოლება უშვებს გამარტივებულ გარდაქმნებს, რომელიც ანალოგიურია სფერული გარსებისათვისაც.

ეს გარდაქმნები საშუალებას იძლევა აღმოვაჩინოთ ზოგიერთი ანალოგია სფერული გარსის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობასა და მერიდიანულ-ხოკერული მოხაზულობის გუმბათს შორის.

ამისათვის Δ ოპერატორი წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\Delta = \Delta_{(0)} - k_1 \Delta,$$

სადაც

$$\Delta_{cp} = \frac{1}{R_1^2 \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2 (\)}{\partial \beta^2} \right], \quad (7)$$

Δ_{cp} – არის ლაპლასის ოპერატორი; R_1 – რადიუსი სფერული გარსისათვის.

$$\Delta' = \frac{C}{R_1^2 R_2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 (\cdot)}{\partial \beta^2}.$$

$$k_1 = \frac{2R_1 + C}{R_1 + C}. \quad (8)$$

K_1 – მერიდიანის სიმრუდის ცენტრის ძვრა (გადაწვევა) ბრუნვის ღერძის ან გარსის სიმეტრიის ღერძის მიმართ.

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ გამოსახულებას მიყვავართ ფორმულა 6-ის გამოსახულებამდე.

ანალოგიურად, რიგი გარდაქმნების შემდეგ შეიძლება ოპერატორი წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\Delta_k = (k + k_0)(\Delta_c + \Delta'), \quad (9)$$

სადაც

$$\Delta_k = (k + k_0)(\Delta_c + \Delta'),$$

$$k = \frac{1}{R_1}; \quad k_0 = \frac{C}{(R_1 + C)R_1}.$$

მაშინ, თუ გუგბათი ერთი მრუდის ბრუნვით არის შექმნილი, ან, რაც იგივეა, თუ გუგბათი შედგენილია მხოლოდ ზედა ნაწილისგან, განტოლება დებულობს სახეს:

$$\Delta_1^2 \varphi + in \frac{1}{R_x} \Delta_c \varphi - [(2\Delta_c - k_1 \Delta') k_1 \Delta' \varphi + in(k\Delta' + k_0 \Delta_c + k_0 \Delta') \varphi] = P/D. \quad (10)$$

პირველი ორი შესაკრები შეესაბამება ამ განტოლების სფერული გარსის დეფორმაციას, შესაკრებები მოთავსებული კვადრატულ ფრჩხილებში, წარმოადგენენ იმ შესწორებას, რომელიც განასხვავებს მოცემულ გარსს სფერულისაგან.

ასიმეტრიული დეფორმაციის შემთხვევაში მიღებული განტოლება არსებითად მარტივდება. ამ შემთხვევაში ყველა წარმოებული წრიული კოორდინატაზე ნულს უტოლდება და ამოხსნადი განტოლება (10) ჩაიწერება როგორც:

$$\Delta_c^1 \varphi + in \left(\frac{1}{R_1} + k_0 \right) \Delta_c \varphi = P/D. \quad (11)$$

ეს შემთხვევა სფერული გარსის ამოხსნად განტოლებას, რომელსაც მერიდიანის სიმრუდე ტოლია:

$$k = \frac{1}{R_1} + k_0.$$

წარმოდგენილი ამოხსნადი განტოლებების ამოსახსნელად გამოყენებულია აპროქსიმირება ზოგიერთი ფუნქციების მიხედვით, რომლებიც აკმაყოფილებენ სასაზღვრო პირობებს მერიდიანულ კოორდინატებთან მიმართებაში.

ბუბნოვ-გალიორკინის მეთოდის პროცედურის გამოყენების შედეგად განტოლება კერძო წარმოებულებით დაიყვანება ერთ განტოლებამდე წრიული კოორდინატის მიმართ.

$$a_1\varphi_0 + a_2 \frac{d^2\varphi}{d\beta^2} + a_3 \frac{d^2\varphi_1}{d\beta^1} + i n \left(a_4\varphi + a_5 \frac{d^2\varphi_1}{d\beta^2} \right) = P/D. \quad (12)$$

შესაბამის მახასიათებელ განტოლებას აქვს ოთხი კომპლექსური ფესვი, რაც განსაზღვრავს ამოხსნის საბოლოო სახეს. შედეგად, დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობს ყველა კომპონენტი წარმოსახება ჰიპერბოლური ტრიგონომეტრიული ფუნქციის მეშვეობით ინტეგრირების მუდმივებით. ეს უკანასკნელი უნდა შეესაბამებოდეს ამოხსნის პერიოდულობას.

თუ დავშლით გარე დატვირთვის ფუნქციას და საძებნი ფუნქციას და გამოვიყენებთ ბუბნოვ-გალიორკინის მეთოდის პროცედურას, მივიღეთ ჩვეულებრივი დიფერენციალურ განტოლებასთან რიგის ყოველი წევრისათვის:

$$b_{1k} \frac{d^4\varphi_k}{d\theta^4} + b_{2k} \frac{d^2\varphi_k}{d\theta^2} + b_{3k}\varphi_k + i \left(b_{1k} \frac{d^2\varphi_k}{d\theta^2} + b_{5k}\varphi_k \right) = P/D. \quad (13)$$

მისი ოთხივე ფუძეც კომპლექსურია, რაც განაპირობებს დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ყველა კომპონენტების დამოკიდებულებას მერიდიანულ კოორდინატთან და ინტეგრირების მუდმივასთან ჰიპერბოლოტრიგონომეტრიული ფუნქციის მეშვეობით.

ნაშრომში გაანალიზებულია ამოხსნები სხვადასხვა სახის სასაზღვრო პირობებით.

აღწერილია ძალის განსაზღვრის, მომენტების და გადაადგილებების დაწვრილებითი ალგორითმი და მოტანილია ამოხსნის მაგალითები. შემოთავაზებულია გუმბათის დინამიკური გამოთვლა. მოძრაობის განტოლებების მისაღებად გამოყენებულია დალამბერის პრინციპი, რის

საფუძველზეც წონასწორობის განტოლებებში გარე დაძაბვის კომპონენტები შეცვლილია ინერციული წევრებით.

ვინაიდან კომპონენტები, რომლებიც განსაზღვრავენ დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობას, სწრაფცვალებადი ფუნქციებია, განტოლებების სისტემა შეიძლება გამარტივდეს ვლასოვის მეთოდით, უფრო საფუძველიანად, ვიდრე სტატიკური გათვლების დროს და ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\Delta^2 W - \frac{1}{D} \Delta_k f = -\frac{\rho h}{D} \ddot{W}; \quad Eh \Delta_k W + \Delta^2 F = 0. \quad (14)$$

აქ სიმრუდის რადიუსი და პირველი კვადრატული ფორმის კოეფიციენტები, შემავალი ოპერატორებში, წარმოდგენილია როგორც ორი შესაკრები, თითოეული მათგანი გამრავლებულია ჰევისაიდის ფუნქციაზე, რომელსაც ადგილი აქვს ცალკე ზედა და ქვედა ნაწილებისთვის.

ამგვარად მთლიანი არარეგულირებული სისტემის რხევები აღიწერება იმავე რაოდენობის განტოლებებით, (ამ შემთხვევაში – ორი განტოლებით), რაც რეგულირებული სისტემა მისი ორნაწილად ტრადიციული გაყოფის და შემდეგი შეერთების გარეშე.

სისტემის (14) ამოსახსნელად გამოყენებულია ვარიაციული მეთოდი ჩაღუნვის ფუნქციის W და F ძაღვის მრუდხაზოვან კიდებზე სასაზღვრო პირობების შესაბამისად შერჩეული ცნობილი ფუნქციებით აპროქსიმირებით.

დაბალი სიხშირისათვის, რომელიც შეესაბამება რიგის პირველი წევრის შეკავებას, ვიღებთ მარტივ და პრაქტიკული გამოყენებისთვის ხელსაყრელ ალგორითმს, რომელიც ადვილად რეალიზდება კომპიუტერზე.

მესამე თავში გადმოცემულია გუმბათის აგების ახალი ტექნოლოგია. გუმბათი იგება მთლიანად 0-ვან ნიშნულზე (დ. მახვილაძე, ბ. გუსევი ი. ჯინჭარაძე და სხვ. საქართველოს პატენტი 1036, 2003).

I ეტაპზე, ასაშენებელი გუმბათის ირგვლივ, ექსკავატორის საშუალებით კეთდება წრიული ტრანშეა, რომლის ჩაღრმავება გუმბათის აწვევის ისრის ტოლია.

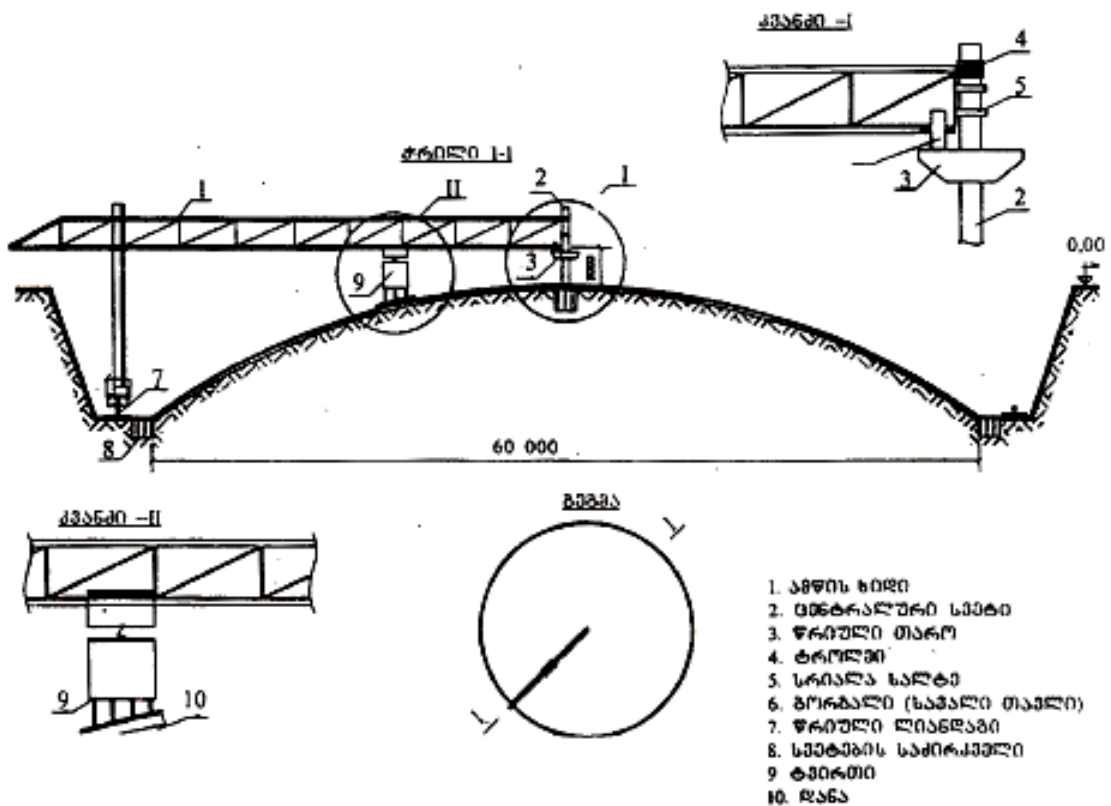
II ეტაპზე ბულდოზერით და გრეიდერით გრუნტს ვჭრით რადიალური მიმართულებით და ჩაგვაქვს ტრანშეაში, საინდანაც

ექსკავატორს გადააქვს გარე ყრილზე, ამგვარად საამშენებლო მოედანს ეძლევა გუმბათის მიახლოებითი ფორმა.

ტრანშეას ძირის ნიშნულზე ეწყობა სვეტებისათვის წერტილოვანი საძირკვლები, ვაწყობთ წრიულ ლიანდაგს და ვამონტაჟებთ მოდერნიზებულ ამწეს.

მშენებლობის ორგანიზაციის უზრუნველყოფისა და უშუალოდ გუმბათის აგების გამარტივების მიზნით, მოდერნიზაცია უკეთდება ჯოჯგინა ამწეს. ამწე მოძრაობს წრიულ ლიანდაგზე, ასაგები გუმბათის ირგვლივ.

ამწეზე შეკიდული დანა ამწის წრიული მოძრაობის საშუალებით იწყებს გრუნტის დამუშავებას, სანამ არ მივიღებთ გუმბათის მიახლოებულ ფორმას. შემდეგ ამწის ხიდზე ვამაგრებთ გუმბათის მოხაზულობის ნახევარწრის თარგს და ამწის წრიული მოძრაობით, ხრეშისა და წერილფრაქციული ასფალტის დატანა-დატკეპვით ვღებულობთ გუმბათის ფორმას. ასფალტის დატანა-დატკეპვინა მეორდება გუმბათის ზუსტი ფორმის მიღებამდე (ნახ. 5).

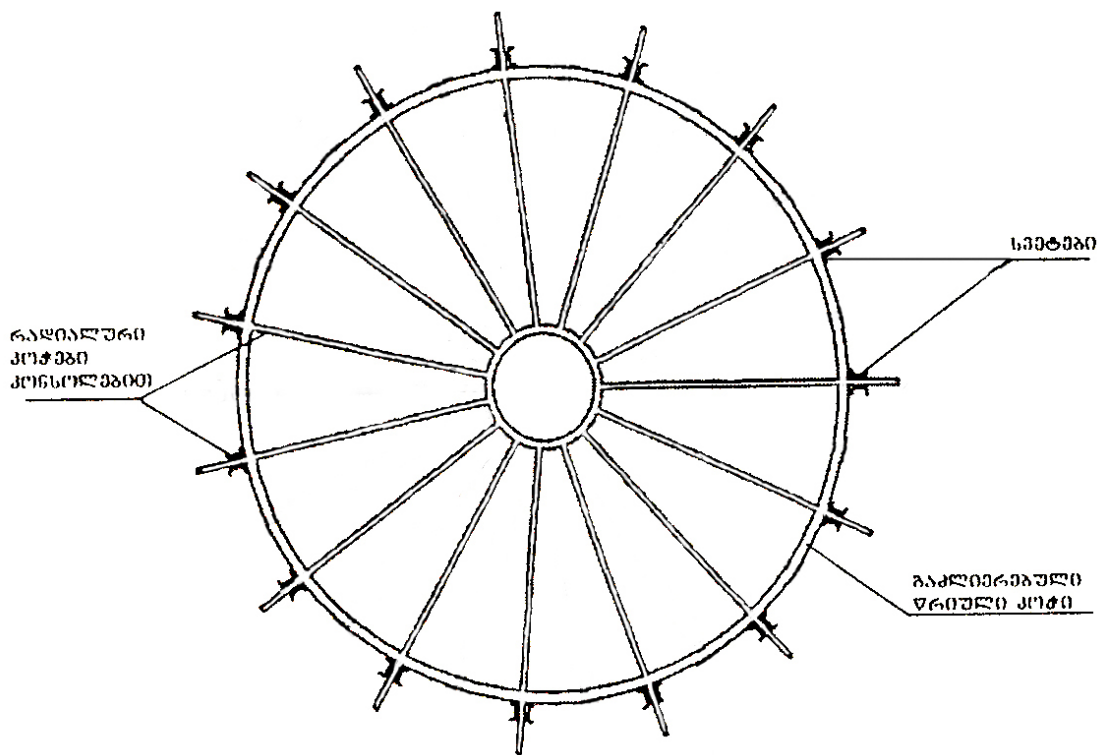


ნახ. 5

აღნიშნული ღონისძიებები არა მარტო გამორიცხავს ხარაჩოებისა და ქარგილების დაყენების შრომატევად და ძვირადღირებულ სამუშაოებს, არამედ ძალზე ამარტივებს გეოდეზიურ სამუშაოებსაც.

გუმბათის შიდა ზედაპირი გადაწყვეტილია მთლიანად გლუვი. გამბრჯენი ძალების ასატანად, ამისათვის სათანადოდ ვზრდით და ვაარმირებთ წრიულ კოჭს. რაც შეეხება რადიალურ კოჭებს, თავისი კონსოლური ნაწილით, მათი სიმაღლე შესაბამისად ამოიწვევა გუმბათის გარსის ზედაპირზე (ნახ. 6).

III ეტაპზე ვაწყობთ არმატურას. აღსანიშნავია, რომ მოდერნიზებული ამწე საშუალებას გვაძლევს ადვილად ჩავაწყოთ არმატურა წრიულად ან წრიული კოჭის ქარგილებში უწყვეტად, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს შედუღების სამუშაოებს, ლითონის ხარჯს და ზრდის საიმედოობას.



ნახ. 6

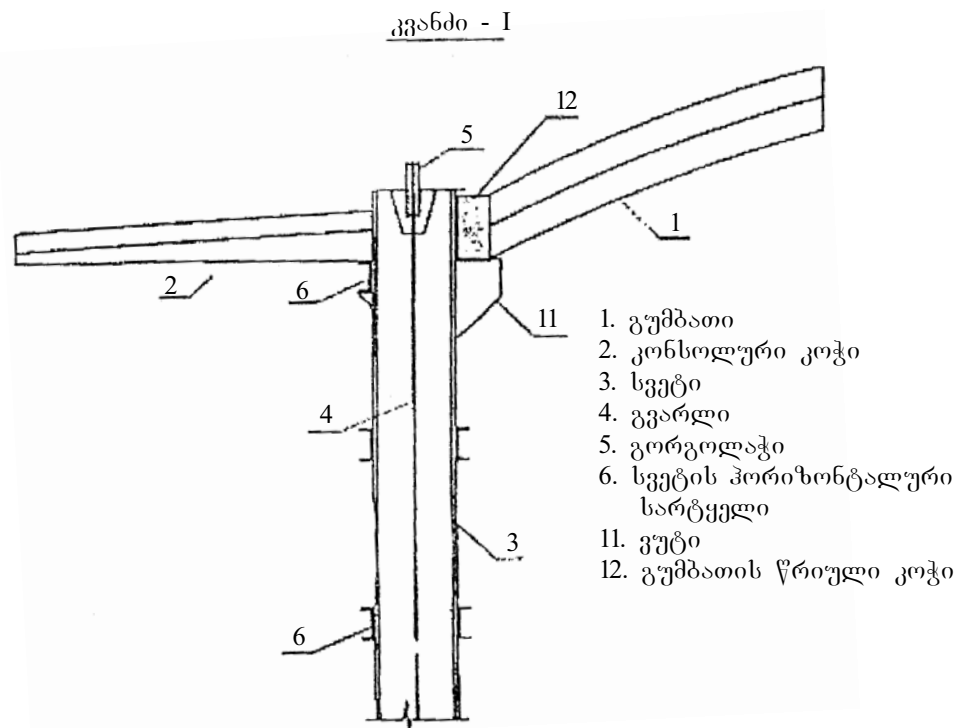
IV ეტაპზე მიმდინარეობს გუმბათის უწყვეტი დაბეტონების პროცესი და ვიბრირება.

V ეტაპზე, 28 დღის განმავლობაში (სანამ ბეტონი მიიღებს საპროექტო სიმტკიცეს), ვაკეთებთ სახურავს, ზენიტურ ფანრებს და მთლიანად ვამთავრებთ გუმბათის გადახურვის სამუშაოებს.

VI ეტაპზე დემონტაჟს ვუკეთებთ მოდერნიზებულ ამწეს და წერტილოვან საძირკვლებზე გამონტაჟებთ წყვილი შველერისაგან შედგენილ ლითონის სვეტებს, ისე, რომ შველერებს შორის ექცევა რადიალური კოჭების კონსოლები, ხოლო შველერების თაროები, მცირე ღრეხოთი, უშუალოდ ემჯინება გუმბათის განაპირა წრიულ კოჭს (ნახ. 6).

სვეტების წყვილი შველერი ურთიერთდაკავშირებულია ჰორიზონტალური სარტყელებით ჭანჭიკების საშუალებით. სარტყელებს შორის მანძილი ჰიდროცილინდრების ბიჯის ტოლია (ნახ 7).

VII. ჰიდროცილინდრების ბიჯის შესაბამისად, საფეხურებად ვწევთ გუმბათს საპროექტო ნიშნულამდე. აღსანიშნავია, რომ საიმედოობის უზრუნველყოფის მიზნით ორ-ორი ცანგია ჩართული მიმდევრობით ჰიდროცილინდრების დამქაჩ და სვეტებზე გათვალისწინებულ დამჭერ საშუალებებზე.



ნახ. 7

გუმბათის საპროექტო ნიშნულზე აწევის შემდეგ სვეტებზე ვადუღებთ კონსოლური კოჭების ქვეშ განლაგებულ ლითონის სარტყელებს, ხოლო წრიული კოჭის ქვეშ დამჭერ ლითონის ვუტებს.

ჰიდროამწევი მოწყობილობით ვწევთ წრიულ სართულთშორისო გადახურვებსაც.

კოჭის აწეობა და გადახურვის მოწეობა შესაძლებელია, როგორც აწევის პირველ ეტაპზე, ისე შუალედურ და ბოლო ეტაპებზე.

შემოთავაზებული დიდმალიანი გადახურვის კონსტრუქციის აგების ტექნოლოგია ითვალისწინებს ნულოვან ნიშნულზე ყველა სამშენებლო სამუშაოების დასრულებას.

აღნიშნული მოდელის ტექნიკური შედეგია დიდმალიანი გადახურვის კონსტრუქციების აგების გამარტივება, რადგან ყველა სხვა შემთხვევაში საჭიროა მოეწეოს ხარახოები, რაც ართულებს და აძვირებს მშენებლობის ტექნოლოგიურ ოპერაციებს და პროცესებს.

ჰიდროცილინდრების საშუალებით ვაწარმოებთ გუმბათის აწევას ერთდროულად. დომკრატები დამქანი საშუალებები და შევლერებზე განთავსებული დამჭერი საყრდენები უზრუნველყოფს აწევის პროცესის გარანტირებულ საიმედოობას.

დომკრატები აღჭურვილია დიფერენცირებულ რეჟიმში მომუშავე ჰიდროსარქველებით და მიერთებულია წრიული მილსადენით სამართავ პულტთან, ამიტომ ისინი მუშაობენ ზიარი ჭურჭლების პრინციპით კონტროლირებად რეჟიმში და უზრუნველყოფენ გუმბათის თანაბარ, ერთდროულ და ტოლი საფეხურებით აწევის ტექნოლოგიას.

გუმბათის ტრადიციული მეთოდით აგების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები მოყვანილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1
ტრადიციული ტექნოლოგიით, ხის ქარგილებით მოტაყის

დასახელება	რაოდენობა	ფასი, ათასი ლარი	მონტაჟის ღირებულება, ათასი ლარი	სულ, ათასი ლარი
გუმბათი				
გუმბათი, კონსოლით	525,0 მ ³	50,0	15,7	67,7
არმატურა A-III კლასი	95,0 ტ	85,8	8,2	94,0
ხის ქარგილები	2450,0 მ ³	392,6	156,0	548,6
			სულ	709,3
საძირკვლები				
ბეტონი B20 კლასი	240,0 მ ³	20,4	7,2	27,6
არმატურა A-III კლასი	35,0	31,6	2,3	33,9
			სულ	61,5
სვეტები				
პროფილირებული ლითონი	64,8 ტ	69,66	41,8	111,46
			სულ	882,2
			დამატებითი ღირებულების გადასახადი 20%	176,4
			12% სხვა გადასახადები	88,4
			სულ	1147,0
სამშენებლო ოპერაციებისა და პროცესების საერთო ხანგრძლივობა: 42-48 თვე				

გუმბათის ტრადიციული მეთოდით აგებაზე იხარჯება 1147 ათასი ლარი და მშენებლობის ხანგრძლივობა 42-48 თვეს წარმოადგენს.

ნაშრომში დიდმალიანი გუმბათოვანი გადახურვების მონტაჟის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები შემოთავაზებული მეთოდით მოცემულია ცხრილ 2-ში.

ტექნიკური მაჩვენებლები: საერთო ფართობი – 6912 მ², აქედან გუმბათისქვეშა ფართობი – 5652 მ², კონსოლისქვეშა ფართობი – 1260 მ², ორ იარუსიანი წრიული ანტრესოლის ფართობი – 5040 მ². გუმბათის დიამეტრი 60 მ, გუმბათის საყრდენი სვეტების სიმაღლე ნულოვანი ნიშნულიდან 10მ, კონსოლის გადმოშვერა 7 მ, გუმბათის და კონსოლის რადიალური წიბოების ბეტონის მოცულობა 525 მ³, არმატურის ხარჯი 95 ტ, სვეტების ლითონის კონსტრუქციების წონა 64,8 ტ საძირკვლების ბეტონის მოცულობა 240 მ³, არმატურის ხარჯი 35 ტ.

მონოლითური რკინაბეტონის გუმბათის აგების მაჩვენებლები მოცემულია (ცხრილი 1 და 2):

ცხრილი 2

ტრადიციული ტექნოლოგიით, ხის ქარგილებით მოტაჟის

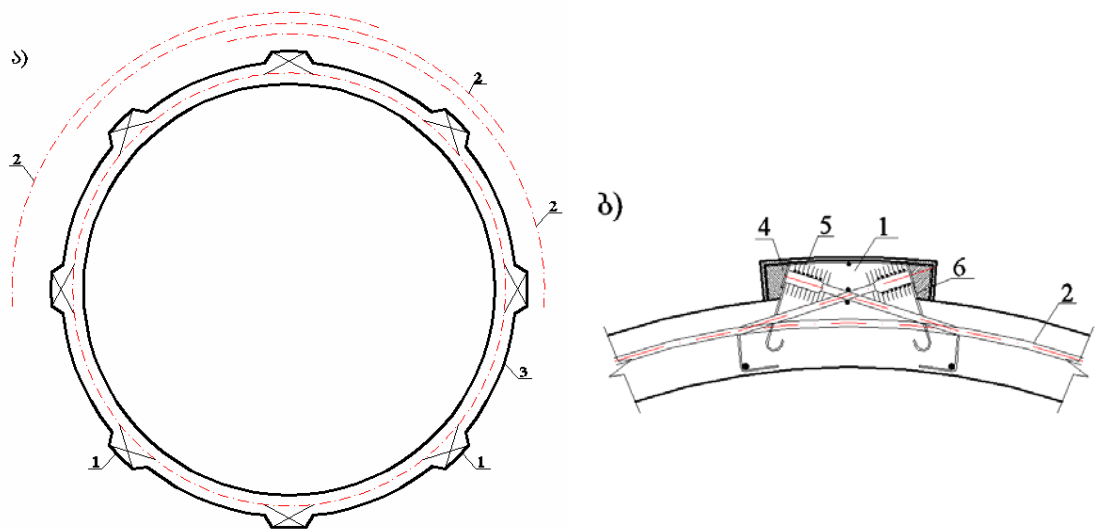
დასახელება	რაოდენობა	ფასი, ათასი ლარი	მონტაჟის ღირებულება, ათასი ლარი	სულ, ათასი ლარი
გუმბათი				
გუმბათი, კონსოლით	525,0 მ ³	50,0	15,7	67,7
არმატურა A-III კლასი	95,0 ტ	85,8	6,7	92,5
მიწის და ღორღის მომზადება	6400,0მ ³	50,0		50,0
ჯოჯგინა ამწის მოდერნიზაცია მოსაშენდაკებლად			48,0	48,0
ასფალტის ფენის დაგება	220,0 მ ³	22,0	13,0	35
გუმბათის აწევა			63,0	63,0
			სულ	356,2
საძირკვლები				
ბეტონი B20 კლასი	240,0 მ ³	20,4	7,2	27,6
არმატურა A-III კლასი	35,0	31,6	2,3	33,9
			სულ	61,5
სვეტები				
პროფილირებული ლითონი	64,8 ტ	69,66	41,8	111,46
			სულ	529,16
			დამატებითი ღირებულების გადასახადი 20%	105,8
			12% სხვა გადასახადები	63,5
			სულ	698,5
სამშენებლო ოპერაციებისა და პროცესების საერთო ხანგრძლივობა: 9-12 თვე				

შემოთავაზებული ახალი ტექნოლოგიით დიდმალიანი რკინაბეტონის გუმბათის აგების განხორციელებისას ეკონომიური ეფექტი აბსოლუტურ მაჩვენებელში შეადგენს 448,5 ათას ლარს.

ნაშრომში შემოთავაზებულია დიდმალიანი რკინაბეტონის გუმბათოვანი გადახურვის კონსტრუქციების გაანგარიშება, საანგარიშო ვერტიკალურ მუდმივ და დროებით დატვირთვებზე, აწვეის პროცესში სამონტაჟო დატვირთვებზე, რვაბალიან სეისმურ ზემოქმედებაზე და 70,0 კპა სიდიდის ქარის დაწოლაზე.

გარსის რეალური დეფორმაციული სურათისა და მისი ზიდვის უნარის დადგენის მიზნით დამატებით იქნა ჩატარებული გაანგარიშება გარსის ტანში განვითარებული დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციების გამოვლინებისათვის და მის გასათვალისწინებლად.

სადისერტაციო ნაშრომში მოცემულია გუმბათის საყრდენი რგოლის გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი კომპიუტერული უზრუნველყოფით. მოცემულია ძაღვების სიდიდეები და შესაბამისი კონსტრუქციები (ნახ. 8).



ნახ. 8. გუმბათის წინასწარდაძაბული საყრდენი რგოლი

დისერტაციაში შესრულებულია გუმბათის საყრდენი რგოლის გაანგარიშება კომპიუტერზე. განხილულია გუმბათოვანი გადახურვა (გარსი საყრდენი რგოლით ნახ. 8), გლუვი სფერული გარსით სისქით $h = 6$ სმ, გუმბათის მთავარი პარამეტრებით $r_0 = 30$ მ, $R = 50$ მ, $\psi_0 = 40^\circ$ და საყრდენი რგოლი განივი კვეთის ზომებით $b_0 = 70$ სმ, $h_0 = 60$ სმ, $e = h/2 = 30$ სმ. გარსისა და საყრდენი რგოლის დრეკადობის მოდულები ერთნაირია. გუმბათზე მოქმედებს დატვირთვები საკუთარი წონისა

$g = 0.165 \text{ კგ/მ}^2$ და თოვლისაგან $P = 0.14 \text{ კგ/მ}^2$. დამხმარე სიდიდეები $\psi_0 = (40^\circ/180^\circ) \cdot \pi = 0.7$; $\sin \psi_0 = 0.644$; $\cos \psi_0 = 0.765$ (ნახ. 9). საყრდენი რგოლის გაანგარიშება ჩატარებულია ორ ვარიანტად: 1. წინასწარდაძაბულ ღეროვანი არმატურით და 2. მზიდი წინასწარდაძაბული ბაგირით.

ვინაიდან მანქანური გაანგარიშება უფრო ზუსტია, რადგან უკეთესად აღიწერება ჩვენს მიერ წარმოდგენილი სფერული გარსი და მისი საანგარიშო მოდელი. გარკვეული ანალიზის საფუძველზე შემდგომ ანგარიშს ვაწარმოებთ მანქანური გაანგარიშებით მიღებულ ძალოვან ფაქტორებზე.

საანგარიშო გამჭიმავი ძალვა საყრდენ რგოლში მანქანური გაანგარიშებით მივიღეთ:

$$N_{\text{რგოლ.}} = 530.2 \text{ ტ}$$

საყრდენი რგოლის დაარმატურება ხორციელდება *A-IIIb* წინასწარდაძაბული ღეროვანი არმატურით საანგარიშო წინაღობით 150 კგ/მმ^2 . ბეტონის სიმტკიცის კლასი B40. საყრდენი რგოლის არმატურის კვეთის აუცილებელი ფართობი:

$$A = \frac{N}{m_1 \cdot m_2 \cdot R_{\text{ბაგ.}}} = \frac{530200}{0.8 \cdot 0.7 \cdot 150} = 6312 \text{ მმ}^2 = 63.12 \text{ სმ}^2$$

სადაც $m_1 = 0.8$ ბაგირის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

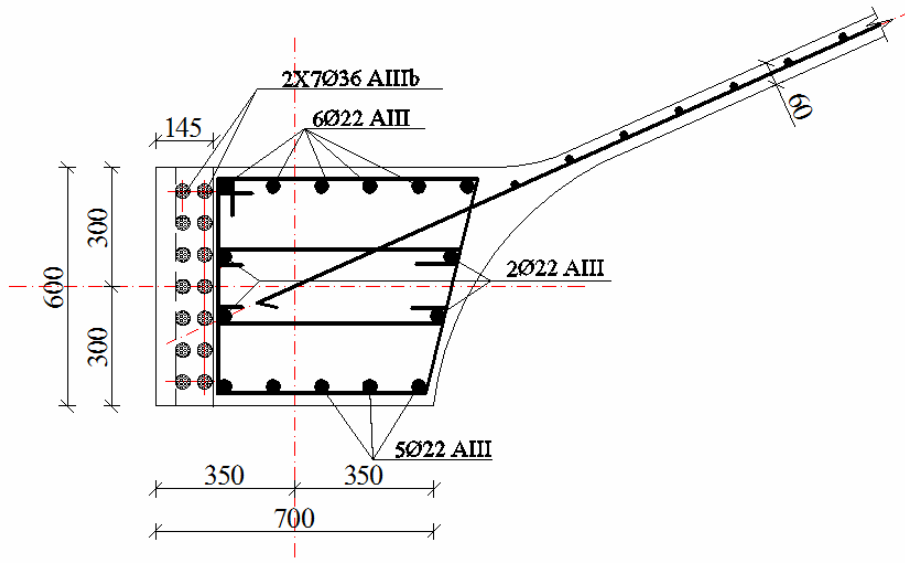
$m_2 = 0.7$ ბაგირში მავთულის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

ვიღებთ TK 7X37=259 მავთულიან ბაგირს $12\text{Ø}36$ მმ და ფართობით $A = 70.8 \text{ სმ}^2$ (ნახ. 9).

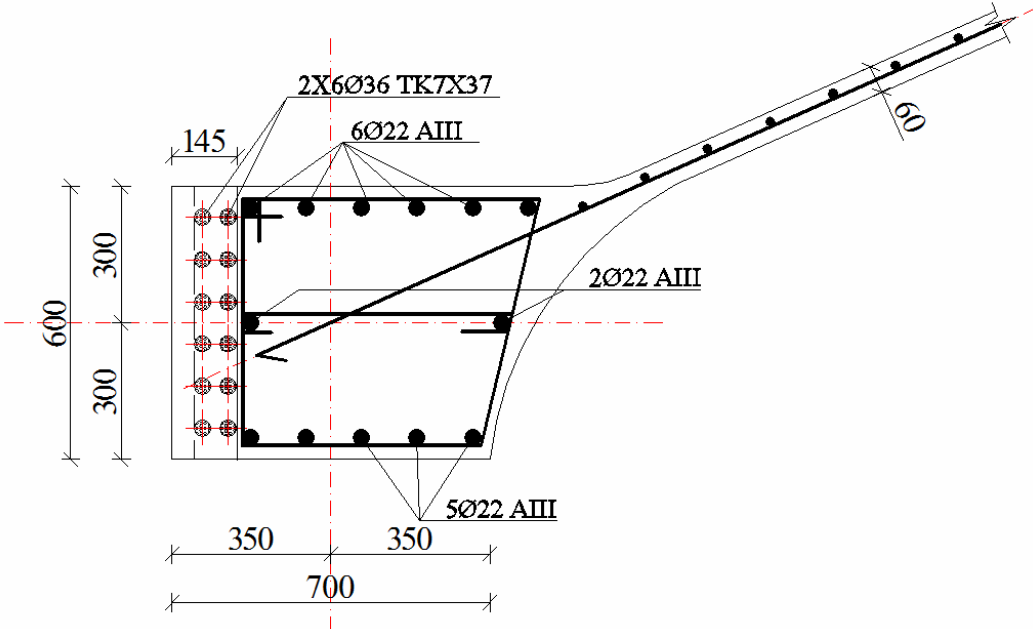
ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების განსახილვერისათვის შევადარეთ ორივე ვარიანტის შედეგები.

I ვარიანტი: ღეროვანი არმატურით $14 \text{ Ø}36 \text{ AIIIb}$ და კონსტრუქციული ღეროვანი არმატურით $15\text{Ø}22\text{AIII}$; 1 გრძ/მ ღირებულება შეადგენს 12.6 ლ; $14 \times 12.6 + 15 \times 2.8 = 218.4$ ლ.

II ვარიანტი: მზიდი ბაგირებითა და კონსტრუქციული ღეროვანი არმატურით; ბაგირის TK 7X37=259 $12\text{Ø}36$ საბაზრო ღირებულება შეადგენს 10 ლარს, ხოლო $13 \text{ Ø}22 \text{ AIII} - 2.8$ ლარი. ე.ი. $12 \times 10 + 13 \times 2.8 = 156.4$ ლარი.

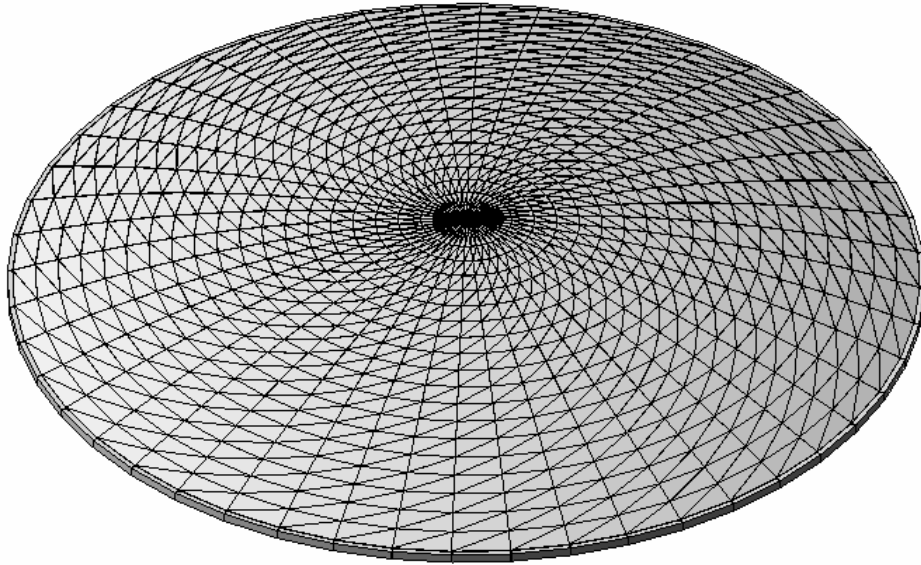


ნახ. 9 მონოლითური რკინაბეტონის საყრდენი რგოლის არმირება (I ვარიანტი) დეროვანი არმატურით



ნახ. 10. მონოლითური რკინაბეტონის საყრდენი რგოლის არმირების (II ვარიანტი) სქემა, მზიდი ბაგირებითა და კონსტრუქციული დეროვანი არმატურებით

მაშასადამე მონოლითური რკინაბეტონის საყრდენი რგოლის არმირება ყოველ გრძივ მეტრზე 62.0 ლარით უფრო ეკონომიურია თუ შესრულება ბაგირებით და კონსტრუქციული დეროვანი არმატურებით.



რკინაბეტონის გარსის საანგარიშო სქემა

ჩატარებულ გამოკვლევათა შედეგები საშუალებას გვაძლევს გაგვაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. არსებული კვლევების გაანალიზებამ საშუალება მოგვცა დავასკვნათ, რომ დიდმალიანი კონსტრუქციებით ნაგებობების გადახურვების აგების შემოთავაზებული ტექნოლოგია და გუმბათის დრეკად-პლასტიკური მდგომარეობის გაანგარიშების პრობლემა აქტუალურია;
2. ნაშრომში დადგენილია გუმბათის კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის თავისებურებანი. დამუშავებულია გუმბათის გაანგარიშების მეთოდი, გუმბათის გაანგარიშების ალგორითმი კომპიუტერზე გასაანგარიშებლად;
3. სადისერტაციო ნაშრომში განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს გუმბათის აგების ნოვაციურ ტექნოლოგიას, რომელსაც ანალოგი არ აქვს არც ჩვენს ქვეყანაში და არც საზღვარგარეთ. იგი ეფუძნება პატენტს, რომლის თანაავტორი გახლავთ დისერტანტი (პატენტი №41036, 2003). გუმბათის მონტაჟის ახალი ტექნოლოგია არის საკმაოდ იაფი, საიმედო და ემყარება ახალი ტექნოლოგიების მთელ კასკადს. მისი გამოყენებით მიღწეულია ეკონომიკური ეფექტი აბსოლუტურ მაჩვენებლებში, რომელიც შეადგენს 448,5 ათას ლარს. (იხ. დისერტაციაში თავი 3, ცხრილი 2, 3);

4. რკინაბეტონის გუმბათის გაანგარიშება ჩატარებულია საანგარიშო მუდმივ, დროებით, სამონტაჟო დატვირთვაზე, 8 ბალიან სეისმურ და რეგიონის შესაბამისად ქარის დატვირთვაზე; გაანგარიშება ჩატარებულია კომპიუტერის საშუალებით; ჩატარებულია შესაბამისი კონსტრუირება ორ ვარიანტად:
 1. საყრდენი რგოლის კონსტრუირება დეროვანი არმატურით, რომლის 1 გრ/მ ღირებულება შეადგენს 218,4 ლარს.
 2. საყრდენი რგოლის კონსტრუირება მზიდი წინასწარდაბებული ბაგირით ТК, რომლის 1 გრ/მ ღირებულება შეადგენს 156,4 ლარს. აქედან გამომდინარე მონოლითური რკინაბეტონის საყრდენი რგოლის არმირება ყოველ ერთ მეტრზე 62 ლარით უფრო ეკონომიურია. თუ გავითვალისწინებთ, რომ 60 მ-ის დიამეტრის გუმბათის საყრდენი რგოლის სიგრძე სამივე სართულისათვის შეადგენს $l = 6103$ მ-ს, ხოლო ღირებულება შეადგენს 378380 ათას ლარს. ჯამური ეკონომიური ეფექტი კი 826,886 ათას ლარს.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. Махвиладзе Л.С., Махвиладзе К.Л., Джинчарадзе И.Г., Пашиашвили М.Г. Технология возведения большепролетных железобетонных куполов. Georgian Engineering News. No.3, 2005. с. 151-155.
2. Джинчарадзе И.Г. Напряженно-деформированное состояние конструкции стержневого купола. Georgian Engineering News. No.2, 2006. с. 84-88.
3. Джинчарадзе И.Г. Технология строительства большепролетных перекрытий. Georgian Engineering News. No.3, 2006. с. 142-144.
4. ი. ჯინჭარაძე. დეროვანი სფერული გუმბათის გაანგარიშების მეთოდი. საქართველოს საავტომობილო-საგზაო ინსტიტუტის შრომები № 3. თბილისი, 2007. გვ 198-202.
5. ლ. მახვილაძე, კ. მახვილაძე, ი. ჯინჭარაძე, გ. ყიფიანი. რკინაბეტონის დიდმალიანი გადახურვების აგების ახალი ტექნოლოგიები. მონოგრაფია. გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი, 2006.

6. ლ. მახვილაძე, თ. ჩარკვიანი, კ. მახვილაძე, გ. აბდუშელიშვილი, ი. ჯინჭარაძე, გ. ყიფიანი, მ. ფაშიაშვილი. დიდმალიანი გადახურვის აგების ტექნოლოგია. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი“ პატენტი U1288. თბილისი, 2006.
7. ლ. მახვილაძე, ბ. გუსევი, კ. მახვილაძე, ი. ჯინჭარაძე. ასაწყობი რკინაბეტონის საცავი. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი“ პატენტი U1505. თბილისი, 2008.
8. ლ. მახვილაძე, ი. ჯინჭარაძე. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი“ პატენტი U. თბილისი, 2011.
9. ლ. მახვილაძე, ა. სოსაძე, ი. ჯინჭარაძე. გუმბათის აგების ახალი ტექნოლოგია. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. თბილისი, № 4(23) 2011. გვ. 14-18.
10. ი. მშენიერაძე, ი. ჯინჭარაძე. რეკომენდაციები რკინაბეტონის გუმბათების კონსტრუირებისათვის. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. თბილისი, № 1 (24) 2012. გვ. 17-19.
11. ი. ჯინჭარაძე. მერიდიანული მოხაზულობის გუმბათის გაანგარიშება. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. თბილისი, №1 (61) 2012. გვ. 85-87.
12. ი. ჯინჭარაძე. დიდმალიანი გუმბათის აგების ახალი ტექნოლოგია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ღია საერთაშორისო კონფერენცია. თბილისი, აპრილი. 2012.

Abstract

The construction of large-span buildings, airports, hangars, different-purpose halls, pavilions, industrial and civil objects has begun where it was stipulated with technical progress, new demands of technological process. The discovery of reinforced concrete and other new composite materials, development of building science, particularly the perfection of calculation of the theory of shells brought us to the creation of modern thin-walled spatial structures, made possible to floor large-span constructions without middle support and considerably less consumption of material.

In domestic practice, unlike foreign practice, the main attention is paid to the constructing of prefabricated reinforced concrete shells. Such are Palace of Sport in Tbilisi, building in Tskaltubo, pavilion in Erevan.

The particular attention is to be paid to using of expensive composite materials or original, progressive technologies which result in the economy of materials and, especially in the economy of labor and electric power resources.

The process of intensive concentration of population accompanying the formation of big cities is permanently creating a number of problems the solution of which also is the matter of constant effort.

The problem is particularly complicated in the places of gatherings of citizens where their number is sharply increased in already densely populated districts causing complication of transport motion, violation of ecology, antisanitary, etc.

Many years' world experience proves that big multi-profile commercial objects are taken out of the town, near the crossing of main traffic arteries and are built complexly with consideration of the whole spectrum of infrastructure.

Large-span domelike reinforced concrete shells represent very responsible engineering construction used for building of markets, sport halls, exhibitions and other structures which besides functional purpose belong to the class of interesting architectural and remarkable buildings. Therefore, it is long since many countries of the world using their own engineering level and intellectual potential, try to built large-span cupolas better and quicklier with as less material, labor and power resources consumption as possible.

At present several technologies of construction of large-span roofs are known, the most widely-spread being monolithic, precast or hybrid cupola buildings built of reinforced concrete constructions which have almost equal technical economical characteristics and are considered as very expensive objects.

Large-span girder roof shells can be considered as space constructions where each pair of opposite girders works in common, as arches.

In this connection the technology of construction of large-span roofs, problem of calculation of construction structure is quite complicated, urgent and requires the development of particular methods of calculation. The solution of this problem is the very object of the presented work.

The objective of the dissertation theme is to create a new technology of large-span roofs which ensures the reliability of assembling and provides time, cost and power resources decrease, as well as, to research stress-strain state of rod shell roofs, to optimize and calculate dimensions of elements and units for practical use, to present the method of calculation of rod spherical dome and the algorithm of rod cupola calculation program, to carry out experimental researches of dome construction.

The scientific innovation consists in the development of progressive technology which is to give economy in labor work, material and power resources; also, in evaluation of development of theoretical method for large-span roofs which

provides optimum dimensions of construction with consideration of rigid units. A new method is presented according to which dome is considered as a unified shell with discontinuously varying curve which significantly shortens calculation algorithm.

The calculation error of momentless spatial constructions and its application limit in respect to irregularly distributed forces is obtained.

The method of calculation of axial spherical domes is obtained. The technology of construction of large-span roof structures is proposed.

The value of the work lies in theoretical and experimental researches which represent the basis of practical recommendations for shell construction load-bearing elements.

The authenticity of results is proved with satisfactory coincidence of theoretical and experimental results received by various authors.

A new method is presented according to which the whole dome is considered as a one-piece shell with discontinuously varying curvature which significantly shortens calculation algorithm; relative value of moment forces compared to twisting-compression forces and the effect of these forces on construction durability and longevity evaluation are determined; the error of momentless calculations and the limit of its use in respect to irregularly distributed forces is received.

The peculiarities of stress-strain state of axial domelike constructions are studied; the method of calculation of axial spherical domes and computer-aided program algorithm calculations of axial domes are presented; experimental researches of dome construction are described.

A new technology of dome construction is presented; the technology of large-span roof structure constructions is proposed. Technical result of the mentioned model is the simplification of large-span roof structure constructions; the technology of dome raising is received; technical and economic characteristics of large-span dome roof assembling are presented.