

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნიკოლოზ მექმარიაშვილი

„დიდი გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორების  
კონსტრუირების ახალი პრინციპები“

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2016 წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,  
სამშენებლო ფაკულტეტზე,  
სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტში.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

სრული პროფესორი აგული სოხაძე

სრული პროფესორი ლია ბალანჩივაძე

რეცენზენტები: სრული პროფესორი ბიჭიკო სურგულაძე  
ტ.მ.დ., პროფესორი დავით პატარაია

დაცვა შედგება 2016 წლის 6 ივლისი, 13<sup>00</sup> საათზე,  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 505<sup>ბ</sup>.  
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებ-გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

სრული პროფესორი დ.ტაბატაძე

## ნაშრომის საერთო დახასიათება

**თემის აქტუალურობა:** მშენებლობაში ბოლო ათწლეულებში ფართოდ გავრცელდა ისეთი კონსტრუქციული სისტემები, რომელთა ყველა ელემენტი იჭიმება და ამასთან ერთად მათი საექსპლუატაციო ფორმაც გაჭიმვით მიიღწევა. მათ გამოყენება ჰპოვეს არა მარტო სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობაში, არამედ სპეციალურ ნაგებობებშიც, რომლებიც ექსტრემალურ პირობებში იქმნება. ამ მხრივ აღსანიშნავია კოსმოსური ნაგებობები, სადაც „გაჭიმულ არქიტექტურას“ – გაჭიმულ ტრანსფორმირებად, კონსტრუქციულ სტრუქტურას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

„გაჭიმულ არქიტექტურას“ მრავალი ნიშანდობლივი და უპირატესი თვისებები გააჩნია, მაგრამ მათ შორის გამორჩეულია მინიმალური წონა, ფორმაცვალებადობის უნარი ტრანსფორმაციის მეთოდით და განსაკუთრებული არქიტექტურული ფორმების სიმრავლე.

კონსტრუქციული ელემენტის დეფორმირებული მდგომარეობა შეიძლება გამოწვეული იყოს მისი დრეკადი, დრეკად-პლასტიკური და პლასტიკური დეფორმაციებით.

გაჭიმული სტრუქტურების მინიმალური წონა მიიღწევა იმით, რომ კონსტრუქციული ელემენტები ყოველთვის გაჭიმულია, თუნდაც მაშინ, როდესაც გარე ძალებისაგან ისინი კუმშვით ძალებს ითვისებენ. სწორედ ამიტომ, რადგანაც კონსტრუქციული ელემენტების მუშა მდგომარეობას წარმოადგენს გაჭიმვა მათი კონსტრუქციული მასალის სიმტკიცე მაქსიმალურად არის გამოყენებული. ამასთან, აღნიშნული ფაქტორის გამო მათში ასევე აღარ არის მაღალი და ზემადალი სიმტკიცის მასალების გამოყენების ხელის შეშლელი პირობები, რაც კიდევ უფრო ამსუბუქებს გაჭიმულ კონსტრუქციულ სისტემას.

**დისერტაციის მიზანს შეადგენს:** ზემსუბუქი, დიდი ზომის გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორები, მათი კონსტრუქციის, ტრანსფორმაციის გამშლელი რგოლის სხვადასხვა სქემის მუშაობის პრინციპები.

**ექსპერიმენტული კვლევის ამოცანაა:** ზემსუბუქი, დიდი ზომის გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორების სქემების შემუშავება, დამზადება და გამოცადა მათი სადემოსტრაციო და ფუნქციონალური მოდელები:

დაზუსტდა ტექნიკური მოთხოვნები რეფლექტორის შემადგენელი ცალკეული ბლოკის მიმართ. ამ მიმართებით განხილული იქნა დასრულებული ტრანსფორმაციის გამშლელი რგოლის ორი ძირითადი სქემის მიხედვით აგებული რეფლექტორები:

- ორ რიგად განთავსებული პანტოგრაფული სტრუქტურა გამშლელი ძალოვანი რგოლი ჭიმვადი, მოქნილი ცენტრით;
- “ჩასატეხლერობიანი” გამშლელი ძალოვანი რგოლიჭიმვადი, მოქნილი ცენტრით.

კვლევების პროცესში, ძირითადი სქემების მიხედვით, შესწავლილი იქნა წაკვეთილი პირამიდის და პრიზმის ფორმის რეფლექტორები, რომელთაც გეგმაში გააჩნიათ წრიული ან ელიფსური მოხაზულობა.

უმთავრესი ამოცანა იყო რეფლექტორის გაშლის ტრანსფორმაციის პროცესების შესწავლა, რეფლექტორის ეკრანის აპროქსიმირებული ზედაპირის ზუსტი გეომეტრიის მიღწევა და მისი, ასევე დიდი სიზუსტით, განმეორებადობა გახსნის სხვადასხვა ეტაპებზე. ჩამოთვლილ ამოცანებთან ერთად, ექსპერიმენტული კვლევა მიზნად ისახავდა შემდეგი საკითხების კვლევას:

- რეფლექტორის გახსნის კონტროლი, მართვა და საიმედოობა;
- რეფლექტორის გახსნის სიჩქარე;
- გამხსნელ ბაგირებში ძალის ცვლილება გახსნის პროცესში;
- ძრავის მიერ მოხმარებული ენერგია გახსნის პროცესში;
- მთლიანად გახსნილი რგოლის ბაგირებში ძალების გადანაწილება;
- ამრეკლის გეომეტრია და განმეორებადობა;
- საკუთარი რხევის სიხშირეები და სხვა.

ექსპერიმენტულ კვლევებში ყურადღება დაეთმო რეფლექტორის ძალოვანი რგოლის \_ გაჭიმული ცენტრის საყრდენიანი კარკასის გამშლელ ელექტროამძრავიან და ასევე ზამბარებიან მექანიზმებს და მათი მოქმედებით გამოწვეულ გაშლის პროცესებს.

**მეცნიერული სიახლე:** ზემსუბუქი, დიდი ზომის გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორები ახალი „ჩასატეხ ლერობიან“, ელექტროამძრავიან, ვანტურ-ლეროვან რგოლზე, რომელიც პრიზმის ან წაკვეთილი პირამიდის ფორმისაა და

გეგმაში ქმნის წრიულ ან ოვალურ მოხაზულობას, რომლებმაც აჩვენა ის, რომ ელექტროამძრავებით და გამშლელი ბაგირით აღჭურვილი გამშლელი „ჩასატეხ დეროებიანი“ რგოლი ბევრად პერსპექტიულია.

**მიღებული შედეგების პრაქტიკული გამოყენება:** რეფლექტორები ახალ „ჩასატეხ დეროებიანი“, ელექტროამძრავიან, ვანტურ-დეროვან რგოლზე, რომელიც პრიზმის ან წაკვეთილი პირამიდის ფორმისაა და გეგმაში ქმნის წრიულ ან ოვალურ მოხაზულობას ევროპული კოსმოსური სააგენტოს მიერ წარდგენილი იქნა ევროპატენტზე.

**ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:** სადისერტაციო ნაშრომის, ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ სამ სემინარზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. გარდა ამისა სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 9 სამეცნიერო შრომა.

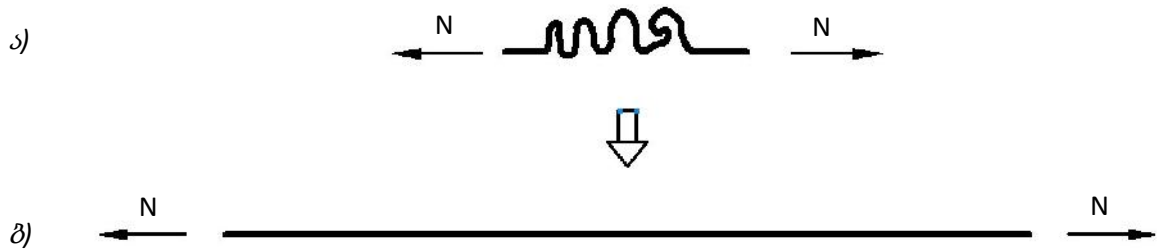
**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:** დისერტაცია შედგება შესავლის, ოთხი თავის, ძირითადი ნაწილის დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურისაგან. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება 177 გვერდისაგან, გამოყენებულია 100 დასახელების ლიტერატურა.

## **ნაშრომის შინაარსი**

**შესავალში** წარმოდგენილია თემის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

**პირველ თავში** განხილულია სხვადასხვა სახეობების გაჭიმული კონსტრუქციული სისტემები, რომელთა საექსპლუატაციო ფორმა მიიღწევა და შენარჩუნდება გაჭიმვის შედეგად. მათი არქიტექტურის ამოსავალი პოზიციაა მომუშავე სისტემები, რომლის ყველა ელემენტი იჭიმება და ამასთან ერთად მათი საექსპლუატაციო ფორმაც გაჭიმვით მიიღწევა. გაჭიმული კონსტრუქციული სისტემები, როგორც ნაგებობათა კლასების ერთ-ერთი მიმართულება, ასევე წარმოადგენენ გაჭიმულ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურას. უნდა აღინიშნოს, რომ კოსმოსურ ნაგებობებში, „გაჭიმულ არქიტექტურას“ – გაჭიმულ

ტრანსფორმირებად, კონსტრუქციულ სტრუქტურას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. „გაჭიმულ არქიტექტურას“ მრავალი ნიშანდობლივი და უპირატესი თვისებები გააჩნია, მაგრამ მათ შორის გამორჩეულია მინიმალური წონა, ფორმაცვალებადობის უნარი ტრანსფორმაციის მეთოდით და განსაკუთრებული არქიტექტურული ფორმების სიმრავლე.



**ფიგ. 1.1 - კონსტრუქციული ელემენტი რომლის ფორმა მიიღწევა მისი გაჭიმვის შედეგად**

ა- კონსტრუქციული ელემენტი დეფორმირებულ მდგომარეობაშია გაჭიმვამდე;

ბ- კონსტრუქციული ელემენტის ფორმა მიღწეულია მისი გაჭიმვით.

გაჭიმული სტრუქტურების მინიმალური წონა მიიღწევა იმით, რომ კონსტრუქციული ელემენტები ყოველთვის გაჭიმულია, თუნდაც მაშინ, როდესაც გარე ძალებისაგან ისინი კუმშვით ძალებს ითვისებენ. სწორედ ამიტომ, რადგანაც კონსტრუქციული ელემენტების მუშა მდგომარეობას წარმოადგენს გაჭიმვა მათი კონსტრუქციული მასალის სიმტკიცე მაქსიმალურად არის გამოყენებული. შესაბამისად, განსხვავებით შეკუმშული ელემენტებისაგან, სადაც გრძივი ღუნვის ფაქტორიდან გამომდინარე დომინირებს დამაბულობის შემცირების აუცილებლობა მდგრადობის დაკარგვის პირობების გათვალისწინებით გაჭიმულ ელემენტებში მაქსიმალურად ხდება მასალის სიმტკიცის ათვისება. ამასთან, აღნიშნული ფაქტორის გამო მათში ასევე აღარ არის მაღალი და ზემოდალი სიმტკიცის მასალების გამოყენების ხელისშემშლელი პირობები, რაც კიდევ უფრო ამსუბუქებს გაჭიმულ კონსტრუქციულ სისტემას.

დაჭიმული სტრუქტურების მზიდი ელემენტები დამზადებულია:

- ძაფებისაგან, რომლებიც შეიძლება რეალურად წარმოადგენდნენ ძაფთულებს, ბაგირებს, ტროსებს, ხისტი პროფილების და ხისტი ელემენტებისაგან შედგენილ გრძივ ელემენტებს;
- ბადეებისაგან, რომელიც შედგება ურთიერთგადამკვეთი და გადაკვეთის ადგილებში ერთმანეთთან დაკავშირებული მრავალი ძაფებისაგან. მემბრანისაგან, რომელიც თავისი ფიზიკური ბუნებით ახლოს დგას ბადესთან და ისინი იდეალიზებულია როგორც ბადეები, რომელთა მოსაზღვრე კვანძები უსასრულოდ ახლოს არიან განთავსებული ერთმანეთთან.

აქვეა განხილული სისტემები, რომელთა ფორმა მიიღწევა გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურის მიზნით სტაციონალურ, მუდმივი და უცვლელი ფორმის მქონე კონსტრუქციულ სისტემასთან, რომელთაც შეუძლიათ უპირატესად მკუმშავი ძაღვების ათვისება. ასეთი სისტემები ორი ძირითადი ნაწილისაგან შედგება- ტრანსფორმირებადი, გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურისაგან, რომელიც მიზნულია სტაციონალურ მუდმივ ან უცვლელი ფორმის მქონე სისტემასთან. გაჭიმულ კონსტრუქციულ სტრუქტურას გააჩნია უნარი, მასალის ორიგინალობით განიცადოს ტრანსფორმაცია- გაიშალოს ან დაიკეცოს და საპროექტო ფორმას მიაღწიოს გაჭიმვის შედეგად.

ფორმატცვალებადობის უნარს ტრანსფორმაციის მეთოდით, უნდა შევთანხმდეთ, რომ მათი ფორმის მიღწევის დროს ადგილი აქვს შემდეგ შემთხვევებს:

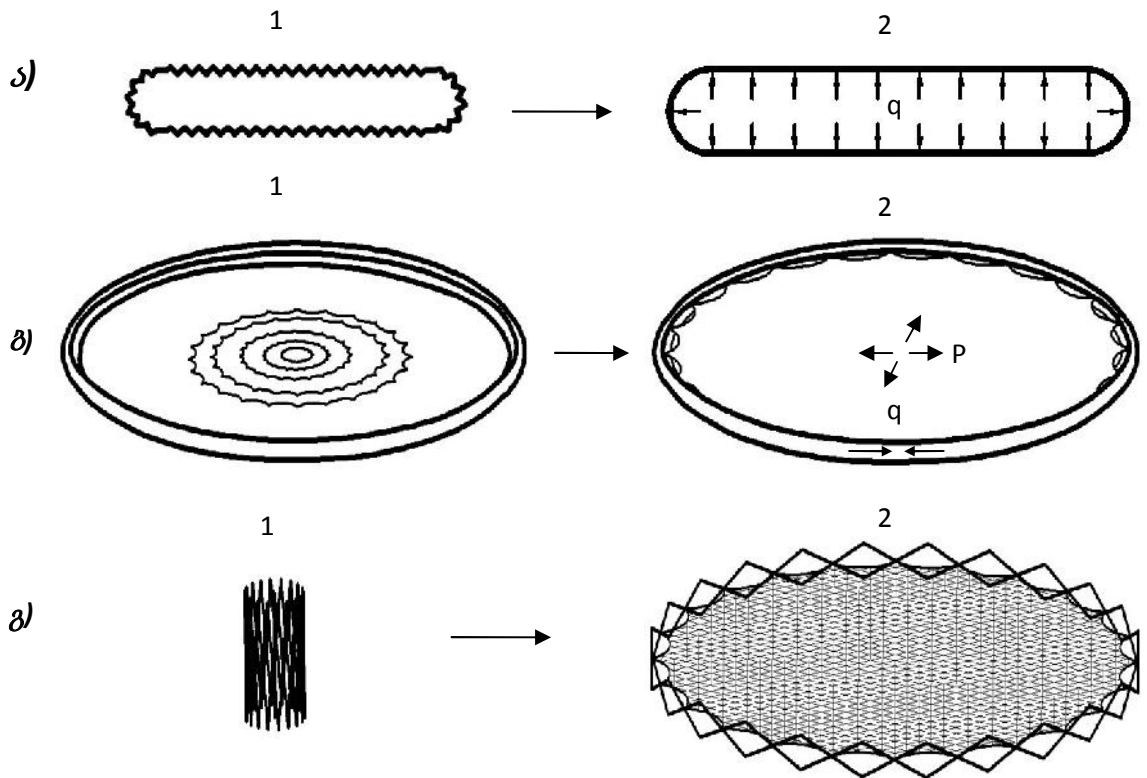
- ფორმა მიიღწევა მხოლოდ კონსტრუქციული სტრუქტურის გაჭიმვით;
- ფორმა მიიღწევა გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურის მიზნით სტაციონალური და ან მუდმივი ფორმის მქონე სისტემასთან, რომელსაც შეუძლია უპირატესად მკუმშავი ძაღვების ათვისება [6].

განვიხილოთ თითოეული მათგანი, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის ფორმატწარმოქმნის მიზნით (ფიგ. I.2).

ფიგ. I.2–ზე წარმოდგენილი სქემების მიხედვით შეიძლება განიმარტოს, რომ ფორმის მიღწევა მხოლოდ ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის გაჭიმვით, კონკრეტულ შემთხვევაში შესაძლებელია, სქემაზე წარმოდგენილი დაკეცილი ცილინდრული ბალონის ფორმის შევსებით ჭარბი წნევით[12].

მეორე შემთხვევაში ხისტ წრიულ კონტურზე თუ ჩავამაგრებთ გაჭიმულ აპკს, რომელიც გაჭიმვამდე დაკეცილ მდგომარეობაში იყო, მივიღებთ გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ფორმას, რომელიც მიბმულია სტაციონარულ კონსტრუქციულ სისტემაზე.

მესამე შემთხვევაში დაკეცილი აპკი უკვე ჩამაგრებულია ხისტ, ოღონდ ასევე დაკეცილ კონტურზე, რომლის შემდეგ ორივე სტრუქტურა – მოქნილი აპკი და ხისტი რგოლური კონტური იწყებს ტრანსფორმაციას და გაშლის შედეგად წარმოიქმნება ფორმა გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურისა მიბმული სხვა ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურაზე.



ფიგ. 1.2 - ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურების ფორმათწარმოქმნის სქემები

- ა- ფორმა მიიღწევა მხოლოდ ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის გაჭიმვით;
- ბ- ფორმა მიიღწევა გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის მიბმით სტაციონალურ კონსტრუქციულ სისტემასთან;
- გ- ფორმა მიიღწევა გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის მიბმით სხვა ხისტ ტრანსფორმირებად კონსტრუქციულ სტრუქტურასთან;
- 1 - ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სისტემა დაკეცილია;
- 2- ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურა გაშლილ მდგომარეობაშია.



აღსანიშნავია, რომ გაჭიმული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურის მისაბმელი სტაციონალური სისტემა, თუ ტრანსფორმირებადი სტრუქტურა ორივე შემთხვევაში წარმოადგენს საყრდენ, ძალოვან ელემენტებს, რომლებიც ითვისებენ გაჭიმული სტრუქტურიდან მათზე გადაცემულ გამბრჯენის ძალებს.

აქვე განხილულია სისტემები, რომელთა ფორმა მიიღწევა გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურის მიზმით სტაციონალურ, მუდმივი და უცვლელი ფორმის მქონე კონსტრუქციულ სისტემასთან, რომელთაც შეუძლიათ უპირატესად მკუმშავი ძალების ათვისება.

აღნიშნული სისტემების მახასიათებელი ძირითადი კონსტრუქციული სქემა წარმოდგენილი იყო ფიგ. 1.2.ბ–ზე. განხილული სქემიდან ჩანს, რომ ასეთი სისტემები ორი ძირითადი ნაწილისაგან შედგება – ტრანსფორმირებადი, გაჭიმული კონსტრუქციული სტრუქტურისაგან, რომელიც მიზმულია სტაციონალურ მუდმივ ან უცვლელი ფორმის მქონე სისტემასთან.

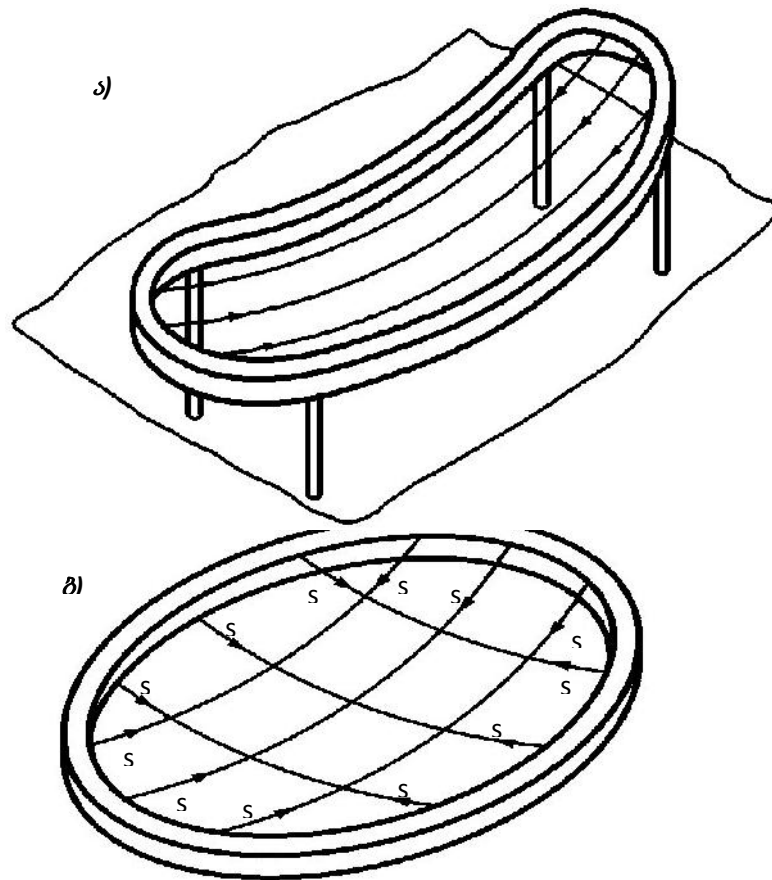
აღნიშნული სისტემის ანალიზის მიხედვით, გაჭიმულ კონსტრუქციულ სტრუქტურას გააჩნია უნარი, მასალის ორიგინალობით განიცადოს ტრანსფორმაცია – გაიშალოს ან დაიკეცოს და საპროექტო ფორმას მიაღწიოს გაჭიმვის შედეგად.

კონსტრუქციის სტრუქტურის ეს თვისება განაპირობებს, მისი, კომპაქტურად დახვევა-დაკეცვის საშუალებას. ასეთი მინიმალური გაბარიტების სატრანსპორტო პაკეტის სახით ხდება მათი ტრანსპორტირება დანიშნულების ადგილამდე. მონტაჟის დროს დახვეული კონსტრუქციული სტრუქტურა იშლება და ბოლო ეტაპზე ხდება მისი საპროექტო გაჭიმვა. ამ სახით ტრანსფორმაციის შედეგად სტრუქტურა ღებულობს საექსპლუატაციო ფორმას [34].

კონსტრუქციული სტრუქტურის დაკეცვა-დახვევის უნარი და ელემენტების გაჭიმულ მდგომარეობაში მუშაობის გამო მიღწეული მინიმალური წონა განაპირობებს აღნიშნული კონსტრუქციული სტრუქტურის დადებით თვისებას. ამასთან, მას გააჩნია ნაკლოვანებებიც, რაც სტრუქტურის დიდ დეფორმაციულობასთან არის დაკავშირებული.

საყრდენი კონტურის დამაბულ-დეფორმირებული სურათის მუშაობის კიდევ უფრო გაუმჯობესებულ შემთხვევას წარმოადგენს მრუდხაზოვანი კონტურები. მათი გამოყენება შესაძლებელია, როგორც ერთ რიგად განლაგებული, ასევე

ურთიერთგადამკვეთი, მოქნილი ძაფების შემთხვევაში. ამასთანავე, აუცილებელია შეიქმნას როგორც კონსტრუქციული, ასევე არქიტექტურული პირობები (ფიგ. 1.3).



ფიგ. 1.3. \_ ოვალურ, საყრდენ კონტურზე დამაგრებული კიდული სისტემები.

ა) – სივრცითი ოვალური ფორმის საყრდენი კონტური, პარალელურად განთავსებული დაჭიმული ძაფებისათვის; ბ) – წრიული ფორმის საყრდენი კონტური, ორთოგონალურად განთავსებული დაჭიმული ძაფებისათვის.

წარმოდგენილ სქემებზე, პირველ შემთხვევაში დაჭიმული ძაფების პარალელურად განთავსებული ხისტი მონაკვეთები  $AK$  და  $BD$  საყრდენისა წარმოადგენს ერთგვარ მაკავშირებელს გაჭიმული ძაფების ბოლოებზე განთავსებული საყრდენის მოწყობილობებისა  $AD$  და  $BK$ , რომელთაც თაღის ფორმები აქვს. ასეთი სქემა განაპირობებს წაგრძელებული ფორმის კიდული დახურვების მოწყობისათვის ოპტიმალურ გადაწყვეტას. საყრდენების თაღურ მონაკვეთებში ძირითადად წარმოიშვება მკუმშავი ძაღვები, რომლებიც შემდეგ გადაეცემა საყრდენის წაგრძელებულ მონაკვეთებს, სადაც ხდება მათი ათვისება. ამასთან საგულისხმოა, რომ  $C, D, B$  და  $A$  წერტილებში ადგილი აქვს  $CD$  და  $AB$  გასწვრივ მოქმედი ძაღვების წარმოქმნას, რაც თაღის განმბრჯენების რეაქციაა. მათი ათვისება ხდება როგორც საყრდენების გრძელი ელემენტების კვეთის

გადლიერებით, ასევე სხვა მრავალი კონსტრუქციული სქემების განხორციელებით [32].

ხისტ საყრდენის მუშაობის ოპტიმალური ფორმა მიიღწევა წარმოდგენილი სქემების ბ – შემთხვევაში. მოცემულ საყრდენში, გაჭიმული, ორთოგონალურად განლაგებული ურთიერთგადამკვეთი ძაფებისაგან-ბაგირებისაგან წარმოიქმნება მინიმალური სიდიდის მლუნავი მომენტები. კონსტრუქცია ძირითადად მუშაობს კუმშვაზე.

ტრანსფორმირებადი სტრუქტურების შესწავლის მხრივ განსაკუთრებულ ინტერესს იმსახურებენ ერთშრიანი კიდული სისტემები, რომლებიც შეიძლება განხორციელდეს მოქნილი ძაფებისაგან-ბაგირებისაგან, დახვეული ფურცლებისაგან, რომლებისგანაც შეიძლება მემბრანების მიღება და მოქნილი ელასტიური მასალებისაგან, რომლითაც კარკასების აგება ხდება. აღნიშნული ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციული სტრუქტურები ერთობლიობაში მუშაობენ ხისტ საყრდენებთან და ასევე შუალედურ ხისტ და ზოგიერთ შემთხვევაში, ასევე ვანტურ ბაგროვან საყრდენებთან. მათი ურთიერთშეთანხმებით და სხვადასხვა სახით ურთიერთგანლაგებით იქმნება სხვადასხვა კონფიგურაციის, არქიტექტურულად გამომხატველი ფიგურები, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება მცირე და დიდმალიან ნაგებობებში.

ერთშრიანი კიდული სისტემიდან ორშრიან – ორსართულიან სისტემაზე გადასვლისა არის მისი დეფორმაციების შემცირება, რაც მოცემულ შემთხვევაში მიიღწევა მასტაბილიზებული ბაგირის წინასწარდაძაბვით. სწორედ უკვე არსებული გაჭიმვის ძაბვები მასტაბილიზებულ ბაგირში იძლევა საშუალებას, ისიც ჩაერთოს სისტემის მუშაობაში მანამ, სანამ აღძრული მკუმშავი ძალები არ გადააჭარბებენ არსებული წინასწარი გაჭიმვის ძალებს. ამ სახით სისტემა გაცილებით ნაკლებდეფორმაციულია ვიდრე ერთშრიანი კიდული სისტემა, თუმცა მოცემულ სქემებში ნაკლები სიდიდით, მაგრამ მაინც, კვლავ შენარჩუნებულია კინემატიკური გადაადგილებები.

**მეორე თავში** განხილულია ზემსუბუქი, გასაშლელი დიდი ზომის კოსმოსური რეფლექტორების კონსტრუირების ლოგიკა. დიდი გასაშლელი რეფლექტორების

შექმნა და მათი კვლევა ძირითადად მიმდინარეობს რგოლურ, წიბოვან, მოდულარულ და პნევმო სისტემებში.

აღნიშნული სისტემებიდან მოცემულ ეტაპზე პრიორიტეტულია რგოლური, საყრდენ კარკასული სისტემები ბაგიროვანი გაჭიმული ცენტრით. მისი უპირატესი, დადებითი თვისებები და ასევე, არსებული და დასაძლევ ნაკლოვანებების გარკვევა ასახულია ზემსუბუქი, გასაშლელი, დიდი გაბარიტების მქონე, კოსმოსური რეფლექტორების ლოგიკაში. თავისთავად კარკასულ-რგოლური ტრანსფორმირებადი სისტემები, როგორც ავღნიშნეთ, შედგება საყრდენი კარკასისაგან – გამშლელი რგოლისაგან; ძალოვანი რგოლის მიმართ დამყოლი ცენტრისაგან; მასზე დაკრული ამრეკლი ეკრანისაგან და საკონტაქტო ზონისაგან, რომლითაც ხდება ურთიერთკავშირები რგოლსა და მის მიმართ დამყოლ ცენტრს შორის.

ახალი თაობის დიდი ზომის გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორის შექმნის კონსტრუირების ლოგიკა, შეეხება რგოლური სისტემის – კარკასულ საყრდენიანი ტრანსფორმირებადი სისტემის, შემადგენელ სამივე კომპონენტს და მის საკონტაქტო ზონას, ასევე, მისი გაშლის ენერგეტიკას.

კონსტრუირების ლოგიკის მიზანი არის დიდი ზომის გასაშლელი რეფლექტორის შექმნა, რომლის წონა იქნება მინიმუმამდე დაყვანილი და ამასთან კონსტრუქცია შეინარჩუნებს ყველა იმ თვისებებს, რაც აუცილებელია კოსმოსური რეფლექტორებისათვის – სიზუსტე, სიხისტე, ნაკლები დეფორმაციულობა ტრანსფორმაციის პროცესის სტაბილურობა და საიმედოობა, დაკეცილი რეფლექტორის პაკეტის მინიმალური ზომა და სხვა.

ლოგიკის მიზანს წარმოადგენს კარკასულ-საყრდენიანი, რგოლური სისტემების რეფლექტორებში მოქნილი წინასწარდაძაბული ცენტრის სტრუქტურის სისტემური განვითარების შესწავლა და ცვლილებების განსაზღვრა, რომლის შედეგად მოქნილი ცენტრი გახდება უფრო ხისტი, გეომეტრიულად ზუსტი და მას ექნება მინიმალური მასა. დიდგაბარიტიან კოსმოსურ გასაშლელ რეფლექტორებში ოპტიმალურად უნდა ჩაითვალოს მოქნილი ცენტრის გაჭიმული სტრუქტურა. სტრუქტურის გეომეტრიულად უცვლელობის პირობას წარმოადგენს არა მისი რადიანული ან სხვა ფორმით განლაგებული ელემენტები, რომელთაც გააჩნიათ

დიდი ვერტიკალური სიხისტე, არამედ გამშლელი რგოლის მოპირდაპირე მხარეზე განთავსებული, მოქნილი ვანტებისგან შედგენილი, სამკუთხა ფორმის უჯრედების მქონე ბადეები, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ არიან ჩაზნექილები, რასაც აფიქსირებენ ზედა და ქვედა ცალკეული ვანტური ღეროების შემაერთებელ კვანძებს შორის განთავსებული, ასევე, ბაგიროვანი მჭიმები.

წარმოდგენილ კონსტრუქციაში სწორედ ბაგიროვანი მჭიმების მოჭიმვაა ის ძალოვანი ფაქტორი, რომელიც ძაბავს, ფიქსირებული ფორმის და ზომის გამშლელ რგოლში ჩაბმულ ბადეებს. მათი ყველა ღეროს გაჭიმვით მიიღწევა სტრუქტურის მდგრადი ფორმის შენარჩუნება.

საყრდენი კარკასები, რომლებიც ხორციელდება გამშლელი ძალოვანი რგოლით, გაშლის კინეტიკის მხრივ შეიძლება იყოს დასრულებული ტრანსფორმაციის ან დაუსრულებელი ტრანსფორმაციის ტიპის. დასრულებულ იტრანსფორმაციის ძალოვანი რგოლის კონსტრუქციებს, უმეტესწილად, თავისი სასრული სიგრძის - პერიმეტრის ზომის ფიქსაციისათვის გააჩნიათ სარტყელები, რომლებიც შეიძლება იყოს ხისტი ღეროები, ასევე, ვანტები. დაუსრულებელი ტრანსფორმაციის უნარის მქონე გამშლელი ძალოვანი რგოლის კონსტრუქციები, უმეტეს შემთხვევაში, განხორციელებულია ზედა და ქვედა სარტყელების გარეშე.

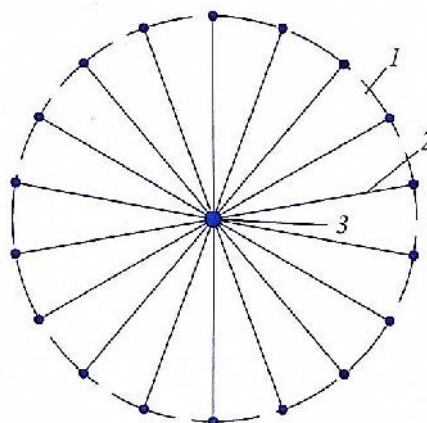
წარმოდგენილი სქემები მიაწინებებს იმაზე, რომ მათზე სარტყელების მოხსნის შემდეგ რგოლის კონსტრუქციები იძენენ უნარს დასრულებული ტრანსფორმაციიდან გარდაიქმნან დაუსრულებელი ტრანსფორმაციის უნარის მქონე რგოლებად. ასეთ შემთხვევაში მათ შესწევთ უნარი გააგრძელონ გაშლის პროცესი და რეაქციის სახით წარმოქმნან ძალები, რომლებიც ჭიმავს მოქნილ ცენტრს.

საქართველოს კოსმოსურ ნაგებობათა ინსტიტუტში ჩატარდა კვლევები და ექსპერიმენტები. მათი მიზანი იყო ვანტური წინასწარდაძაბული ფერმების, რომლებსაც საკმარისი ვერტიკალური სიხისტე გააჩნიათ, გასაშლელ რეფლექტორებში გამოყენების შესაძლებლობის დადგენა [81].

წარმოდგენილი სქემები შეესაბამება რგოლურ-კარკასული გასაშლელი რეფლექტორების ისეთ ცენტრალურ გაჭიმულ ნაწილს, როდესაც გაჭიმული ელემენტი – წიბო, რადიანული სქემით არის განთავსებული სისტემაში (ფიგ. II.7).

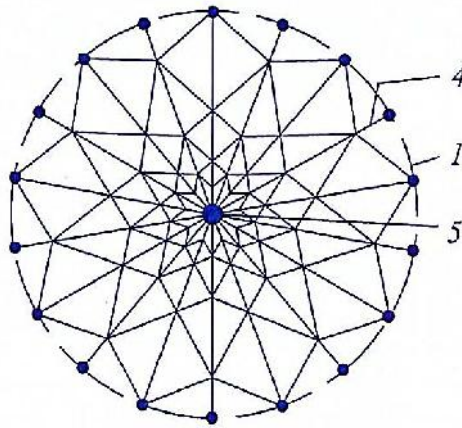
განხილულ ფიგურაზე წარმოდგენილი სქემის ერთ-ერთი ნაკლოვანი მხარეა ის, რომ პოლუსიდან რგოლამდე, ვერტიკალურ სიბრტყეში დიდი სიხისტის მქონე გაჭიმული, ბაგროვანი ფერმა, თავისი განივკვეთის განივად არის ძალიან მცირე სიხისტის მქონე. ეს ფაქტორი ასევე, განპირობებულია იმითაც, რომ ნახევარფერმის მთელ სიგრძეზე არ არსებობს კავშირები ფერმებს შორის, რაც საგრძნობლად გაზრდიდა მათ განივ სიხისტეს. ამ ფაქტორის გარდა, მთლიანად რადიანულად განთავსებული ფერმების, ერთიან სივრცით კონსტრუქციად გადაქცევისათვის ხდება მოსაზღვრე ფერმების ზედა და ქვედა კვანძების ურთიერთდაკავშირება ვანტებით (ფიგ. II.8).

მიუხედავად იმისა, რომ ფიგ. II.8 წარმოდგენილ სტრუქტურას გააჩნია წონის შემცირების რეზერვი და მისი პარაბოლოიდური, დისკრეტული ზედაპირის გეომეტრიული ფორმების ოპტიმიზაციისა და სიზუსტის მომატებისა, უარყოფით თვისებად უნდა ჩაითვალოს ის, რომ რადიანულად განთავსებული ვანტური ფერმების დროს, ცენტრალურ კვანძთან და მასთან მიახლების დროს, ზედაპირის ფართის ერთეულზე გაცილებით მეტი ელემენტია თავმოყრილი, ვიდრე სივრცითი ვანტური სისტემის ზედაპირის შუალედურ და მით უმეტეს, განაპირა ზონებში. ასეთი გადაწყვეტა არაოპტიმალურია, როგორც სისტემის წონის შემსუბუქების მხრივ, ასევე მას გააჩნია ნაკლოვანებები იმ შემთხვევაში თუ დისკრეტული ფორმით აგებული პარაბოლოიდური ზედაპირი, მასზე ამრეკლი ეკრანის მიწყობით, გამოყენებული იქნება რადიოტალღების არეკლისათვის.



**ფიგ. I.4 – გამშლელ რგოლში რადიანული სქემით განთავსებული მოქნილი, გაჭიმული წიბოები**

1 – გამშლელი ძალოვანი რგოლი; 2 - რადიანულად განთავსებული გაჭიმული, მოქნილი წიბო; 3 - რადიანულად წიბოების გამაერთიანებელი კვანძი - პოლუსი.



**ფიგ. 1.5- სივრცითი სისტემა ვანტური წინასწარდაძაბული ფერმებისა მათი რადიანული სქემით განლაგების შემთხვევაში**

1 – გამშლელი ძალოვანი რგოლი; 2 – ვანტური ფერმის ზედა სარტყელი; 3 – ვანტური ფერმის ქვედა სარტყელი; 4 – სივრცით ბაგროვან გაჭიმულ სტრუქტურაში, ვანტური ფერმების ზედა და ქვედა მოსაზღვრე კვანძების შემაერთებელი, განივად განთავსებული ვანტები; 5 – რადიანულად განთავსებული ვანტური ფერმების გამაერთიანებელი ცენტრალური კვანძი

მეორე თავშია განხილული რა მოეთხოვები წაეყენება კოსმოსური გასაშლელ რეფლექტორებს: მასის შემცირება უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა, რაც კიდევ უფრო ძლიერდება ოფსეტური რეფლექტორების შემთხვევაში, რომლებიც კოსმოსურ აპარატთან გვერდიდან არიან მიმაგრებულნი. ასეთ ვითარებაში რეფლექტორის მასის მცირე ზრდა იწვევს მასტაბილიზებული მომენტის ზრდის აუცილებლობას კოსმოსურ აპარატზე. სხვა მრავალ ფაქტორთან ერთად, გაზრდილი მასის მქონე რეფლექტორების გატანა ორბიტაზე კოსმოსური აპარატით, ასევე, გაზრდილ ფინანსურ სახსრებთან არის დაკავშირებული, რაც მთლიანად კოსმოსური პროგრამის ხარჯების ზრდას იწვევს.

კონსტრუქციის ცალკეული ელემენტების, ფრაგმენტებისა და მთლიანად რეფლექტორის საკუთარი რხევის სიხშირე უნდა იყოს დაწესებული ზღვრული სიხშირის ტოლი; რეფლექტორის კონსტრუქციამ უნდა უზრუნველყოს, გარკვეული დაწესებული პერიოდის განმავლობაში დაკეცილი პაკეტის სახით შენახვისა და ტრანსპორტირების დროს, გამლის ეტაპზე, ფორმის ფიქსაციისას და გამლილ - ფუნქციონალურ მდგომარეობაში, საიმედო პარამეტრების შენარჩუნება და საპროექტო საექსპლოატაციო მონაცემების დასაშვებ ზღვრებში დაკმაყოფილება; რეფლექტორის სრული ღირებულება უნდა იყოს მინიმიზებული; კოსმოსური რეფლექტორებისათვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მისი შემადგენელი

ელემენტების მცირე დეფორმაციულობა დიდი და ცვლადი ტემპერატურის პირობებში და სხვა.

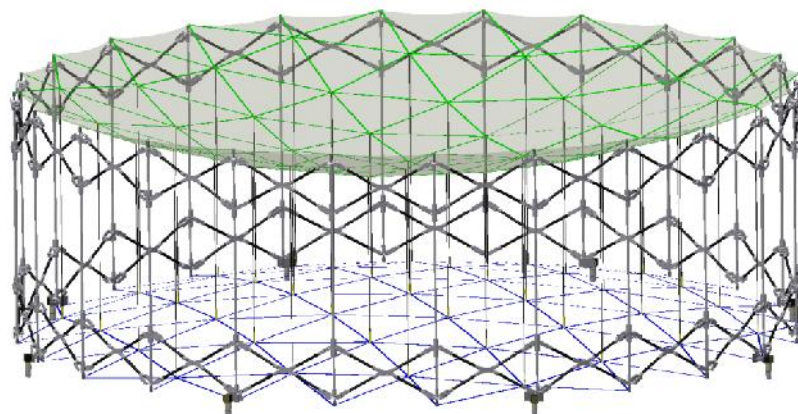
მეტად მნიშვნელოვანია ის, რომ ცენტრალურ კვანძში შეკრებილი მრავალი ვანტური ფერმების შემთხვევაში, არ არის გამორიცხული ალბათობა იმისა, რომ ცალკეული ვანტური ფერმის ზოგიერთ ელემენტებში, სხვადასხვა მიზეზით, არ იქნას მიღწეული გაჭიმვა. მუშაობის ასეთი სურათი ვანტური ფერმების ერთიან სისტემაში მოგვცემს მათი ზოგიერთი ელემენტის გამოთიშვას მუშაობიდან, რაც გამოიწვევს სისტემაში გაუთვალისწინებელ დეფორმაციებს და მათი განთავსების საპროექტო გეომეტრიული პარამეტრების ცვლილებებს.

**დისერტაციის მესამე თავში** განხილულია ახალი თაობის კოსმოსური გასაშლელი რეფლექტორის სქემები, დამუშავებულია მათი კონსტრუირების პრინციპები, დაპროექტდა, დამზადდა და გამოიცადა მათი სადემონსტრაციო და ფუნქციონალური მოდელები.

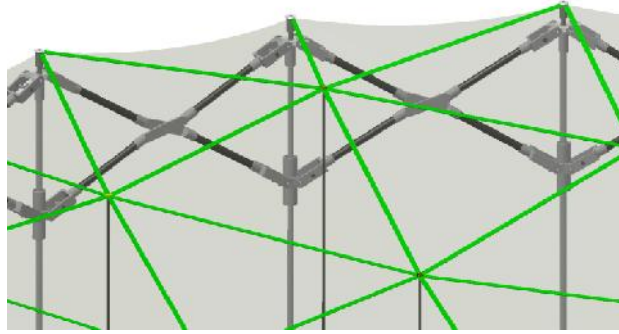
ამ მიმართებით განხილული იქნა დასრულებული ტრანსფორმაციის გამშლელი რგოლის ორი ძირითადი სქემის მიხედვით აგებული რეფლექტორები:

- ორრიგადგანთავსებული პანტოგრაფული სტრუქტურა გამშლელი ძალოვანი რგოლი ჭიმვადი, მოქნილი ცენტრით;
- “ჩასატეხდეროებიანი” გამშლელი ძალოვანი რგოლი ჭიმვადი, მოქნილი ცენტრით.

ორრიგად განთავსებული პანტოგრაფული სტრუქტურის რგოლიანი, გაჭიმული მოქნილი ცენტრის მქონე რეფლექტორის კონსტრუირების პრინციპების და დაძაბულ-დეფორმირებადი მდგომარეობების შესწავლისას დაპროექტდა (ფიგ. III.6), შემდგომ დამზადდა და გამოიცადა 4 მეტრის დიამეტრის მქონე გასაშლელი რეფლექტორის ფუნქციონალური მოდელი.







ფიგ. 1.6. – ორ რიგად განთავსებული პანტოგრაფული სისტემებისაგან შემდგარი რგოლი რეფლექტორის წინასწარდაბაზულ მოქნილ ცენტრთან ერთად.

ა)საერთო ხედი; ბ) ფრაგმენტი.

კვლევების პროცესში, ძირითადი სქემების მიხედვით, შესწავლილი იქნა წაკვეთილი პირამიდის და პრიზმის ფორმის რეფლექტორები, რომელთაც გეგმაში გააჩნიათ წრიული ან ელიფსური მოხაზულობა.

ექსპერიმენტულ კვლევებში ყურადღება დაეთმო ძალოვანი რგოლის – რეფლექტორის გაჭიმული ცენტრის საყრდენიანი კარკასის გამშლელ ელექტროამბრავიან და ასევე ზამბარებიან მექანიზმებს და მათი მოქმედებით გამოწვეულ გაშლის პროცესებს.

ექსპერიმენტული კვლევების ამოცანა იყო იმის შეფასება, თუ რამდენად შეესაბამება წარმოდგენილი დიზაინის რეფლექტორის ფაქტიური ფუნქციონალური მახასიათებლები დასახულს და, ასევე, იმ კონკრეტული საკითხების განსაზღვრა, რომლებზეც უნდა მიექცეს განსაკუთრებული ყურადღება კონსტრუქციის შემდგომი დახვეწისათვის.

ჩამოთვლილ ამოცანებთან ერთად, ექსპერიმენტული კვლევა მიზნად ისახავდა შემდეგი საკითხების კვლევას:

- რეფლექტორის გახსნის კონტროლი, მართვა და საიმედოობა;
- რეფლექტორის გახსნის სიჩქარე და სხვა.
- რეფლექტორის საყრდენ და უკუბადეში მოქმედი ძალები;
- ამრეკლის ქსოვილში მოქმედი ძალები;
- ძალები პანტოგრაფების ელემენტებში;
- ამრეკლის გეომეტრია და განმეორებადობა;
- საკუთარი რხევის სიხშირეები.

გახსნის პროცესი გრძელდება 92÷97 წამს. ამასთან, ტრანსფორმაციის ძირითადი სტრუქტურის, პანტოგრაფების გაშლის კინემატიკიდან გამომდინარე,

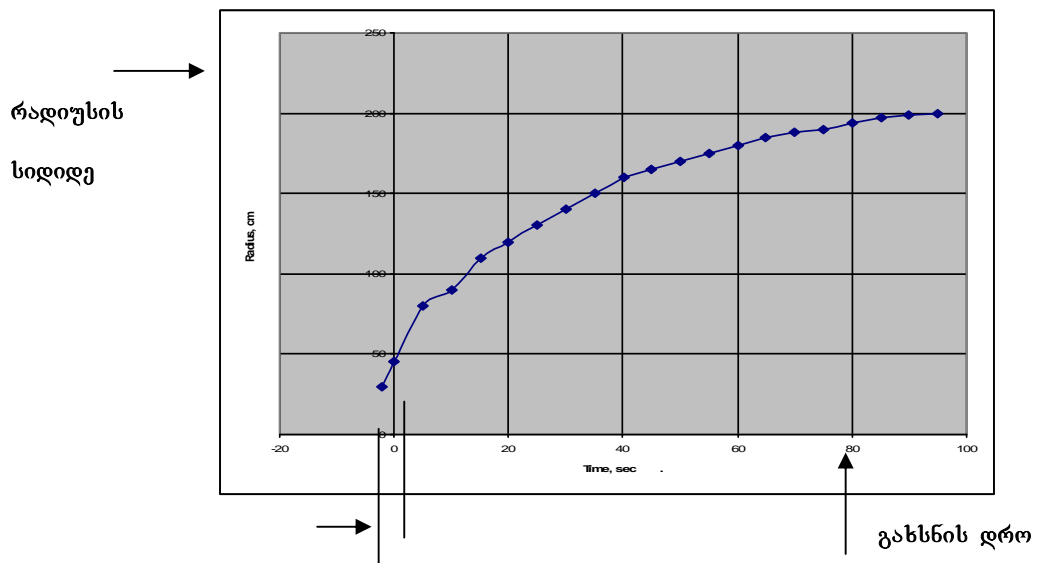
რეფლექტორის გახსნის სიჩქარე, რგოლის რადიუსის ზრდასთან ერთად კლებულობს.

საწყის ეტაპზე, სატრანსპორტო პაკეტის გარსარტყმის შემოხსნის შემდეგ, პაკეტის დიამეტრი, როგორც აღინიშნა  $18 \div 25$  სანტიმეტრით მატულობს, რაც ძირითადად განპირობებულია მის შიგნით განთავსებული, ზამბარის ეფექტის მქონე, ასევე მჭიდროდ დაკეცილი, ტრიკოტაჟის ტიპის მეტალის ბადით. ამის შედეგად ხდება არა მარტო რეფლექტორის დაკეცილი პაკეტის დიამეტრის მატება, არამედ რგოლის გამშლელი ძალოვანი ბაგირების შესვებაც.

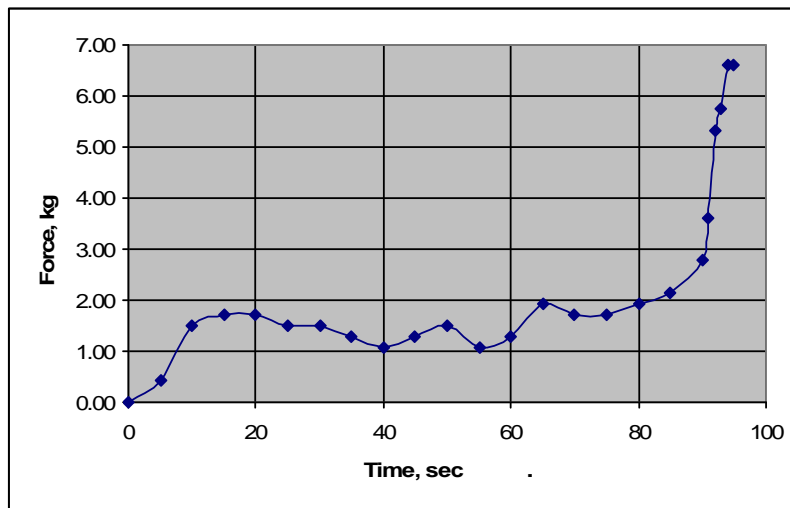
ამის შემდეგ ირთვება ელექტროამძრავები და 8 ამძრავი იწყებს ძალოვანი ბაგირის დახვევას – დაჭიმვას. საწყის ეტაპზე მოშვებული ბაგირების დაჭიმულ მდგომარეობამდე მიყვანისათვის  $3 \div 5$  წამია საჭირო, შემდეგ კი იწყება რეფლექტორის გახსნა სამტატო რეჟიმით.

გახსნის პროცესის დიაგრამა, რეფლექტორის რადიუსის ზრდისა დროსთან დამოკიდებულებით, ნაჩვენებია ფიგ. III.12–ზე.

გამშლელი რგოლის ექსპერიმენტულად შესწავლისას მნიშვნელოვანი იყო მისი გაშლისას დაუსრულებელი ტრანსფორმაციის პროცესების დასრულებული ტრანსფორმაციის პროცესად გადაქცევა, რაც კონსტრუქციული ხერხებით არის შესაძლებელი, ასევე რგოლის დგარების გაღუნვის ეფექტის არსებობა და რგოლის ჩარჩოსებრი სტრუქტურის შეფასებები.



ფიგ. 1.7. – რეფლექტორის გაშლის დიაგრამა რეფლექტორის რადიუსის ზრდის დამოკიდებულებით გახსნის დროსთან.



ფიგ. 1.8 – რეფლექტორის რგოლის გამშლელ, ერთ-ერთ ბაგირში დაჭიმულობის სიდიდის ცვალებადობა გამლის დროსთან დამოკიდებულებით.

რეფლექტორის გახსნის დრომ შეადგინა 95 წამი. რეფლექტორის გახსნის პროცესში ასევე შემოწმდა გამშლელ ბაგირში დაჭიმულობის ძალა, რომელიც გამლის მთელ პროცესში იცვლებოდა 11 ნიუტონიდან 19 ნიუტონამდე. გახსნის ბოლო მომენტში, როდესაც მოქნილი ცენტრი იწყებს დაჭიმვას და აღწევს საპროექტო მდგომარეობას, დაჭიმულობა ბაგირში ძალიან სწრაფად იმატებს და აღწევს 65 ნიუტონს (ფიგ. 1.8).

აღსანიშნავია, რომ წარმოდგენილი ბაგირის დაჭიმულობისა და გამლის დროს შორის დამოკიდებულების კანონზომიერებისგან დანარჩენ ბაგირებში დაჭიმულობის ცვალებადობა მერყეობს 5%-9% ფარგლებში.

როგორც ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა კვლევებმა აჩვენა, რეფლექტორის გამლის მთელ პროცესში, გარდა მისი ბოლო ეტაპისა, როცა დაჭიმვას იწყებს მოქნილი ცენტრი, პანტოგრაფის ბოლოები უმნიშვნელო ძალის მოქმედებითაც გადაადგილდებიან დგარის გასწვრივ, რაც იწვევს რგოლის გამლას. ეს ეფექტი მოდელში მიღწეულ იქნა იმითაც, რომ პანტოგრაფის ბოლოების ცილინდრულ სახსარში შემაერთებული კვანძის გადაადგილება დგარის მიმართ, რაც „სრიალის“ შთაბეჭდილებას ტოვებს, რეალურად ხორციელდება გრძივი ბაგირების გამოყენებით, რომელიც საშუალებას იძლევა „სრიალის ხახუნის“ შეცვლას „გორვის ხახუნით“, რაც გაცილებით ნაკლებ დანახარჯებს იწვევს ხახუნის მხრივ.

გამშლელი რგოლის ექსპერიმენტულად შესწავლისას მნიშვნელოვანი იყო მისი გამლისას დაუსრულებელი ტრანსფორმაციის პროცესების დასრულებული

ტრანსფორმაციის პროცესად გადაქცევა, რაც კონსტრუქციული ხერხებით არის შესაძლებელი, ასევე რგოლის დგარების გაღუნვის ეფექტის არსებობა და რგოლის ჩარჩოსებრი სტრუქტურის შეფასებები.

გამშლელი რგოლის გაშლის დაუსრულებელი ტრანსფორმაციის პროცესიდან, რაც პანტოგრაფული სტრუქტურის მქონე რგოლების ერთ-ერთი დამახასიათებელი თვისებაა, რგოლის გადაკეთება დასრულებული ტრანსფორმაციის მქონე კონსტრუქციად მოცემულ შემთხვევაში აუცულებელია და იგი მრავალი პირობებით არის მოთხოვნილი.

ეს ფაქტორები, როგორც ადრე აღინიშნა, განპირობებულია გაჭიმული დამყოლი ცენტრის არსებობით და ასევე რგოლის გაშლისას პანტოგრაფული ბერკეტების „მოსრიალე“ და ბოლოების კვანძების არათანაბარი გადაადგილებით სხვადასხვა სექციებში, რაც უპირატესად გამოწვეულია გაშლის ძალოვანი ბაგირის მიერ პანტოგრაფების სხვადასხვა სექციებში განვითარებული სხვადასხვა გამშლელი ძალებით.

ექსპერიმენტმა წარმოაჩინა რგოლის უარყოფითი თვისება. რგოლის დგარები, მართალია დრეკადობის ფარგლებში, მაგრამ მაინც იღუნება, რაც გამოწვეულია ცენტრალური გაჭიმული ნაწილიდან გადამცემელი ძალებისაგან და თვით რგოლის სტრუქტურიდან (ფიგ. I.9).

ექსპერიმენტულად დადგინდა, რომ დგარები გარდა შეკუმშვისა ასევე განიცდიან მღუნავი მომენტის  $M=2,93Nმ$  ზემოქმედებას. აღნიშნული ფაქტორებისაგან დგარების მაქსიმალური გადახრა\_ჩაღუნვა რგოლის დგარების გრძივი ღერძიდან შეადგენს  $\delta = 1,27$  მმ-ს.

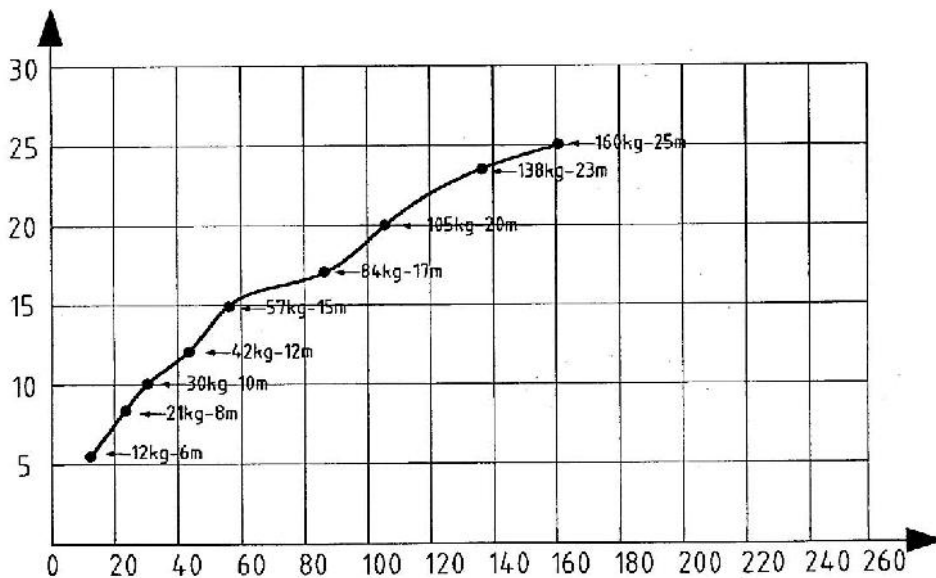
როგორც ექსპერიმენტულმა კვლევებმა აჩვენა, გამშლელი რგოლი ფუნქციონალური მოდელისა ორივე შემთხვევაში წარმოადგენს გეომეტრიულად უცვლელ სტრუქტურას და იგი არ საჭიროებს დამატებით კონსტრუქციულ ღონისძიებებს გეომეტრიული უცვლელობის მისაღწევად, რაც რგოლის დადებით თვისებებს წარმოადგენს.



**ფიგ. 1.9. \_ გამშლელი რგოლის დგარები, რეფლექტორის გაშლილ მდგომარეობაში, დრეკადობის ფარგლებში იღუნება**

საბოლოო ჯამში ოთხი მეტრი დიამეტრის მქონე, გასაშლელი რეფლექტორის ფუნქციონალური მოდელის წონამ, იმის გათვალისწინებით, რომ რგოლის კვანძები და სხვა ელემენტები შესრულებული იყო ალუმინის შენადნობებისაგან, ფოლადისაგან და სხვა მასალებისაგან, რომელთა შერჩევასაც არ იყო წონის ფაქტორები გათვალისწინებული, შეადგინა 48, 720 კგ.

ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების მასალების და შექმნილი ფუნქციონალური მაკეტის საფუძველზე ორპანტოგრაფიანი სტრუქტურის გამშლელრგოლიანი და მოქნილი, გაჭიმული ცენტრის მქონე რეფლექტორის საფრენოსნო ვარიანტის წონასა და რეფლექტორის დიამეტრს შორის დამოკიდებულებები, სადაც ასევე ჩანს, რომ აღნიშნული რეფლექტორის წონა „კოსმოსური“ შესრულებით რამოდენიმეჯერ ნაკლებია მოცემული ფუნქციონალური მოდელის წონასთან (ფიგ. I. 10).



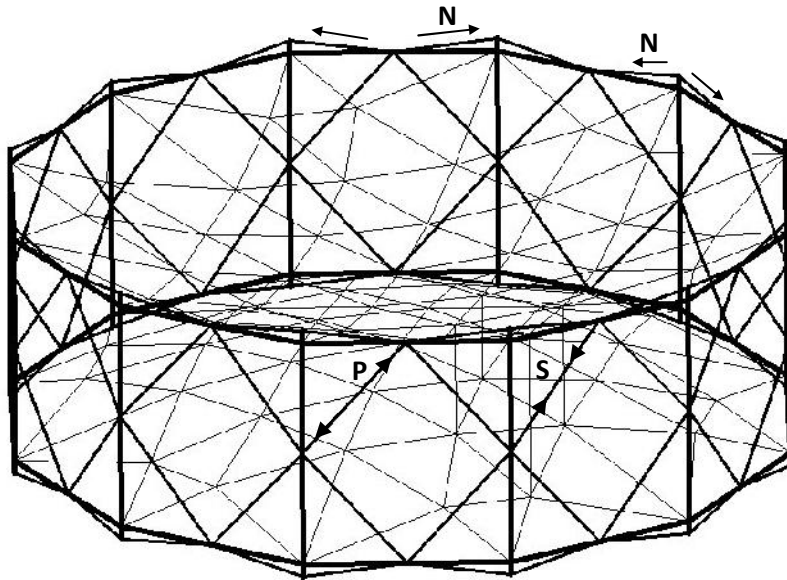
ფიგ. I. 10. - ორპანტოგრაფიანი სტრუქტურის გამშლელრგოლიანი და მოქნილი, გაჭიმული ცენტრის მქონე გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორის წონები დიამეტრთან დამოკიდებულებით.

მეოთხე თავში განხილულია ვანტურ-ღეროვან რგოლიანი და მოქნილი, გაჭიმულ ცენტრიანი გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორზე ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევები. ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგებმა აჩვენა ის, რომ ელექტროამძრავებით და გამშლელი ბაგირით აღჭურვილი გამშლელი „ჩასატეხ ღეროებიანი“ რგოლი აღმოჩნდა პერსპექტიული.

გასაშლელი რგოლის სარტყელები დამზადებული იყო 12 მმ-ის დიამეტრის მქონე ნახშირპლასტის მილებისაგან, ხოლო დგარები 14 მმ დიამეტრის მქონე ასევე ნახშირპლასტის მილებისაგან. კვანძის არეალი შესრულებულია ალუმინის შენადნობისაგან. ამისათვის, როგორც სარტყელის, ასევე დგარის ნახშირპლასტის ღეროებზე წამატებულია კვანძის დაბოლოების მილისები (ვტულკები).

იმისათვის, რომ დაცული იქნას რეფლექტორის სტრუქტურაში ყველა მოქნილი ძაფის და ვანტის დაჭიმულობა, განვიხილოთ სივრცითი მაგალითი.

რგოლში ძალოვანი ფაქტორების აღძვრის მხრივ, უმთავრესი ფუნქციის მატარებელია დგარის ზედა და ქვედა ბოლოებზე განთავსებულ გორგოლაჭებზე გადატარებული და „ჩატეხვის კვანძში“ განთავსებულ გორგოლაჭებზე შემოტარებული ბაგირი, რომელიც ელექტროამძრავის დოლზე დახვევით იწვევს რგოლის გაშლას.



**ფიგ. I.11 – რეფლექტორის სტრუქტურაზე ზემოქმედი ძალების და წარმოშობილი ძალების ზოგადი სქემა.**

N – ძალა ძალოვან ბაგირში; S – გამჭიმავი ძალები ბაგირებში;  
P – მკუმშავი ძალვა ბაგირებში.

გაშლის მთელ პროცესში და გაშლის შემდეგ ე. წ. ფუნქციონალურ მდგომარეობაში ძალოვანი დაჭიმული ბაგირი არ წარმოადგენს სისტემის „მუშა ელემენტს“, რომელიც მის მუშაობაში უშუალოდ არის ჩართული. ძალოვანი ბაგირი მხოლოდ და მხოლოდ, ასე ვთქვათ, გარე დატვირთვების სახით, შეყურსული ძალებით ზემოქმედებს რგოლის სტრუქტურაზე (ფიგ.I.11), განაპირობებს მის გაშლას და ირიბანების წინასწარ დამაბვას.

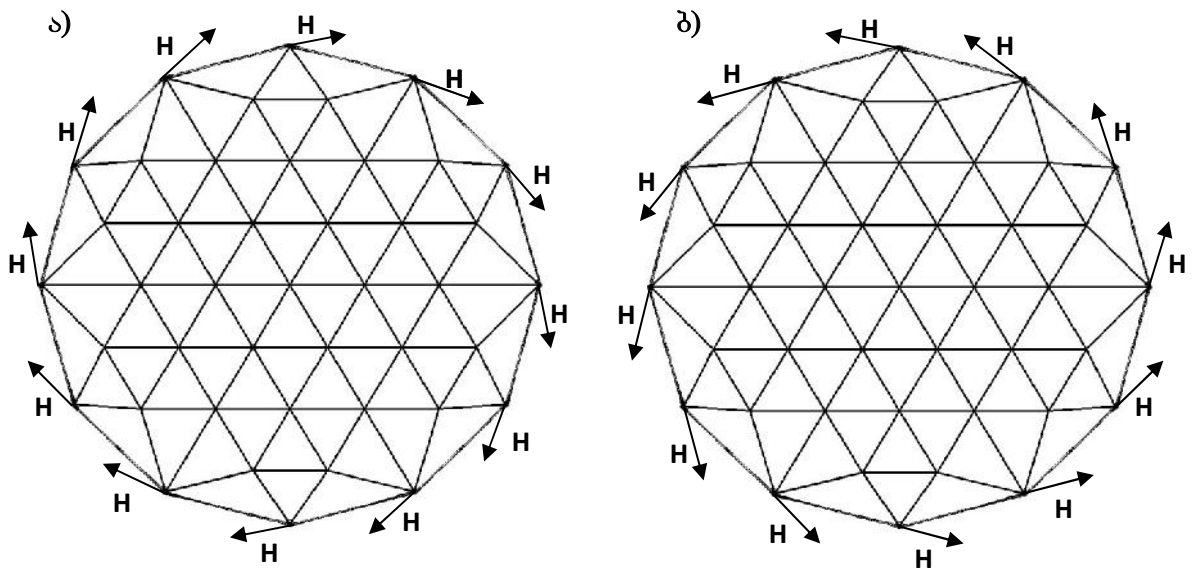
განხილულ კვანძებში შეკრებილია სხვადასხვა ფუნქციის კონსტრუქციული ელემენტები. პირველ რიგში აღსანიშნავია სარტყელის ბერკეტის დგართან მიერთების, სივრცეში ორიენტაციის უნარის მქონე, მოძრავი ცილინდრული სახსრების კონსტრუქცია, რომელიც საშუალებას იძლევა აღნიშნული კვანძის შეუცვლელად გამშლელი რგოლი განხორციელდეს ასევე წაკვეთილი პირამიდის ფორმით, ამასთან რგოლის მოხაზულობა ორივე შემთხვევისათვის გეგმაში შეიძლება იყოს როგორც წრიული, ასევე ელიფსური მოხდა რეფლექტორის სივრცითი სტრუქტურის სრული გაანგარიშება.

დაისვა კითხვა: როგორია გამშლელ ბაგირში გამჭიმვი ძალის სიდიდეები და რა ძალით ჭიმავს – ძაბავს იგი რომლის ფორმით განთავსებულ ბაგიროვან სისტემას – ირიბანებს. მათი დაჭიმვა იქნება კი საკმარისი იმისათვის რომ, მათში სხვა

ძალოვანო ფაქტორებისაგან გამოწვეულმა მკუშავმა ძალებმა არ გადააჭარბოს მათი წინასწარ დაჭიმულობით წარმოქმნილ გამჭიმავ ძალებს.

ამ მიზნით მოხდა რეფლექტორის სივრცითი სტრუქტურის სრული გაანგარიშება.

N ძალა მიჩნეული იქნა 10 კგ-ს ტოლი. ამ დროს ირიბანებში აღძრული გამჭიმავმა ძალამ შეადგინა  $S=+1,47$  კგ-ი.



ფიგ. 1.12. –რგოლის ზედა და ქვედა სარტყელების კვანძებში რგოლზე მგრეხავი ძალების მოდების სქემა.

როგორც რეფლექტორის რგოლის სექციათა ანგარიშმა აჩვენა ბაგროვან ღეროებში მკუშავი ძალების სიდიდემ მიაღწია 0,825 კგ-ს. ასეთი სიდიდის მკუშავი ძალვა არ იწვევს 1,47 კგ-ით გაჭიმული ბაგროის მუშაობის შეწყვეტას – ანუ სიდიდე რჩება წინასწარდამდებული, სტრუქტურულად რკვევადი და გეომეტრიულად უცვლელი.

მოცემული ფაქტორების სრული გათვალისწინებით მოხდა ვანტურ- ღეროვანი გასაშლელ რგოლიანი და მოქნილ-გაჭიმულ ცენტრიანი გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორის 6 000 მმ დიამეტრის მქონე კონსტრუქციის ექსპერიმენტული ვარიანტის გაშლა „გაუწონადობის“ მექანიკურ სტენდზე (ფიგ. IV.16).

ამის შემდეგ, რგოლის ზედა და ქვედა კვანძებზე მიღებული იქნა რგოლის ზედა და ქვედა სარტყელის სიბრტყეში მოქმედი მგრეხავი ძალები – , რომლის სიდიდე განისაზღვრა 1 კგ-ის ტოლად (ფიგ. IV.15).





**ფიგ. 1.13. - ვანტურ-ღეროვანი გასაშლელ რგოლიანი, მოქნილი დაჭიმულ ცენტრიანი გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორის ექსპერიმენტული ვარიანტის გაშლის 12-კადრიანი ფოტო-ციკლოგრამა.**

მრავალგზის ჩატარებულმა, რეფლექტორის გაშლა-დაკეცვის ექსპერიმენტულმა კვლევამ წარმოაჩინა ვანტურ-ღეროვანი რგოლიანი, ელექტრომექანიკური სისტემით გასახსნელი, მოქნილი, დაჭიმულ ცენტრიანი, გასაშლელი რეფლექტორის გაშლის პროცესების სტაბილურობა. გაშლის ყველა პროცესი იყო კონტროლირებადი, მართვადი, უსაფრთხო და, რაც მთავარია, პროგნოზირებადი.

გაშლის დრო, იმისდა მიხედვით თუ როგორი იყო გამშლელი ძალოვანი ბაგირის დახვევის სიჩქარე ელექტროამპრავის მბრუნავ დოლზე, იცვლებოდა 2-დან 7 წუთამდე.

მიღებული საბოლოო შედეგები მოცემულია ძირითად დასკვნებში.

## ძირითადი დასკვნები

1. შეიქმნა ზემსუბუქი, “ჩასატეხლეროებიანი”, ელექტროამძრავიანი გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორი, რომელმაც უზრუნველყო რეფლექტორის გაშლის პროცესის და მისი საექსპლოატაციო ფორმის გარანტირებული, კონტროლირებადი, მართვადი, პროგნოზირებადი, უსაფრთხო და სტაბილური პროცესები.
2. ახალი ტიპის, ზემსუბუქი რეფლექტორის შექმნა განაპირობა ნაგებობაში კარკასული საყრდენის, გამშლელი ძალოვანი რგოლის ოპტიმალურმა კონსტრუქციულმა გადაწყვეტამ და მისმა ლოგიკურმა შეთავსებამ ცენტრალურ გაჭიმულ ნაწილთან.
3. გასაშლელი ძალოვანი რგოლის ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევა განაპირობა მასში ფერმული ტიპის, გეომეტრიულად უცვლელი და სტატიკურად რკვევადი ელემენტების გამოყენებამ, რომლებიც მუშაობენ მხოლოდ კუმშვაზე და კაჭიმვაზე.
4. ამასთან, რგოლში შექმნილი დაძაბულ-დეფორმაციული სურათი მისი კონსტრუქციისა განაპირობებს შეკუმშული ელემენტების მინიმალურ რაოდენობას და დაჭიმული, მოქნილი ღეროებისაგან, ვანტებისაგან დამზადებული ელემენტების ახალი კონსტრუქციული სქემით განლაგებას.
5. რგოლში გაჭიმული ელემენტების რაოდენობაც არის მინიმალური, რაც აუცილებელია სისტემის გეომეტრიული უცვლელობისათვის, ხოლო მისი დამჭიმავი ძალა კონსტრუქციულ სისტემაში წარმოდგენილია ვანტურ-ღეროვანი სისტემის კვანძებზე მოქმედი გარე, შეყურსული ძალის სახით.
6. სისტემა არის ზემსუბუქი, ხისტი და ზუსტი გეომეტრიული პარამეტრების, რაც აუცილებელი პირობაა რეფლექტორის ამრეკლი ეკრანის საექსპლოატაციო ფორმის მისაღწევად.
7. რეფლექტორულ სისტემას გააჩნია ამრეკლი ზედაპირის სიზუსტის რეგულირების საშუალება.

აღსანიშნავია, რომ განხილული ვანტურ-ღეროვანი, ელექტროამძრავიანი რგოლის და მოქნილი გაჭიმული ცენტრის მქონე გასაშლელი კოსმოსური რეფლექტორის 6 000 მმ დიამეტრიანი ექსპერიმენტული ვარიანტის წონამ შეადგინა 12 კგ. მაშინ, როდესაც არსებობს შემდგომი ხედვები მისი კონსტრუქციის ოპტიმაციზაციისა და მიღწეული წონის კიდევ უფრო შემსუბუქებისა.

## სამეცნიერო შრომების სია

1. N. Tzignadze, N. Medzmariashvili, O. Tushishvili, L. Philipenko, A. Jakhua. "Deployable space reflector with v-fold bar deployable ring, which deployment is carried out with motors". Georgian Technical University transactions #3(489), ISSN 1512-0996, Tbilisi 2013.
2. E. Medzmariashvili, L. Datashvili, N. Medzmariashvili, O. Tusishvili, A. Jakhua, M. Sanikidze. "V-fold bar deployable ring with deployable bearing ring". Engineering - System Science; Research Paper, 2013, 7 Pages. <http://www.grin.com/en/e-book/231704/v-fold-bar-deployable-ring-with-deployable-bearing-ring>
3. N. Medzmariashvili, E. Medzmariashvili, N. Tzignadze, O. Tusishvili, J. Santiago-Prowald, C. Mangenot, H. Baier, L. Scialino, L. Philipenko. "Possible options for jointly deploying a ring provided with V-fold bars and a flexible pre-stressed center". CEAS Space Journal of European Aerospace Societies: CEAS Space Journal: Volume 5, Issue 3 (2013), Page 203-210. <http://link.springer.com/article/10.1007/s12567-013-0037-6>
4. M. Sanikidze, E. Medzmariashvili, L. Datashvili, O. Tusishvili, N. Medzmariashvili. V-fold bar deployable ring with deployable bearing ring. 10 p., 2013. [WWW.grin.com](http://www.grin.com).
5. პატენტი P 5979 - „სეტყვისაგან მცენარეთა დამცავი მოწყობილობა, კერძოდ, ვენახებისათვის“. მ. სანიკიძე, ე. მეძმარიაშვილი, ნ. წიგნაძე, ნ. მეძმარიაშვილი. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი, საქპატენტი, 2014.
6. პატენტი P 6066 – „მექანიზებული ხიდი და ხიდის დამწყობი“. მ. სანიკიძე, ე. მეძმარიაშვილი, ნ. წიგნაძე, ნ. მეძმარიაშვილი. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი, საქპატენტი., 2014.
7. Patent USA - Medzmariashvili Elguja, Tzignadze Nodar, Medzmariashvili Nikoloz, Datashvili Leri, Ihle Alexander, Santiago Prowald Julian B, Van't Klooster Cornelis. "Deployable antenna frame" Publication number of the invention US2015288072 (A1), 08.10.2015. Int. cl. H01Q1/12; H01Q15/16.
8. M. Sanikidze, O. Tusishvili, N. Medzmariashvili, G. Gratiashvili. The new, more accurate technological method to create reflecting surface of reflector. Georgian Technical University, Publishing House "Technical University", Transactions, Tbilisi, 2014, #1 (491), pp. 98-105. [www.gtu.ge/publishinghouse/](http://www.gtu.ge/publishinghouse/).
9. E. Medzmariashvili, M. Sanikidze, O. Tusishvili, G. Gratiashvili, N. Medzmariashvili. Erection cycle of deployable space reflectors using the functional and technological screen mesh. The 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference – Advanced Lightweight Structures and Reflector Antennas, ESA/Technische Universitaet Muenchen/GTU, Tbilisi, Georgia, 1-3 October, 2014, -13 p.

## Abstract

In the first chapter, various constructional systems are discussed, which exploitation forms, in order to stretching, are reached and held. The point of position of their architecture is working systems, which all elements are being stretched and, withal, their exploitation form is reached with stretching. Stretched constructional systems, as one of the direction of building field, are also stretched transformable constructional structure. We should mention, that in a space buildings, “stretched architecture” – stretched transformable, constructional structure has an exceptional meaning. “Stretched architecture” has many significant and prior features, but, among them, minimal weight, formchanging skill with transformation method and variety of exceptional architectural forms is distinguished.

Stretched structure minimal weight is reached as constructional elements are always stretched, even if they collect compression power from external power. That's why, as stretching is a working position of constructional elements, their constructional material rigidity is maximally used. So, unlike stretched elements, where according to lengthwise flexion factors, the necessity of reducing tensile force is dominating, foreseeing losing stability terms, coping material solidity is maximally occurred in stretched elements. Besides, because of mentioned factors, there is no high and ultrahigh unhappy conditions of using solid material, which more lightens stretching constructional system.

Stretched structures bearing elements are made:

- Of threads, which really should be lengthwise elements made of wires, ropes, cables, flexible elements.
- Of nets, which consists of mutual crossed and connected threads to each other at the point of crossing.
- Of membrane, which is near to net with its physical nature and they are idealized as nets, which abutting knots are located endlessly near to each other.

Here is discussed systems, which form is reached with fastening stretched constructional structure to stationary, constant and unalterable form of constructional system, which can advantageously cope compression powers. Such system consists of two main parts - transformable, stretched constructional structures, which is fastened to stationary, constant or unalterable form of systems. Stretched constructional structure has an ability to occur transformation with material originality - be spreaded or folded and reach project form in a stretching result.

In the second chapter, it is discussed constructional logic of ultralight, large-size deployable space reflector. Creating large size deployable reflectors and their investigation, mainly, is held in ring, rib, module and pneumo systems.

On given stage, from mentioned systems, its prioritable ring, support-frame systems with a center of stretched cable. Finding out its priority, positive features and also, existing defect is reflected in logic of ultralight, deployable, big-size space reflectors. In itself, as we've mentioned, frame-ring transformable systems consists of support frame - extensor ring; powerful rings towards flexible center; reflective screen fastened on it and contact zone, which occurs between interdependence rings and flexible center.

Constructional logic of creation of new generation large-size deployable space reflector refers to three components and its contact zone of ring systems - support-frame transformable systems, also, its energetic of deployment.

The purpose of construct logic is creation of large-size deployable reflector, which weight will be minimized and construction will preserve all features, which are necessary for space reflectors - precision, rigidity, less deformation, stability of transformation process and reliability, of minimal size of folded reflector and etc.

The purpose of logic is support - frame, systemdevelopment research of flexible pretensed center structure in circle system reflectors and determination of changes, which flexible center will become more flexible, geometrically precise and it will have minimal weight. Flexible center stretched structure will optimally considered in large size space deployable reflectors. Geometrically unalterable condition of structure is not its radian or diversly located elements, which have big vertical rigidity, but nets having triangular cells, made of flexible cable-stayed, located on opposite side of deployable ring, which are concaved towards each other, fixated by up and down rope tensions located between connective knots of cable-stayed stalks.

In this construction, stretching of rope tension is a powerful factor, which strains involved nets in the fixed form and size deployable ring. Stable structure form is kept by stretching all these stalks.

Support-frames, which are occurred with deployable powerful ring, from spreading kinetics side, would be of finished transformation type and unfinished transformation one. Finished transformation powerful ring constuctions, mostly, have belts for its full length-perimeter sizefixation, which should be rigid stalks, also cable-stays. Deployable powerful ring structures with unfinished transformation skill, mostly, is occurred without up and down belts.

Performed schemes are pointing on that after removing belts, ring constructions are gaining skill to be transformed from finished transformation into rings with ability of

unfinished transformation. In this case, they have ability to continue spreading process and create powers, which stretches flexible center.

In the second chapter, it is discussed what requests are shown to deployable space reflectors: reducing weight is the most important task, which is more strongly strengthened in the case of offset reflectors, which are connected to the space apparatus from side. In such condition, increasing reflector mass causes necessity of stabilized moment increase on a space apparatus. With all other factors, carrying increased mass reflectors on orbit with space apparatus, also, is connected to increased financial sources, which causes increasing expenditure of space programme. Constructional elements, fragments and self-waving frequency of reflectors should be equal to marginal frequency; construction of reflector would provide, during established period, saving and transforming folded package, at the stage of deployment, at the time of form fixation and in spreaded-functioned condition keeping reliable parameters and satisfying project exploitation data; reflector full cost should be minimized; for space reflector, minor deformation in large and varying temperature conditions of its consisting elements are important and etc.

In the third chapter of dissertation, schemes of new generation space deployable reflectors are discussed, principles of their construction are processed, their demonstrational and functional models are projected, made and tried.

For this direction, reflectors built according to two main schemes of finished transformation deployable ring were discussed:

- Pantograph structure with deployable powerful ring with stretching, flexible center located in two rows.
- V-fold bar deployable powerful ring with stretching, flexible center.

In the process of researchment, according to the main schemes, reflector forms of truncated pyramids and prism were investigated, which have circular or ellipse outline in the plan.

In the experimental researches, attention was paid to support frame deployable electroengine and spring mechanisms of powerful ring - stretched center reflector and processes caused by their action.

The task of experimental researches was estimation how shown design of reflector functional features are similar to intended one, and also, definition of specific issues, which will be paid exceptional attention for the future improvement of constructions.

With the listed tasks, experimental research had an aim to carry out the next researchments of issues:

- Opening control, maintenance and reliability of reflector;

— The speed of opening reflector and etc.

During the experimental investigation of deployable ring, it was important to transform unfinished transformation processes into finished transformation one, which is possible with the constructional method, also existence of ring support bending effect and estimation of ring framable structure.

In the fourth chapter is discussed experimental investigations on cable-stayed ring and flexible, stretched center deployable space reflectors. The results of held experiments showed that V-fold bar ring equipped with electrogears and deployable cable turned up perspective.

The belts of deployable ring were made of carbonplastic tubes with the diameter of 12mm, struts made of carbonplastic tubes with the diameter of 14 mm. Knot area is fulfilled with aluminium alloy. For this, as on belts, also on the ribs of strut carbonplastic, there are added hubs of knot ending.

In the discussed knots, different function constructional elements are collected together. In the first place, its notable the connection of belt to lever strut, ability of space orientation, moving cylinder joint construction, which gives an ability to deployable ring to become truncated pyramid without knot alteration, besides, ring outline, for both case of plan, should be circular and ellipse.

Wholly calculation of reflector space structure had been occurred.

Reflector deploying-folding experimental investigation showed cable-stayed ring, opening with electromechanic system, flexible, stretched center opening processes stability of deployable reflector. All processes of opening were controlable, maintainable, safe and pognosticative.

Opening time, according to what kind the speed of waving opening powerful cable was on the moving drum of electrogears, was changing from 2 to 7 minutes.

Ended results are shown in the main conclusions.