

ალექსანდრე წაქაძე

ექსპლუატაციაში მყოფი შენობა-ნაგებობების ზღვრული  
მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის კვლევა დაზიანებების  
გათვალისწინებით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
29 დეკემბერი 2011 წელი

საავტორო უფლება © 2011 წ, წაქაძე ალექსანდრე

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით წაქაძე ალექსანდრეს მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: ექსპლუატაციაში მყოფი შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის კვლევა დაზიანებების გათვალისწინებით და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი მ. წიქარიშვილი

რეცენზენტი: სრული პროფესორი თ. ხმელიძე

რეცენზენტი: სრული პროფესორი მ. ყალაბეგაშვილი

რეცენზენტი:

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## წელი

ავტორი: წაქაძე ალექსანდრე

დასახელება: ექსპლუატაციაში მყოფი შენობა-ნაგებობების  
ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის  
კვლევა დაზიანებების გათვალისწინებით

ფაკულტეტი : სამშენებლო

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 29 დეკემბერი 2011 წელი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ  
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის  
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების  
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც  
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან  
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი  
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო  
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა  
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ  
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია  
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს  
პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

დღევანდელ დღეს აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს ექსპლუატაციაში მყოფი შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის კვლევა დაზიანებების გათვალისწინებით, მათი მონიტორინგის, დიაგნოსტიკის და აღდგენის კომპლექსური სისტემების შემუშავება და დანერგვა სამშენებლო პრაქტიკაში.

დასმული პრობლემის გადაჭრის გზად მიგვაჩნია შემდეგი: მონიტორინგის სისტემის, როგორც ტიპიური ინსტრუმენტის შექმნისათვის უნდა ჩამოყალიბდეს მიზანი. აუცილებელია შეიქმნას მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის სისტემა საბაზო ვარიანტში, რომელიც ითვალისწინებს, როგორც მინიმუმ ყველა ტიპიური საცხოვრებელი შენობის კონტროლს. მონიტორინგის საბაზო ვარიანტი უნდა უზრუნველყოფდეს ძირითადი პარამეტრების კონტროლს, რომლებიც შეაფასებენ პოტენციური ავარიების უფრო მეტად გავრცელებულ მიზეზებს. აუცილებლობისას საბაზო ვარიანტს უნდა ჰქონდეს გაფართოების შესაძლებლობა, როგორც კონტროლის წერტილების რაოდენობის მიხედვით, ისე საკონტროლო კონსტრუქციების სახეობის მიხედვით, აგრეთვე საკონტროლო პარამეტრების სიის მიხედვით.

ნაშრომის სრული მოცულობა 150 გვერდი, იგი მოიცავს შესავალს, ოთხ თავს, დასკვნასა და ლიტერატურას, რომელიც 50 დასახელებისგან შედგება.

შესავალში წარმოდგენილია თემის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.

პირველ თავში განხილულია შენობა-ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის არსებული მეთოდები.

მეორე თავში განხილულია შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის მეთოდოლოგიის დამუშავება დაზიანებათა გათვალისწინებით. ბოლო დროს აქტუალური ხდება შენობა-ნაგებობების მონიტორინგი და

დიაგნოსტიკა, მათი უსაფრთხოების უზრუნველყოფის და რესურსის გაგრძელების ანალიზის მზარდ აუცილებლობასთან დაკავშირებით.

მესამე თავში დამუშავებულია შენობა-ნაგებობების საშიში დეფორმაციების მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის სისტემები.

მეოთხე თავში მოცემულია გამოკვლევის შედეგების პრაქტიკული გამოყენების რამოდენიმე მაგალითი.

დისერტაციის სამუშაოების შედეგები დანერგილია პრაქტიკულ საინჟინრო სამუშაოებში ქ. თბილისში შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის მსვლელობისას.

## **Abstract**

Today the actual problem represents in the investigation of marginal state and remaining life of being in operation building with taking into account damages, development of their monitoring, diagnostics and complex restoration systems and implementation in construction practices.

For solving way of put problems we considered the following: for development of monitoring system as typical tool would be aimed a goal. It is necessary to develop a monitoring and diagnostic system for the basic version that includes as a minimum control over all typical dwelling house. In the basic version of monitoring should be provided the basic control parameters that would be evaluate more common causes for potential accidents. The basic version will to have the opportunity to expand the number of control points as well as by types of controled structures and according to control parameters list.

The total volume of work makes up to 150 pages, it includes an Introduction, four chapters, conclusion and references, that consists from 50 titles.

In the Introduction is presented the relevance of topic, scientific novelty and practical value of the work.

In the first is considered building technical state monitoring and diagnostics existing methods.

In the second chapter is considered development of buildings marginal state and remaining life monitoring and diagnostic methodology with taking into account damages. In recent times topical is building's monitoring and diagnostics, in order to provide their security and necessity of life prolongation analysis.

In the third chapter is developed the building hazardous deformations monitoring and diagnostic systems.

In the fourth chapter are stated the results of several cases of research practical application.

The results of dissertation works are implemented in practical engineering work at carrying out the building's monitoring in Tbilisi city.

## შინაარსი

შესავალი . . . . .	13
1. შენობა-ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის არსებული მეთოდების მიმოხილვა . . . . .	16
1.1. პრობლემები და ამოცანები შენობა-ნაგებობების ექსპლუატაციისას . . . . .	16
1.2. შენობა-ნაგებობების დეგრადაციის და რემონტის დაგეგმვის პროგნოზირების არსებული მეთოდოლოგია . . . . .	20
1.3. დეფორმაციების და ბზარების მონიტორინგის არსებული მოწყობილობები და სისტემები . . . . .	26
1.4. შენობების და სამშენებლო კონსტრუქციების მონიტორინგის სისტემები . . . . .	33
1.5. სისტემები და მოწყობილობები მონიტორინგისათვის . . . . .	36
2. შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის მეთოდოლოგიის დამუშავება დაზიანებათა გათვალისწინებით . . . . .	40
2.1. შესავალი . . . . .	40
2.2. შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის შესწავლა დაზიანებების გათვალისწინებით . . . . .	41
2.3. დაზიანებული შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოება, ხანგამძლეობა და მარაგი (რესურსი) . . . . .	54
3. შენობა-ნაგებობების საშიში დეფორმაციების მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის სისტემების დამუშავება . . . . .	61
3.1. შესავალი . . . . .	61
3.2. მონიტორინგის სისტემის განხორციელების ბლოკ-სქემა . . . . .	62
3.3. შენობების და ნაგებობების სივრცითი დეფორმაციის მონიტორინგი . . . . .	67

4.	გამოკვლევის შედეგების პრაქტიკული გამოყენება . . . . .	102
4.1.	ქ. თბილისში ყიფშიძის ქ. №20ა-ში მდებარე საცხოვრებელი შეიღსართულიანი შენობა . . . . .	102
4.1.1.	სამუშაოს მიზანი . . . . .	102
4.1.2.	შენობის კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის სამუშაოების შემადგენლობა . . . . .	103
4.1.3.	შენობის კონსტრუქციის ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა . . . . .	104
4.1.3.1.	შენობის ძირითადი არქიტექტურული და კონსტრუქციული განსაკუთრებულობები . . . . .	104
4.1.3.2.	მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის ვიზუალური და ინსტრუმენტალური გამოკვლევის შედეგები . . . . .	105
4.1.4.	შენობის სივრცითი დეფორმაციის გეოდეზიური მონიტორინგი . . . . .	110
4.1.4.1.	ს-მოდელის გარე საკონტროლო კვანძების გადაადგილების მონიტორინგი . . . . .	110
4.1.4.2.	ს-მოდელის შიგა კონტროლირებადი კვანძების ჯდომის მონიტორინგი . . . . .	112
4.1.4.3.	გეოდეზიური მონიტორინგის შედეგების ანალიზი . . . . .	113
4.1.5.	შენობის კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება . . . . .	115
4.1.5.1.	საწყისი მონაცემები სემ-ანგარიშისათვის . . . . .	115
4.1.5.2.	შენობის სემ-მოდელის აგება ЛИРА 9.6-ში . . . . .	116
4.1.5.3.	შენობის საბაზისო სემ-მოდელის ანგარიშის შედეგების ანალიზი . . . . .	119
4.1.5.4.	შენობის კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე ჯდომითი პროცესების გავლენის სასრულ ელემენტთა მეთოდის მოდელირება . . . . .	122
4.1.5.5.	გადაადგილებების მოქმედებაზე სემ-მოდელის მიმდინარე დეფორმაციული ანგარიშის შედეგების ანალიზი . . . . .	125
4.2.	სხვა ტიპის ობიექტებისათვის ს-მოდელის გამოყენების შესაძლებლობა . . . . .	127



4.2.1.	შესავალი . . . . .	127
4.2.2.	ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე ხუთსართულიანი საცხოვრებელი სახლის მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის დადგენა . . . . .	128
4.2.2.1.	შესავალი . . . . .	128
4.2.2.2.	მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების ვიზუალური შესწავლა	129
4.2.2.4.	მინაშენის, სივრცითი კარკასის მზიდი კონსტრუქციების და მათი შემაერთებელი კვანძების, გამოკვლევის შედეგად გამოვლენილი დეფექტები, კოროზიის ხარისხის დადგენა . . . . .	133
4.2.3.	მინაშენის და ძირითადი შენობის საძირკვლის და ფუძის რეალური ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენა . . . . .	137
4.2.4.	მინაშენის მზიდი კონსტრუქციული სისტემის კომპიუტერული გაანგარიშება სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებზე . . . . .	138
4.2.5.	კვლევისა და გაანგარიშების შედეგების ანალიზი, დასკვნა-რეკომენდაციები . . . . .	141
	დასკვნა . . . . .	144
	გამოყენებული ლიტერატურა . . . . .	146

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.1. ელემენტების მდგომარეობის კატეგორიის განზოგადებული  
მასსიათებლები

ცხრილი 3.1.

## ნახაზების ნუსხა

- ნახ. 2.1. ზღვრული და უსაფრთხო მდგომარეობების სქემა ბზარის მაგვარი დეფექტებით დაზიანებული მაღალი რისკის ობიექტებზე ავარიების და კატასტროფების ექსპერტიზისას
- ნახ. 2.2. ბზარების განვითარებასთან დაკავშირებული დაზიანებული ტექნიკური სისტემების რესურსი
- ნახ. 3.1. სამშენებლო მონიტორინგის ორგანიზაციის სქემა
- ნახ. 3.2. შენობების და ნაგებობების ფუძეების დეფორმაციის გეოდეზიური გაზომვის მეთოდები
- სურ. 3.3. ტახეომეტრის საერთო ხედი
- ნახ. 3.4. მონიტორინგის ობიექტის ს-აზომვა
- ნახ. 3.5. ნაგებობის დეფორმაციის კონტროლის ს-მოდელის გარე და შიგა კონტროლირებადი კვანძები
- ნახ. 3.6. დეფორმაციის და ჯდომის მანიშნები ა) ბრტყელი თვითწებვადი დეფორმაციის მანიშნები ბ) კედლის ჯდომის მანიშნის მოწყობილობა
- სურ. 3.7. სამგანზომილებიანი ლაზერული მზომი
- ნახ. 3.8. ს-მოდელის ვერტიკალური სვლის ტაქეომეტრული აზომვა
- ნახ. 3.9. ს-მოდელის კვანძების სივრცითი კოორდინატების განსაზღვრა
- ნახ. 3.10. ს-მოდელის ვერტიკალური საკეტის სივრცითი გადაადგილება
- ნახ. 3.11. გაზომვების დასაშვები ცდომილების განსაზღვრა ГОСТ 24846-81
- ნახ. 3.12. MONITORING მოდულის ალგორითმის ბლოკ-სქემა
- სურ. 4.1. შენობის ფასადი
- სურ. 4.2. შენობის ჰორიზონტალური გადაადგილება
- სურ. 4.3. ფუძე-გრუნტის ჯდომის შედეგად გაჩენილი ბზარი
- სურ. 4.4. შენობის კედელზე განვითარებული ბზარი
- სურ. 4.5. შენობის ძირითად ნაწილსა და მიშენებას შორის განვითარებული ბზარი
- ნახ. 4.6. საყრდენი გეოდეზიური ქსელის სქემა
- ნახ. 4.7. მე-18 წერტილში ჰორიზონტალური გადაადგილებების მნიშვნელობები
- ნახ. 4.8. შენობის სემ-მოდელის შესახებ ინფორმაცია
- სურ. 4.9. შენობის სემ-მოდელის აქსონომეტრიული სახე
- ნახ. 4.10. შენობის სემ მოდელის პროექტირებული სახე

- ნახ. 4.11. კბ 1-3 დეროვანი ელემენტების ფეროვანი კლასიფიკაცია
- ნახ. 4.12. კბ 1-3 კონსტრუქციებში მღუნავი მომენტების და გრძივი ძალების ეპიურა
- ნახ. 4.13. შენობის კონსტრუქციების ვერტიკალური გადაადგილებები მუდმივი და დროებითი საანგარიშო დატვირთვებისგან
- ნახ. 4.14. შენობის გადაადგილება საანგარიშო დატვირთვებისგან (H-1) და საყრდენების მოცემული ჯდენით (H-2) ზედა კონტროლირებადი კვანძების დონეზე
- ნახ. 4.15. შენობის განივი ჩარჩოს დეფორმაციის სქემა
- სურ. 4.16
- სურ. 4.17
- სურ. 4.18
- სურ. 4.19
- სურ. 4.20
- სურ. 4.21
- სურ. 4.22
- სურ. 4.23
- სურ. 4.24
- სურ. 4.25
- სურ. 4.26
- სურ. 4.27
- სურ. 4.28
- სურ. 4.29
- სურ. 4.30

## შესავალი

თანამედროვე მშენებლობა ხასიათდება მაღალი ტემპებით და დიდი მოცულობით, აგრეთვე ახალი გადაწყვეტების აქტიური დანერგვით მშენებლობის ყველა ეტაპზე. აღნიშნული ტენდენციები უდაოდ წარმოადგენს დადებით ფაქტს, თუმცა, სწორედ თანამედროვე მშენებლობა ხასიათდება ავარიების გაზრდილი რიცხვით. საქმე იმაშია, რომ რთული მათემატიკური მოდელების განვითარებამ მაღალი კლასის გამოთვლით ტექნიკასთან ერთად ჩამოაყალიბა ილუზია, თითქოს შესაძლებელია ნებისმიერი არასტანდარტული კონსტრუქციის გაანგარიშება მაღალი სიზუსტით. რეალობა კი ისეთია, რომ საანგარიშო მოდელის აგების უკან დგას კონკრეტული გარდაქმნის სადაო პრობლემები, კერძოდ სამშენებლო კონსტრუქციების მასალების მახასიათებლების სტატისტიკური გაფანტვა, განსაკუთრებით საძირკვლის ქვეშა გრუნტებში. ასევე დამატებით უნდა აღინიშნოს, რომ სამშენებლო მასალები, რომლებსაც შეიცავს კონსტრუქცია, ფლობენ ხანდაზმულობის სხვადასხვა სიჩქარეს და ამის ხარჯზე მცირდება მთლიანობაში კონსტრუქციის ხანგამძლეობის შეფასების სარწმუნოება.

დასმული პრობლემების გამოყოფა და გადაწყვეტა განპირობებულია, პირველ რიგში, იმით, რომ კონსტრუქციების მზიდი ძლიერ დატვირთული ელემენტების მსხვილმასშტაბიანი მექანიკური დაზიანებები დარღვევები, როგორც წესი იწვევენ გარკვეულ ზარალს.

შექმნილი სიტუაციიდან ერთ-ერთ გამოსავალს წარმოადგენს ახალი თაობის უსაფრთხოების სისტემების შექმნა. უსაფრთხოების არსებული სისტემები შეიცავს ძლიერ შეზღუდულ სტანდარტულ ნაკრებს: სახანძრო-დამცავი სიგნალიზაცია და ვიდუოდაკვირვების სისტემა. ინტელექტუალური არქიტექტურის სახლები აღჭურვილია, დამატებით ექსპლუატაციის მონიტორინგის სხვადასხვა ელემენტებით: გაუნვების გადამცემებით, საინჟინრო ქსელების კონტროლით და სხვა. თუმცა სამშენებლო კონსტრუქციების მონიტორინგის სისტემები რეალური დროის რეჟიმში დღეს ქვეყანაში არ არსებობს.

ამგვარად, დღევანდელ დღეს აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს შენობა-ნაგებობების დაზიანებული კონსტრუქციების

ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის მონიტორინგის, დიაგნოსტიკის და აღდგენის კომპლექსური სისტემების შემუშავება და მათი დანერგვა სამშენებლო პრაქტიკაში.

ჩვენი კვლევების ძირითად სამეცნიერო ამოცანებს წარმოადგენს: დაზიანებების დაგროვების პროცესების კვლევა, კონსტრუქციების ელემენტების რეაქცია გარე და შიგა (მათ შორის ავარიულ) ზემოქმედებებზე, ზღვრული მდგომარეობის თეორიის გამოყენებით კონსტრუქციის ელემენტების კრიტიკულსწინა ქმედების პროცესი. ძლიერ მნიშვნელოვანია სამი ძირეული პრინციპის შემუშავება, რომელთა შემდგომი დანერგვა პრაქტიკაში საშუალებას მოგვცემს აღკვეთოს მსხვილმასშტაბიანი რღვევები. ეს პრინციპებია ხარისხის უზრუნველყოფა, პერიოდული ან უწყვეტი დიაგნოსტიკის და ოპერატიული ანალიზის უზრუნველყოფა.

ჩვენი დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს ექსპლუატაციაში მყოფი შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის მონიტორინგის, დიაგნოსტიკის და აღდგენის კომპლექსური სისტემის შექმნა. მოცემული სისტემა წარმოადგენს უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მრავალფუნქციურ ინსტრუმენტს სხვადასხვა დანიშნულების სამშენებლო ნაგებობებისათვის. ფლობს რა შესაძლებლობების ფართო სპექტრს, სისტემა განკუთვნილია ტექნოგენური ან ბუნებრივი ხასიათის მოვლენების შესაჩერებლად მშენებლობაში შესაძლო ავარიული მოვლენების განვითარების ყველა სტადიაზე.

მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდგეში:

- შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის კომპლექსური მეთოდოლოგიის დამუშავება;
- შესაბამისი მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის სისტემების დამუშავება; მონიტორინგის სისტემის განხორციელების ბლოკ-სქემა;
- ავარიული მოვლენის ლიკვიდაციის რიცხვითი და ანალიზური მოდელირების ხერხების დამუშავება;

- ოპერატიული ღონისძიებების რეალიზაციის სხვადასხვა სცენარების შემთხვევაში მოვლენის განვითარების პროგნოზირების მეთოდის შექმნა.

დასმული პრობლემის გადაჭრის გზად მიგვანია შემდეგი: მონიტორინგის სისტემის, როგორც ტიპური ინსტრუმენტის, შექმნისათვის უნდა ჩამოყალიბდეს მიზანი. აუცილებელია შეიქმნას მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის სისტემა საბაზო ვარიანტში, რომელიც ითვალისწინებს, როგორც მინიმუმ ყველა ტიპური საცხოვრებელი შენობის კონტროლს. მონიტორინგის საბაზო ვარიანტი უნდა უზრუნველყოფდეს ძირითადი პარამეტრების კონტროლს, რომლებიც შეაფასებენ პოტენციური ავარიების უფრო მეტად გავრცელებულ მიზეზებს. აუცილებლობისას საბაზო ვარიანტს უნდა ჰქონდეს გაფართოების შესაძლებლობა, როგორც კონტროლის წერტილების რაოდენობის მიხედვით, ისე საკონტროლო კონსტრუქციების სახეობის მიხედვით, აგრეთვე საკონტროლო პარამეტრების სიის მიხედვით.

ნაშრომის აპრობაცია: ნაშრომის შედეგები მოხსენებულია საერთაშორისო-სამეცნიერო ტექნიკურ კონფერენციაზე „სამშენებლო მექანიკის პრობლემები“ 2010 წელი, ხოლო მთლიანი ნაშრომის მიმოხილვითი და ძირითადი ნაწილები მოხსენებულია სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ ორ სემინარზე.

პუბლიკაციები: ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 15 სამეცნიერო სტატიაში.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა: ნაშრომის სრული მოცულობა 150 გვერდია, იგი მოიცავს შესავალს, ოთხ თავს, დასკვნასა და ლიტერატურას, რომელიც 77 დასახელებისგან შედგება.

# 1. შენობა-ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის არსებული მეთოდების მიმოხილვა

## 1.1. პრობლემები და ამოცანები შენობა-ნაგებობების ექსპლუატაციისას

დასმული პრობლემის გამოყოფა და გადაწყვეტა განპირობებულია, პირველ რიგში, იმით, რომ კონსტრუქციების მზიდი ძლიერდატვირთული ელემენტების მსხვილმასშტაბიანი მექანიკური დაზიანებები და რღვევები, როგორც წესი იწვევენ მაქსიმალურ ზარალს. ამა თუ იმ ავარიული სიტუაციის რეალიზაციიდან მიღებული ჯამური ზარალი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული კონსტრუქციების, მოწყობილობების, დაცვის სისტემების და სხვათა ელემენტების რღვევის ან მექანიკური დაზიანების ხარისხზე. მაგალითად, აშშ-ს სტანდარტების ნაციონალური ბიუროს მონაცემების მიხედვით აშშ-ს ეკონომიკაში ჯამური ხარჯები, დაკავშირებული კონსტრუქციების გაუთვალისწინებელი რღვევებისგან მიყენებული ზარალის ანაზღაურებასთან, აგრეთვე რღვევების აღკვეთისკენ მიმართულ ღონისძიებებთან, შეადგენს ათეულ და ზოგჯერ ასეულ მლნ დოლარს წელიწადში.

შენობა-ნაგებობების ავარიული მდგომარეობის წარმოქმნის მნიშვნელოვანი მიზეზები მდგომარეობს შემდეგში:

- ანგარიშის და კონტროლის თანამედროვე მეთოდების, თანამედროვე ტექნოლოგიების არასაკმარისი დანერგვა, აგრეთვე მოძველებული ნორმების და სტანდარტების გამოყენება;
- უსაფრთხოების პრობლემასთან თანამედროვე სამეცნიერო მიდგომების არასაკმარისი შემუშავება და გამოყენება;
- პრინციპულად ახალი უდევექტო მაღალი სიმტკიცის კონსტრუქციების და მაღალ სიცოცხლისუნარიანობის მასალების არარსებობა.



ამგვარად, მექანიკური კატასტროფების ფარგლებში შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოების და ხანგამძლეობის უზრუნველყოფის და ანალიზის მეცნიერული საფუძვლების შექმნა საკმაოდ პერსპექტიულია.

მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის მეთოდები – ესაა სიმტკიცის თეორიული მდგომარეობის და პრინციპების მეცნიერული მოდელების ერთობლიობა, მათ შორის ბზარების, დიდი პლასტიკური დეფორმაციების, ექსტრემალური დატვირთვების, დინამიკური ეფექტების, ფიზიკური წარმოშობის და კოროზიული არეებიდან გამომწვეული დაზიანებების ჩათვლით. ამას გარდა, დაზიანებების და რღვევების თავდაპირველ და შემდგომ სტადიებს შეუძლიათ გამოიწვიონ ავარიული სიტუაციების განმეორებითი გამოვლინება, ისეთები, როგორცაა რადიაციული და ტოქსიკური ნივთიერებების გამოტყორცნა, აფეთქებები, ხანძრები და ა. შ. ეს გამოვლინებები მნიშვნელოვნად ართულებენ კატასტროფული რღვევების შემდგომი სტადიების მექანიკის ანალიზს. ამიტომ ჩვენი კვლევები ეყრდნობა სიმტკიცესთან მოსაზღვრე საგნების თეორიულ დასკვნებს და ექსპერიმენტულ შედეგებს, ისეთებს, როგორცაა აფეთქებების თეორია, აირების და სითხეების მექანიკა და ა.შ. ამგვარად, რღვევის მექანიკის დამაკავშირებელი პრობლემები მნიშვნელოვან ადგილს იკავებენ ჩვენს კვლევებში.

რღვევის მექანიკა, როგორც ფუნდამენტალური სამეცნიერო დისციპლინა ტექნიკურ დიაგნოსტიკაში, უნდა განვიხილოთ სამეცნიერო საფუძვლის სახით, რომელიც გამოიყენება მომატებული პოტენციური საშიშროების რთულ შენობა-ნაგებობებში ავარიული და კატასტროფული სიტუაციების გაჩენის წყაროების და განვითარების სცენარების ანალიზისათვის. ამასთან დაკავშირებით ჩნდება დიდი მოცულობის კვლევების ჩატარების აუცილებლობა, რომელიც დაკავშირებულია კატასტროფების და ავარიების გაჩენის და განვითარების სხვადასხვა სტადიებზე სიმტკიცის, რესურსის და საიმედოობის კრიტერიუმების მიხედვით ობიექტების ზღვრული მდგომარეობის გაჩენის პირობების შესწავლასთან. ავარიების და კატასტროფების სცენარების ანალიზი უნდა განხორციელდეს

ეტაპობრივად ტრადიციული საინჟინრო მიდგომების უწყვეტი განვითარების გათვალისწინებით:

- სიმტკიცეზე, სიხისტეზე და მდგრადობაზე (მასალების წინააღმდეგობის მეთოდების გამოყენებით);
- სიმტკიცეზე და ციკლურ რესურსზე, ხანგამძლეობაზე (მრავალი და მცირე ციკლური დადლილობის თეორიების მეთოდების გამოყენებით);
- სიმტკიცეზე და დროებით რესურსზე, ხანმედგობაზე (დენადობის და ხანგრძლივი სიმტკიცის თეორიების მეთოდების გამოყენებით);
- დინამიკურ სიმტკიცეზე და რესურსზე (დეფორმირების და რღვევის დინამიკის მეთოდების გამოყენებით);
- ბზარმედგობაზე (რღვევის წრფივი და არაწრფივი მექანიკის მეთოდების გამოყენებით);

ამასთან მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის ფარგლებში გამოიყენება:

- ზემოთხსენებული თეორიების და დისციპლინების ანალიზური მეთოდები;
- რიცხვითი მეთოდები (სასრულ ელემენტთა, სასრულ სხვაობათა მეთოდები, ვარიაციული მეთოდები);
- ექსპერიმენტალური მეთოდები (ნიმუშების, მოდელების და ნატურული კონსტრუქციების მექანიკური ცდები);
- კომბინირებული მეთოდები (ანალიზურის, რიცხვითის და ექსპერიმენტალურის ერთობლიობა).

მაქსიმალური ჰიპოთეზური ავარიების აქტიური შემუშავება საშუალებას იძლევა მოხდეს მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის ფარგლებში შენობა-ნაგებობების შესწავლის შემდეგი პირველი რიგის ამოცანების ფორმულირება:

- სისტემის ელემენტებზე მოქმედი გარე დატვირთვების სისტემის დადგენა როგორც ნორმალურ, ისე ავარიულ პირობებში მისი ექსპლუატაციის რეალური პირობებიდან გამომდინარე;

– ძლიერ დატვირთული მზიდი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლა გარე და შიგა დინამიური დატვირთვების გათვალისწინებით;

– შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციების ელემენტების, სიმტკიცის, დაზიანების და შესაძლო რღვევის მასშტაბების შეფასება;

– ასეთი დაზიანებების და რღვევების შედეგების შეფასება;

– კატასტროფული და საშიში დაზიანებებისაგან გამომწვეული შესაძლო ზარალის შემცირების ან გამორიცხვისათვის რეკომენდაციების და ზომების შემუშავება.

ძლიერ მნიშვნელოვანია სამი ძირეული პრინციპის შემუშავება, რომელთა შემდგომი დანერგვა პრაქტიკაში საშუალებას მოგვცემს აღკვეთოს მსხვილმასშტაბიანი რღვევები. ეს პრინციპებია ხარისხის უზრუნველყოფა, პერიოდული ან უწყვეტი დიაგნოსტიკის და ოპერატიული ანალიზის უზრუნველყოფა. უარესი შემთხვევის დაშვება.

ხარისხის უზრუნველყოფის პრინციპი მეტყველებს შენობა-ნაგებობების ელემენტების საიმედოობის მაღალი ხარისხის მიღწევის აუცილებლობაზე მასალების არჩევის, ტექნოლოგიური დამუშავების, წარმოების ხარისხის გარანტიის, ექსპლუატაციის და სხვათა ხარჯზე.

უარესი შემთხვევის დაშვების პრინციპი მიუთითებს შესაძლო ავარიული სიტუაციის შესწავლის აუცილებლობაზე, ჰიპოთეზური ავარიის განხილვის ჩათვლით, ამასთან ამ პრინციპის შესაბამისად აუცილებელია ორიენტირება მოხდეს გარემოებების ყველაზე არახელსაყრელ განვითარებაზე.

პერიოდული ან უწყვეტი დიაგნოსტიკის და ოპერატიული ანალიზის პრინციპი შეიცავს შენობა-ნაგებობების ელემენტებში გადახრების ადრეულ აღმოჩენასთან და შესაძლო შემდგომი ექსპლუატაციის გადაწყვეტილების მიღებასთან დაკავშირებულ ამოცანებს.

## 1.2. შენობა-ნაგებობების დეგრადაციის და რემონტის დაგეგმვის პროგნოზირების არსებული მეთოდოლოგია

რემონტის პროგნოზირების მეთოდოლოგიის ამოცანებს წარმოადგენს: ბიუჯეტის ანგარიში სამოქალაქო ნაგებობების შენახვასა და რემონტებზე უახლოეს წელიწადში; ბიუჯეტის საორიენტაციო ანგარიში (პროგნოზირება) და ოპტიმიზაცია შენახვისა და მათი რემონტებისათვის დასაგეგმ პერიოდში, მათ შორის არსებული ბიუჯეტური შეზღუდვების ჩათვლით, რომელიც შეიცავს ნაგებობის დეგრადაციის პროგნოზს გეგმიური პერიოდის განმავლობაში; სარემონტო ზემოქმედებების არარსებობა, სარემონტო ზემოქმედებების შესრულება ოპტიმიზირებული გარაფიკის მიხედვით, რემონტების შესრულების გრაფიკის განსაზღვრა, სპეციალური გამოკვლევების ჩატარება და შესაბამისი საპროექტო დოკუმენტაციის გამოშვება [27].

ანგარიშის ობიექტს წარმოადგენს სატიტულო სიის საზღვრებში ნებისმიერად შერჩეული ნაგებობა. არჩევა ფორმირდება სპეციალური პროცედურის მიხედვით და ეწოდება “დაგეგმვის ობიექტი”.

დასაგეგმ პერიოდს წარმოადგენს 1÷99 წლამდე დროის არჩეული მონაკვეთი, ამასთან ათვლის დასაწყისი იქნება რემონტის დღე, თუმცა რეალური სიზუსტის ჩათვლით, დაკვირვების დასაგეგმი პერიოდის ხანგრძლივობის განსაზღვრა რეკომენდებულია 10–15 წლით.

დასაგეგმი პერიოდი ჩვეულებრივ იყოფა ორ ეტაპად და მაჩვენებლების ანგარიში ამ ეტაპების მიხედვით წარმოებს სხვადასხვა ალგორითმით. ეს დაყოფა დასაბუთებულია ოთხი, პრინციპულად განსხვავებული სახეობის მოქმედებების არსებობით, სამოქალაქო საინჟინრო ნაგებობების შენახვისა და რემონტების მიხედვით, რომლებიც შეიცავენ:

- რუტინულ სამუშაოებს: დასუფთავება, მცირე სეზონური რემონტი;
- დანიშნული სარემონტო ზემოქმედებები ე.ი. სამუშაოები, ადრე არ იყო დაგეგმილი, მაგრამ რომლებიც აუცილებელია ჩატარდეს შემდეგი ინსპექციის ჩატარების მომენტამდე;

- დაგეგმილი სარემონტო ზემოქმედებები, რომელთა აუცილებლობა ადრევე იქნა გამოვლენილი და გათვალისწინებული მოცემულ პერიოდში შესრულებისათვის;
- პროგნოზირებული სარემონტო ზემოქმედებები, რომლებიც საჭიროა შენობების საჭირო დონეზე შენარჩუნებისათვის, მათი ბუნებრივი დეგრადაციის გათვალისწინებით მთელი დაგეგმილი პერიოდის განმავლობაში.

მოცემული კლასიფიკაციიდან ჩანს, რომ დასაგეგმი პერიოდის პირველ წელიწადზე ან შემდეგი ინსპექციის ჩატარების მომენტამდე ( $F_1$ ) ფინანსური მოთხოვნილება, განსაზღვრული I, II, III სახეობების ზემოქმედებებით, რომელიც გათვლილი უნდა იყოს მაღალი სიზუსტით. ფინანსური მოთხოვნილება მეორე წლიდან პერიოდზე ( $F_2$ ), განსაზღვრული I და IV სახეობის ზემოქმედებებით, შეიძლება მხოლოდ ვივარაუდოთ ე.ი. უნდა გამოითვალოს მიახლოებით, რამდენად ძალაშია სამოქალაქო ნაგებობების კონსტრუქციების, სტანდარტული ელემენტების ცვეთის, რემონტისათვის გამოყენებული მასალების სხვადასხვაობა, აგრეთვე გათვალისწინებული სიტუაციების გაჩენა. ამიტომ ხანგრძლივი გეგმიური პერიოდის განმავლობაში III სახეობის ზემოქმედების ზუსტად გამოანგარიშება შეუძლებელია.

ამგვარად მთელი გეგმიური პერიოდის ბიუჯეტი განისაზღვრება როგორც

$$F = F_1 + F_2 \quad (1.1)$$

ანგარიშის შედეგებში წარმოებს ობიექტის დეგრადაციის პროგნოზირება მთელ გეგმიურ პერიოდზე.

სარემონტო ზემოქმედებების დაგეგმვა მთელ გეგმიურ პერიოდზე, დაწყებული მეორე წლიდან, გამოითვლება დეგრადაციული მოდულის მიხედვით, გამომდინარე მდგომარეობის ფაქტიური კატეგორიის ინსპექციური ფორმის და ელემენტების დაშვების კატეგორიის მითითებიდან, აგრეთვე მდგომარეობის ზღვრულად დასაშვები კატეგორიის დანიშნულებიდან. ბიუჯეტის საორიენტაციო ანგარიში გეგმიური პერიოდის ყოველ (დაწყებული მეორე წლიდან) წელიწადზე, რომელშიც გათვალისწინებულია: დასუფთავება, სეზონური რემონტი და

შენახვა ინგარიშება ნაგებობის ფართობის მიხედვით ახალი სამშენებლო ნაგებობების ექსპლუატაციაში ჩაშვების გათვალისწინებით, აგრეთვე თანმხლები ხარჯების ავარიული მომსახურების შემცველობაზე და ტრანსპორტზე.

შემდგომში განიხილება ხარჯები სპეციალურ გამოკვლევებზე და საპროექტო სამუშაოებზე, რომელიც აუცილებელია სარემონტო სამუშაოების მოსამზადებლად და საორიენტაციო ხარჯები დანიშნული სარემონტო სამუშაოების შესრულებაზე.

ბიუჯეტის ანგარიში შემდეგ წელიწადზე ითვალისწინებს: დასუფთავებას, შენახვას, სეზონურ რემონტებს, თანმხლებ ხარჯებს ტრანსპორტის და ავარიული მომსახურების შენახვაზე (ზემოთ აღნიშნულის ანალოგიურად), აგრეთვე ხარჯებს ინსპექციის სამსახურის მიერ დანიშნული სარემონტო ზემოქმედებების შესრულებაზე და ხარჯებს წინასწარ დაგეგმილ სპეციალურ გამოკვლევებზე და საპროექტო სამუშაოებზე, რომლებიც აუცილებელია სარემონტო სამუშაოების შესრულების მოსამზადებლად, რაც განისაზღვრება როგორც პროცენტი სარემონტო ზემოქმედებების საორიენტაციო ღირებულებიდან.

დამატებით ჩაითვლება ხარჯები წინასწარ დანიშნულ და დაგეგმილ სარემონტო ზემოქმედებების შესრულებაზე, რომლებიც გათვალისწინებულია სარემონტო დოკუმენტაციის საფუძველზე.

ბიუჯეტის ანგარიშის და სარემონტო ზემოქმედებების დაგეგმვის შედეგები არჩეული სტრატეგიისათვის წარმოდგენილია, როგორც მთლიანობაში ობიექტის დასაგეგმად ისე მასში შემავალი ყოველი ნაგებობისათვის. საძიებო მონაცემების გამოყენებით ყოველი კონკრეტული ნაგებობის შედეგების ანალიზისას შეიძლება დავაზუსტოთ სტრატეგია და ვაწარმოოთ ახალი ანგარიში სარემონტო დანიშნულების კორექტირებული ცხრილების ბაზაზე. ეს გახსნის იტერაციული დაგეგმვის დამატებით შესაძლებლობას.

**სტანდარტული ელემენტების დეგრადაციის  
აღწერა სარემონტო ზემოქმედებების არარსებობისას**

სამოქალაქო საინჟინრო ნაგებობების და კერძოდ მათი ელემენტების ფუნქციონალური თვისებების დარღვევის ხანგრძლივი შესწავლის საფუძველზე დადგენილია, რომ განხილული შემთხვევისათვის ცვეთის ნებისმიერი რაოდენობრივი მახასიათებლის ცვლილება შეიძლება იყოს აღწერილი დროის მონაკვეთის მიხედვით განსაზღვრული ფუნქციით  $[0, T]$ .

$$I = e^{\lambda(t-T_0)} = 1 \quad (1.2)$$

სადაც:  $I$  – ნორმატიული ფარდობითი ცვეთა;

$t$  – დროის მიმდინარე მომენტი, წელი;

$T$  – მუშაობის ნორმატიული ვადა, წელი;

$T_0$  – დეფექტების გარეშე ექსპლუატაციის პერიოდი, წელი;

$\lambda$  – ზღვრული პირობიდან გამომდინარეობის ნორმირების კოეფიციენტი

$$\frac{I}{t} = T = 1 \quad (1.3)$$

ანუ ყოველი სტანდარტული ელემენტისათვის:

$$\lambda = 0.693 / (T - T_0) \quad (1.4)$$

სინამდვილეში სხვადასხვა ელემენტების ზღვრულ მდგომარეობას შეესაბამება ფარდობითი ცვეთის სხვადასხვა აბსოლუტური მნიშვნელობები (ჩვეულებრივ 70–100%-ის დიაპაზონში), რომლებიც დაინიშნებიან კონსტრუქციული ნაგებობებიდან. შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ”მუშაობის ნორმატიულ ვადას” შეესაბამება “ზღვრული მდგომარეობა”, გაგებული როგორც 100% ნორმატიული ცვეთა ( $I = 1$ ).

ტექნიკური მდგომარეობის დეგრადაციის მთელი დიაპაზონი დახასიათებული ნორმატიული ცვეთის ( $I$ ) ცვლილებით, იყოფა 5 კატეგორიად: სამი ძირითადი და ორი შუალედური, ცხრილი 1.1-ის შესაბამისად.

ცხრილი 1.1. ელემენტების მდგომარეობის კატეგორიის განზოგადებული მახასიათებლები

კატეგორია	მახასიათებლები	მაქსიმალური ცვეთა $I_0, \%$
1	2	3
1	ნორმალური ფუნქციონირება, დამაკმაყოფილებელი გარე სახე	20
1.5	შუალედური 1	40
2	ნორმალური ფუნქციონირების დარღვევა, გან-საზღვრულ დატვირთვების ან/და მოძრაობების შეუძლებლობა, არადამაკმაყოფილებელი გარე სახე, შემდგომი ექსპლუატაცია ნეგატიურად მოქმედებს მზიდ ელემენტებზე	60 (დასაშვები)
2.5	შუალედური 2	80
3	ცალკეული ელემენტების მტყუნება, საჭიროა დატვირთვების და/ან მოძრაობის შეზღუდვა, ცუდი გარე სახე	100 (ზღვრული)

ყველა ელემენტის ფაქტიური მდგომარეობის იდენტიფიკაცია წარმოებს მასზე ამა თუ იმ “მდგომარეობის კატეგორიის” მიკუთვნების გზით. შემდგომი ანგარიშისათვის მიიღება, რომ ელემენტის ფაქტიური ცვეთა ტოლია

$$I = 0.5 (I_p(i) + I_p(i + 1)) \quad (1.5)$$

სადაც:  $i$  – მდგომარეობის კატეგორიის ნომერი;

$I_p(i)$  –  $i$ -ური კატეგორიის მაქსიმალური ცვეთა.

მაგალითად, თუ ელემენტს მიეკუთვნება მდგომარეობის “2” კატეგორია, მისი ფაქტიური ცვეთა გაიგება როგორც 50%, თუ მდგომარეობის “2.5” კატეგორია – 70%.

ელემენტის მდგომარეობის შემდგომ პროგნოზირებას აწარმოებენ რაოდენობრივი ცვეთის მაჩვენებლებში. ამგვარად, ცნება “მდგომარეობის კატეგორია” საჭიროა მხოლოდ ელემენტის ცვეთის



დონის იდენტიფიკაციისათვის და ამ მიზნით ისაზღვრება დეგრადაციის პროგნოზის სიზუსტე.

ითვლება, რომ რაც უფრო მაღალია მდგომარეობის კატეგორიის რიცხვი, მით უფრო შესაძლებელია ელემენტის დეგრადაციის უფრო ზუსტი პროგნოზირების მიღწევა. აქ ამოცანა მდგომარეობს, იმაში, რომ კატეგორიის დეტალური დაყოფა მოითხოვს ნაგებობის უფრო შრომატევად და ხანგრძლივ გამოკვლევას. სამოქალაქო ინჟინერული ნაგებობების ექსპლუატაციის მუშაობის რეალური შესაძლებლობების, აგრეთვე დაგროვილი გამოცდილების გათვალისწინებით დადგენილია, რომ 3-5 კატეგორიიანი დაყოფა იძლევა დამაკმაყოფილებელი სიზუსტის უზრუნველყოფის საშუალებას.

$i$ -ური მდგომარეობის საზღვრებში ელემენტის მუშაობის დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$(T_p)_i + (In[(I_p)_i + 1]) = I_n [(I_p)_i + I] / \lambda \quad (1.6)$$

თუ  $i > 1$   $i = 1$ -სას

$$(TP)_i = 1 / \lambda In[(I_p)_i + 1] + T_0 \quad (1.7)$$

ფარდობითი (პროცენტული) ცვეთის მიხედვით მდგომარეობის კატეგორიის შეფასებისას ნარჩენი რესურსის მნიშვნელობის გამოთვლა მოსახერხებელია ნებისმიერი მიმდინარე ცვეთის სიდიდისათვის ( $I_i$ ):

$$R = T - T_0 + 1 / \lambda In(I_i + 1) \quad (1.8)$$

თუ  $T_0 = 0$ , მაშინ

$$R = T - 1 / \lambda In(I_i + 1) \quad (1.9)$$

მაშინ, რადგანაც ამ შემთხვევაში  $\lambda = 0.693 / T$

ნარჩენი მარაგის ფარდობითი სიდიდე შეადგენს

$$R' = R / T = 1 - 1.443 In(I_i + 1) \quad (1.10)$$

(1.8)–(1.10) ფორმულები საშუალებას გვაძლევენ გამოვითვალოთ ელემენტის ნარჩენი მარაგი მუშაობის მთელ პერიოდში რემონტების არარსებობის პირობისას.

ამასთან უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ეს მაჩვენებლები ემყარება “ნორმატიული ანგარიშის” ცნებას, ხოლო უკანასკნელი, განსაზღვრის მიხედვით, გამოიყენება მხოლოდ ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში, ე.ი. როდესაც ნაგებობების ყველა ელემენტი ინარჩუნებს მუშაუნარიანობას.

### **13. დეფორმაციების და ბზარების მონიტორინგის არსებული მოწყობილობები და სისტემები**

სამშენებლო კონსტრუქციების ხანგამძლეობა პირდაპირაა დამოკიდებული ძალოვან ზემოქმედებებზე და გარემოს გავლენაზე. ექსპლუატაციის დროს რკინაბეტონის ძალური წინაღობის განმასხვავებელ განსაკუთრებულობას წარმოადგენს მისი ანიზოტროპია და შეუქცევადობა, აგრეთვე არაწრფივი არათანაბარი დეფორმაციულობის რეჟიმ-მემკვიდრეობითი სპეციფიკაცია. რეალურ დროში დამდგარი დომინანტური მდგენელი მიმართულია ქალაქის ინფრასტრუქტურის ნაგებობების რენოვაციის და რეკონსტრუქციის მოცულობების ზრდისაკენ. მათ რიცხვში შედის: ტრანსპორტის და ფეხითმოსიარულეთა მიწისზედა და მიწისქვედა ჩაწყობის კვანძები; სანაპირო არხების საყრდენების კედლები, ნაგებობები რელიეფის სტაბილურობის შენარჩუნებისათვის; საინჟინრო ნაგებობების მრავალრიცხოვანი სპექტრი. ცხადია, რომ სამოქალაქო აგლომერაციის სტაბილური და ავარიის გარეშე განვითარება შეუძლებელია ქალაქის არსებული და ახლად აშენებული საინჟინრო ინფრასტრუქტურის მონიტორინგის სისტემის ჩალაგების გარეშე. მონიტორინგის სისტემის ერთ-ერთი მდგენელი შეიძლება იყოს ნაგებობისა და კონსტრუქციის დეფორმაციების და ბზარების ანალიზი [27,28,29,30].

დეფორმაციის თანამედროვე მონიტორინგი შეიძლება ჩატარდეს ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სისტემის გამოყენებით. ამ სისტემის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: სინათლის სხივი აღწევს ოპტიკურ ბოჭკოში, რომელსაც აქვს მკვეთრი გადაღუნვა. სინათლის სხივის ნაწილი იკარგება, გადის რა ბოჭკოს კედელში, იმ დროს როცა მისი

მეორე ნაწილი აირეკლება უკანვე სინათლის წყაროს მხარეს. ეს გადაღუნვა მიიღება სამი ბოჭკოს სპეციალური ხერხით გადახლართვით ისე, რომ წარმოიქმნას კაბელი. კაბელის ახლოს გადაღუნვა ე.წ. “მიკროღუნვის მხარე”, იჭიმება, რადგან ბოჭკოები დაძაბულია დიდი რაოდენობის სინათლის არეკვლის შედეგად [36].

დროის ნებისმიერ მომენტში შეიძლება განისაზღვროს გადამწოდის გადახრა თავდაპირველი მდგომარეობიდან გამოსხივებული და არეკლილი სინათლის კონის ინტენსიურობის სხვაობის მიხედვით.

კონსტრუქციულ ელემენტებში გადანაცვლებების გამზომი გადამწოდის სიზუსტე შეადგენს  $\pm 0.02$ მმ-ს 2–5სმ-მდე სიგრძის გადამწოდებისათვის. 6-8 თვის ამოწურვის შემდეგ სისტემის სიზუსტე მცირდება  $\pm 0.1$ მმ-მდე, ათვლილი თავდაპირველი მნიშვნელობიდან. ოპტიკურ-ბოჭკოვანი გადამწოდის ცდომილება დეფორმაციის გაზომვისას შეადგენს 3%. სისტემის კონსტრუქცია საშუალებას იძლევა დავარეგულიროთ გამოსაკვლევი დეფორმაციის მგრძობიარობა და გარემო. განხილული სისტემა იძლევა საშუალებას დავაკვირდეთ როგორც ერთეულ ბზარებს, ისე რიგი ბზარების ქცევას გამოსაკვლევი ზონის საზღვრებში. ბზარების ადგილმდებარეობის განსაზღვრა ხდება ორ საფეხურად: ჯერ შუქის მიღების მეთოდის მიხედვით სენსორი ადგენს გადამწოდის სიგრძის სრულ ცვლილებას ერთი ბოლოდან მეორემდე და მუშაობს, როგორც გამაფრთხილებელი სისტემა, იტყობინება, რომ რაღაც მოუვიდა გამოსაკვლევი ელემენტს. ამ დროს დგინდება ფაქტი, რომ ადგილი ჰქონდა რაღაც გადაადგილებას, გადამწოდი დროებით ხდება ოპტიკური ამრეკლი, რომელიც წარმოადგენს სენსორის შიგნით დეფორმაციის გადანაწილების დასადგენ მოწყობილობას, რაც იძლევა სენსორის შიგნით შუალედურ კვანძურ წერტილებში მაქსიმალური დეფორმაციული არის განსაზღვრის შესაძლებლობას, რითაც სენსორი მიმაგრებულია კონსტრუქციაზე [36,50,51].

ამოსავალი მონაცემები მიიღება როგორც უშუალოდ საინჟინრო ნაგებობაზე, ისე მოშორებული წერტილებისათვის.

ბზარების და დეფორმაციების მონიტორინგი აგრეთვე შეიძლება იყოს ჩატარებული ინსპექციის სპეციალისტების რეკომენდაციების

მიხედვით არჩეული ხელსაწყოების გამოყენებით, რომლებიც ასრულებენ ნაგებობის გამოკვლევას ან გამოცდილებიდან გამომდინარე.

ამ მიზნისათვის უფრო შესაფერის ხელსაწყოებს შორის შეიძლება იყოს გამოყენებული მექანიკური გადამწოდები. მათში ბერკეტული და გორგოლაჭიანი კავშირი ადიდებს ბზარების გახსნის მნიშვნელობას. გადანაცვლებების მნიშვნელობების ზრდა იზომება მგრძობიარე დისკური გადამწოდებით, ოპტიკური დონეებით ან სხვა ზუსტი გამზომი ხელსაწყოებით. მექანიკური გადამწოდები შეიძლება მიმაგრებული იყოს გამოსაკვლევე ზედაპირზე ან იყოს დასაშლელი და გადანაცვლებების გაზომვას აწარმოებდეს საყრდენებს შორის, რომლებიც მტკიცეა დაფიქსირებული ბეტონის ზედაპირზე. მეზობელ განზომილებებს შორის დეფორმაცია შეიძლება გამოთვლილი იყოს როგორც გადამწოდების მაჩვენებლებს შორის სხვაობა ან ინვარულ ლარტყაზე გადათვლით [40,41,44,49].

გადამწოდების სიგრძე იცვლება  $112 \div 2000$ მ-მდე. გადაწყვეტის უნარი იზრდება გადამწოდის სიგრძესთან ერთად. ეს გადამწოდები იძლევიან გაზომვის მაღალ სიზუსტეს, მაგრამ მათი დაყენებისათვის აუცილებელია მისადგომობა გასაზომ წერტილებთან და გაზომვის შედეგები უნდა დამუშავდეს ყოველი მოწყობილობისათვის ინდივიდუალურად.

წინაღობის ელექტრონული გადამწოდები წარმოადგენენ მავთულის ბადეს ან ამოჭიმულ სპილენძ-ნიკელის ფოლგას, რომელიც მიმაგრებულია თხელ პლასტიკურ ფურცელზე, რომელიც თავის მხრივ მიეკვრება გამოსაკვლევე ზედაპირს. დეფორმაციის განსაზღვრა ხდება გადამწოდის გაჭიმვით ან კუმშვით გამოწვეული ელექტრონული წინაღობების ცვლილების გაზომვის გზით. გარემო პირობებთან მაღალი მგრძობიარობის შედეგად ეს გადამწოდები არ გამოდგებიან მუდმივი მონიტორინგისათვის. დატვირთვის ვიბრაციული მდგენელის განსაზღვრისათვის იყენებენ ვიბროგადამწოდს, ამ ტიპის გადამწოდები წარმოადგენენ მავთულს, გაჭიმულს ორ წერტილს შორის. ბეტონის დეფორმაციებს მიეყვართ მავთულის გაჭიმვის ცვლილებასთან, რომელიც აირეკლება რეზონანსული სიხშირის რხევებზე. მავთული აღიგზნება მისი სიგრძის შუაში განთავსებული ელექტრომაგნიტით.

ელექტრომაგნიტი ასევე შეიძლება იყოს გამოყენებული ვიბრაციის აღმოსაჩენად და სისწორულ გასაზომ ხელსაწყოებზე გადასაცემად. მოცემული ტიპის ხელსაწყოებისათვის გადამწოდის სიგრძეები მერყეობენ 12–200მმ-ის დიაპაზონში. არსებულ კონსტრუქციებში გადამწოდები უნდა იყოს მჭიდროდ მიმაგრებული ზედაპირზე. გადამწოდის აღწერილი ტიპი განკუთვნილია გარკვეულ მანძილზე მყოფი ელემენტების მონიტორინგისათვის. გადამწოდები შეიძლება მიემაგროს ხიდური ფრთის ნაპირებზე ან სხვა საინჟინრო ნაგებობებზე პირაპირების გადაადგილების მონიტორინგისათვის [49,51].

ბეტონის და რკინაბეტონის ტენიანობა არ შეიძლება იყოს განსაზღვრული მხოლოდ საკონტაქტო სინჯის მქონე ინსტრუმენტის გამოყენებით.

არსებობს ნაგებობების კონსტრუქციებში ტენიანობის გაზომვის სამი მეთოდი, რომლებიც იძლევა უკეთეს შედეგებს:

- ქიმიური – ეყრდნობა იმ თვისებებს, რომ განსაზღვრული ქიმიური ნივთიერება შთანთქავს ტენს გაბურღულ ღიობში არსებული ჰაერიდან, ტენის შემცველობა გამოითვლება სკალის ფერის ცვლილებით;
- ტევადური – ეფუძნება ელექტრულ ტევადობის ცვლილების გაზომვებს, რომლებიც გამოწვეულია ღიობში არსებული ჰაერის ტენშემცველობით;
- ნამის წერტილი – ეყრდნობა წრიულ გაცივებულ სარკეზე დამუქებების გაჩენის პრინციპს ელექტრო რეგულირებადი სინათლის სხივის გამოყენებით.

ყველა აღწერილი მეთოდი საჭიროებს წინასწარ მომზადებას, რაც მდგომარეობს ხერხელის გაბურღვაში, რომლებიც შეიძლება დახურული იყოს ზედაპირიდან, რათა გავაიოლოთ შემდგომი გაზომვების ჩატარება.

ტემპერატურის მუდმივი მონიტორინგი მომსახურეობისას გვეხმარება კონსტრუქციის ქცევის ანალიზში. წლის განმავლობაში ტემპერატურული ცვლილებებით გამოწვეული ეფექტები შეიძლება 10-ჯერ და მეტადაც აჭარბებდეს, რეალური დატვირთვებით გამოწვეულ

ძაბვებს. ამიტომ ტემპერატურა და დეფორმაცია უნდა გაიზომოს ერთდროულად.

არსებობს ტემპერატურის გასაზომი ხელსაწყოების ორი ძირითადი ტიპი:

**თერმოწყვილი.** თერმოწყვილებში ორი მასალაა გამოყენებული, სხვადასხვა ტემპერატურული მახასიათებლებით, რომლებიც ერთი ბოლოთი მიერთებულია ტემპერატურის მარეგისტრირებელ გასაზომ ხელსაწყოსთან. ორი განსხვავებული მასალის შეერთების წერტილს ეწოდება “გასაზომი დარჩილვა”, ხოლო გასაზომ ხელსაწყოსთან მიერთებულ ბოლოებს – რეპერული წერტილები. ტემპერატურის ცვლილებით გასაზომი დარჩილვის ელექტროწყვილის ელექტრული სიგნალი შეიცვლება. სიგნალის ეს ცვლილება რეგისტრირებული იქნება რეპერული წერტილით. თუ რეპერულ წერტილთან შენარჩუნებულია მუდმივი ტემპერატურა, გასაზომი დარჩილვის ტემპერატურა შეიძლება განისაზღვროს ტარირებული ცხრილებით. თერმოწყვილის დახმარებით ტემპერატურის გაზომვის დიაპაზონი ირხევა  $250\pm 2000^{\circ}\text{C}$ . თერმოწყვილის ნაკლს წარმოადგენს შედარებით სუსტი გამაფრთხილებელი სიგნალი [49].

**თერმორეზისტორი.** ელექტროგამტარში დენის გატარების წინააღობა დაკავშირებულია მათ ტემპერატურასთან. თუ ამ თანაფარდობის წინასწარმეტყველება შესაძლებელია და იგი სტაბილურია, მაშინ შეიძლება ვაწარმოოთ ტემპერატურული გაზომვები. ამ ხელსაწყოებს აქვთ გამოსასვლელი პერსონალურ კომპიუტერთან მისაერთებლად [49].

აკუსტიკური ემისიის ხელსაწყოები შეიძლება გამოვიყენოთ ბეტონის ან ფოლადის სამოქალაქო ნაგებობებისათვის ბზარწარმოქმნის მონიტორინგის მიზნით. წინასწარდაძაბულ ბეტონის კონსტრუქციაში შეიძლება დავაფიქსიროთ არმატურის კონების რღვევა.

ლაზერული მონიტორინგისას გამოიყენება დოპლერული ტექნოლოგია ნაგებობაზე ან კონსტრუქციულ ელემენტზე ორ ზღვრულ მდგომარეობას შორის გაზომვების ფარდობითი სიჩქარეებისათვის. გასაზომი ბლოკი შეიძლება იყოს, მაგალითად, ხიდური სვეტები. ეს

მეთოდი ხელმისაწვდომია დეფორმაციის გასაზომად საგზაო მოძრაობისას ან რეგულირებული დატვირთვებისას.

ძალოვანი ზემოქმედებების განსაზღვრისათვის იყენებენ აქსელერომეტრებს. ისინი ანხორციელებენ კონსტრუქციის ელემენტების რეაქციის მონიტორინგს არამდგრად დატვირთვაზე, როგორცაა ნორმალური ან არაორდინალური საგზაო მოძრაობა. აქსელერომეტრი შეიძლება მიერთებული იყოს მუდმივი მონიტორინგის ნებისმიერ სისტემასთან.

ფოლადის არმატურაში ნარჩენი ძაბვების ანალიზი, ნაგებობაზე დარტყმითი ზემოქმედებები, წყალსადენის სისტემის მუშაუნარიანობა აგრეთვე წარმოადგენს ძლიერ მნიშვნელოვან საკითხს.

ნაგებობის ტრანსპორტირებად კონსტრუქციაზე დარტყმითი ზემოქმედების გამზომი სისტემები იყენებენ სამღერძულ აქსელერომეტრს, რომელიც დაკავშირებულია გასაზომ ბლოკთან და დამაგრებულია ხიდზე. სისტემის გამაფრთხილებელი სიგნალი შეიძლება მივიღოთ და გავაკონტროლოთ ნაგებობიდან. ელექტრო ან რადიო დაბრკოლებებით გამოწვეული ცრუ სიგნალი შესაძლებელია დაწუნებულ იქნას.

წყალსადენების სისტემის მუშაუნარიანობის მონიტორინგისათვის უნდა გამოვიყენოთ ატმოსფერული ტენიანობის/ტემპერატურის მზომი კომბინირებული გადამწოდი, დაყენებული შენობის ისეთ ზონაში, რომელშიც არის ჰიდროიზოლაციის ნორმალური მდგომარეობა და წყალსადინარი სისტემის გაზრდილი ტენიანობა არ იქნება შენარჩუნებული ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

ნაგებობის სატრანსპორტო მდგომარეობის მონიტორინგის საფუძველს შეიძლება წარმოადგენდეს ვიდეოკამერის–მოდემის კომპლექსი, რომელიც საშუალებას იძლევა რეალური დროის რეჟიმში დაფიქსირდეს და განუსაზღვრედ მანძილზე გადაეცეს 115 კბ-მდე სიჩქარით შავ-თეთრი ან ფერადი ვარიანტი. როგორც წესი, მოდემმა შეიძლება ერთდროულად იმუშაოს 4-8 ვიდეოკამერით, რაც საკვებით საკმარისია საშუალო კლასის ერთ ნაგებობაზე დაკვირვებისათვის.

სამოქალაქო ნაგებობების დისტანციურად დაწვრილებითი დათვალიერების მცდელობები როგორც წესი მოითხოვს

გადასაადგილებელ კამერებს ან მათ დიდ რაოდენობას. ასეთი ხელსაწყოების გამოყენებას მიყვავართ სისტემის მრავალჯერად გაიაფებასთან და მისი გამოყენება რეკომენდებულია მხოლოდ განსაკუთრებულ შემთხვევებში.

სამოქალაქო ნაგებობების მუდმივი მონიტორინგისას ინფორმაცია შეიძლება მივიღოთ სამი გზით:

- დისპენერულ ცენტრთან მუდმივი კავშირის გზით სპეციალური კაბელის ან გამოყოფილი სატელეფონო ხაზის, აგრეთვე ქალაქის ან მობილური ქსელის საშუალებით, სპეციალური მოდემების გამოყენებით;
- დამონტაჟებული გადამწოდებიდან ჩვენებების არაავტომატურ რეჟიმში პერიოდული მოხსნით, კომპიუტერის კომპირებულ გასაზომ ქსელთან წინასწარი მიერთების გზით;
- სპეციალური დაგროვებითი მოწყობილობებიდან ინფორმაციის პერიოდული მოხსნით. ხიდურ ნაგებობებზე დამაგრებული გასაზომი ქსელის გადამწოდებიდან პერიოდულად, ავტომატურ რეჟიმში, ინფორმაციის მიღების განხორციელებით, მონაცემების საკუთარ მეხსიერებაში დაგროვებით.

განხილული სისტემის ინსტრუმენტული აღჭურვის მიხედვით მონიტორინგის და წინადადებების პრაქტიკაში გამოყენება საშუალებას იძლევა ვიწინასწარმეტყველოთ საინჟინრო კონსტრუქციის მზიდუნარიანობის შესუსტების პროცესი და დავდოთ მათი გაძლიერების ადეკვატური საინჟინრო და კონსტრუქციული წინადადებები.

ოპტიმალური გადაწყვეტები უნდა მივუსადაგოთ ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის მონიტორინგის კონკრეტულ ამოცანას, გასაზომი ხელსაწყოების განსაკუთრებულობების ჩათვლით.

მუდმივი მონიტორინგის ერთ-ერთ პრობლემას წარმოადგენს მიღებული ინფორმაციის მნიშვნელოვანი მოცულობა, რომელიც ყოველთვის არაა შესაძლებელი თავისდროულად დამუშავდეს. ამიტომ განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ექსპერიმენტის დაგეგმვას, ამოცანების სწორ დაყენებას მონაცემების კომპიუტერული დამუშავების ყველა გამოყენებული მეთოდების აუცილებელი შეკვრით.



## 14 შენობების და სამშენებლო კონსტრუქციების მონიტორინგის სისტემები

სამშენებლო კონსტრუქციის უსაფრთხოებას უზრუნველყოფს მისი სიმტკიცე და საიმედოობა, ასევე ამ მაჩვენებლების შესაძლო შემცირების პროგნოზირების შესაძლებლობა, ხანგრძლივი ექსპლუატაციის დროს. თავის მხრივ, სამშენებლო კონსტრუქციების სიმტკიცე და საიმედოობა, როგორც ერთი მთლიანი იქმნება იმ ელემენტების სიმტკიცითა და საიმედოობით, რომლებისგანაც შედგება მოცემული კონსტრუქცია [34,35,47].

შენობის ნებისმიერი კომპონენტი, საჭიროებს ოპერატიულ მონიტორინგს მისი მდგომარეობის შესახებ. ძირითადად ეს არის დინამიკურად დაძაბული მდგომარეობის კონტროლი, რომელიც ითვალისწინებს მოცულობითი და დროებითი მექანიკური ძაბვების განლაგებას და სიდიდეს.

მაგრამ ყველა დიაგნოსტიკის და კონტროლის საკითხებთან ერთად, შენობა-ნაგებობების სხვადასხვა კონსტრუქციებს გააჩნიათ მთელი რიგი ნიშნები, რომლებიც არსებითად განასხვავებენ მათ ერთმანეთისაგან რიგ კომპონენტებში. მაგალითისთვის განვიხილოთ ფასადი.

უპირველეს ყოვლისა ფასადი არის გარე მონტაჟის ელემენტი. მეორე ყველა ფასადისათვის დამახასიათებელი, განმასხვავებელი, როგორც წესი არის დიდი სიბრტყული ზომები, რისი საშუალებითაც მათ გააჩნიათ დიდი ფართობი ან დიდი ვერტიკალური განზომილება. ფასადის თვისება იყოს შენობის გარე კონსტრუქცია და ქონდეს მნიშვნელოვანი გეომეტრიული ზომები ორ განზომილებაში, წარმოადგენს ძირითად მახასიათებელს, რომელიც განსაზღვრავს მონიტორინგისა და მისი მთლიანობის, როგორც სამშენებლო კონსტრუქციის ელემენტის, კონტროლის სპეციფიკას. სხვა ნიშნები როგორიცაა: ტექნოლოგიური და ტექნიკური გადაწყვეტილებების მრავალფეროვნება, წარმოადგენენ პარამეტრებს, განმსაზღვრელს ფასადის ადგილს, ფასადური კონსტრუქციების რიგში. ამიტომაც ისინი ითვალისწინებიან, ანგარიშში ფასადის მონიტორინგის ორგანიზებისას,

როდესაც კონტროლის საბაზო სისტემა შექმნილია და საჭიროა მისი ადაპტირება კონკრეტული პარამეტრებისათვის.

უჭკველია, რომ დღეისათვის საჭიროა მიღებულ იქნას ზომები სვადასხვა კონსტრუქციის ელემენტების უსაფრთხოების ნორმების დასადგენად პროექტირებისას, მონტაჟისა და ექსპლუატაციისას. მაგრამ უკვე ფუნქციონერებადი კონსტრუქციებისთვის ყველაზე აქტუალური პრობლემა არის მათი მდგომარეობის მონიტორინგი. მონიტორინგი კონკრეტულ შემთხვევაზე დამოკიდებულობით, შეიძლება იყოს, დისკრეტული-დაგეგმილი კონტროლის ფორმატში (ერთჯერადი გამოკვლევა გარკვეული დროის პერიოდში) ანუ კონტროლი დროის რესურსით, ან “პერპერული” გზით. რაც ითვალისწინებს ფასადის კონსტრუქციის მუდმივ კონტროლს, მრიცხველების საშუალებით. ფასადის მონიტორინგის ორგანიზებისათვის, როგორც დისკრეტული ასევე პერპერული მეთოდით, მშენებლობაში მოიზიდებიან ახალი თაობის მეთოდები.

დაგუბრუნდეთ ისევ ფასადებს. ფასადი, როგორც წესი შენობის ნაწილია, რომელსაც გააჩნია მნიშვნელოვანი სიმაღლე და რადგანაც ის შენობის გარე ნაწილია, პრობლემა ერთჯერადი გამოკვლევის, დისკრეტული მონიტორინგისათვის, არის სიმაღლის სპეციალისტების მოწვევის აუცილებლობა. ამასთან მნიშვნელოვანია იმ გარემოების გათვალისწინება, რომ ფასადური კონსტრუქციის ანალიზი – არამხოლოდ “მაღლა მცოცავისთვის” სამუშაოების ჩატარების მაღალ რისკთან არის დაკავშირებული, ერთმნიშვნელოვნად ისაზღვრება, როგორც ოსტატობა, ასევე საქმე, რომელიც ითხოვს ინჟინერ-მშენებლის მაღალ კვალიფიკაციას. სპეციფიკურ პირობებში ყოფნისას, დიდ სიმაღლეზე სპეციალისტი შეზღუდულია, გამოკვლების ორგანიზების ვარიანტების შერჩევაში. მას ამ შემთხვევაში შეუძლია გამოიყენოს დიაგნოსტიკის მხოლოდ სამი მეთოდი: ვიზუალური მეთოდი, არამრღვევი კონტროლისათვის პორტატული აპარატურის გამოყენება და მასალის ნიმუშის, ან კონსტრუქციის ლოკალური ელემენტის ამოჭრა, შემდგომი ლაბორატორიული კვლევისთვის.

რადგანაც ფასადის დესტრუქციული ცვლილებების მიზეზები და სახეები, რომლებსაც პოტენციურად შეუძლიათ მიგვიყვანონ ავარიულ

მდგომარეობამდე, წინასწარ ცნობილი არ არიან, ხოლო ფასადური კონსტრუქციის მრავალფეროვნების გამო ნაკლებად პროგნოზირებადი. ამასთან საჭიროა, ოპერატიულად დამუშავება მიმდინარე ინფორმაციის და ის რაც უკვე ზემოთ ითქვა, სპეციალისტ მკვლევარს უნდა გააჩნდეს სიმაღლის სპეცისლისტის მაღალი კვალიფიკაცია და იყოს ინჟინერ-მშენებელი დიდი სამეცნიერო და ტექნიკური გამოცდილებით.

სწორედ ასეთ საკითხებში გამოიყენება საწარმოო ალპინიზმი – სამუშაო ზონაში შემსრულებლის მოხვედრის მეთოდი სიმაღლეზე ალპინისტური ტექნიკისა და მოწყობილობებით კონკრეტული ამოცანის შესასრულებლად, ფასადის გამოკვლევისას. საწარმოო ალპინიზმი ისეთი უნიკალური და ახალია, რომ სამუშაოებისა და პროფესიების რეესტრში მხოლოდ 2001 წელს გამოჩნდა.

ამრიგად დისკრეტული მონიტორინგი მთლიანად და კვალიფიციურად შეიძლება განხორციელდეს საწარმო ალპინიზმის სპეციალისტების მიერ. უნდა აღინიშნოს რომ ოპტიმალურია დისკრეტული მონიტორინგის გამოყენება იმ სიტუაციებში, რომლებიც საჭიროებენ ოპერატიული გადაწყვეტილებების მიღებას. ექსტრემალური საკონტროლო გამოკვლევა ხშირად ხდება ერთადერთი, ფასადის მდგომარეობის შეფასების საშუალება. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ უწყვეტი მონიტორინგის სწორი ორგანიზებით შესაძლებელია თავიდან ავიცილოთ მსგავსი სიტუაციების წარმოქმნა.

არსებობს მონიტორინგის ორი სახე:

1. საბაზო მონიტორინგი – რამოდენიმე ძირითადი კვანძების ერთდროული კონტროლის სქემით, წინასწარ განსაზღვრული შემქმნელებისაგან, როგორც პოტენციურად მაქსიმალური რისკის ადგილი, ან იმ კვანძების, რომლებიც იყვნენ განსაზღვრული, როგორც ავარიული მდგომარეობის შექმნის შესაძლო წყაროები, საწარმოო ალპინიზმის სპეციალისტების მიერ საკონტროლო გამოკვლევის დროს.
2. მთლიანი მონიტორინგი – ხელოვნური ნეიროქსელის სქემით, შედგენილი კომპლექსური სენსორების მრიცხველებით. მრიცხველი აკონტროლებს მიცემულ პარამეტრებს და გენერირებს განგაშის სიგნალს პარამეტრების ნორმაზე გადაცდომის

შემთხვევაში, რომელიც განისაზღვრება შენობის უსაფრთხო ექსპლუატაციით. ამასთან მრიცხველების სისტემა მოიცავს კონსტრუქციას მთლიანად ისე, რომ კონსტრუქციის ნებისმიერი უბანი იმყოფება რამოდენიმე მრიცხველის კონტროლის ზონაში.

რათქმაუნდა საბაზო მონიტორინგი არის მთლიანი მონიტორინგის კერძო შემთხვევა და შესაბამისად უფრო მარტივი და იაფი მონტაჟისა და ექსპლუატაციისას. საბაზო მონიტორინგი მიზანშეწონილია ექსპლუატაციაში მყოფი ფასადის კონტროლის აუცილებლობისას, რომელიც აგებული იქნა მაკონტროლებელი მრიცხველების გარეშე.

## 1.5. სისტემები და მოწყობილობები მონიტორინგისათვის

ხელსაწყოები და მოწყობილობა გეოტექნიკური მონიტორინგისათვის სპეციალიზაციით, კონტროლირებადი პარამეტრებზე დამოკიდებულობით, შეიძლება დაიყოს რამოდენიმე ჯგუფად [47,49,51].

**“ინკლინომეტრი და გადახრისმზომი”** – ჩასადგმელი და ზედაპირული ციფრული ინდიკაციით.

- ინკლინომეტრი მოთვალთვალე სენსორით (ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მოდელი)
- დისტანციური კოორდინომეტრი (TEL-310)
- მრავალფუნქციური მონაცემების რეგისტრატორი (NADIR) გადახრების გასაზომათ (დამუშავების პაკეტით)
- გადასატანი გადახრებისმზომი (TILLI), გაზომვები წარმოებს სპეციალურად, სტაციონალურად დამონტაჟებულ, გადახრად ჭანჭიკზე, როგორც ჰორიზონტალურ ასევე ვერტიკალურ ზედაპირზე.
- სასიგნალო სისტემა ჰორიზონტალური გადაადგილებების კონტროლისათვის ფუნდამენტში, შენობა-ნაგებობებში, ლიფტის შახტების ვერტიკალური გადახრების კონტროლისათვის.

პირაპირებისა და ბზარების კონტროლის მრიცხველი (Jointmeters) ერთეულოვანი და სამ კომპონენტისანი.

- გადაადგილების ტერმინალური მრიცხველი.
- ინტეგრირებული სისტემები (GRID) – 4 მინიატურული, ელექტრული ბზარების მზომი, კომპაქტური რეგისტრატორით.
- მავრთულვანი მზომები- გადაადგილების აღმოსაჩენად, (გაფართოვება ან შეკუმშვა) მთის მასებში. ანკერებს შორის მანძილი 30მ-მდე, გაშლის დიაპაზონი 2მ-მდე.

**დატვირთვების მრიცხველი** – გრუნტის დატვირთვის მრიცხველს გააჩნია ლითონის დიფრაგმა  $D=230\text{მმ}$ ; მკვრივი მასების გაზომვისას იღებენ მართკუთხა ფირფიტას  $1000\times 2000\text{მმ}$  ბრტყელი ქვესადები საშუალებას იძლევა გაეზომოთ ელასტიურობის კოეფიციენტი და ქვის დეფორმაციის შესაძლებლობები, ბეტონის და ადურის წყობის.

ბეტონის დატვირთვების მრიცხველი გამოიყენება გვირაბების მონიტორინგისათვის ბეტონის ფენის შიგნით. გასაზომ უჯრედებს გააჩნიათ დამატებითი კომპენსატორი, რომელიც ადადგენს დაწოლას (ქვესადებსა და ბეტონს შორის მჭიდრო კავშირის უზრუნველყოფისათვის მონტაჟის შემდეგ).

ტენზომეტრული მრიცხველი - გამოიყენება მექანიკური დატვირთვების გასაზომად როგორც ლითონის ასევე რკინაბეტონის კონსტრუქციებში. მოდელების მრავალფეროვნება საშუალებას იძლევა გადავწყვიტოთ სხვადასხვა სახის ამოცანები.

ყველაზე ხშირად მრიცხველ ამონტაჟებენ არმატურაზე ბეტონის შასხამდე რთული სამშენებლო კონსტრუქციების დამზადებისას, (ხიმინჯები, რიგელები, ან ხიდების მალეები)

დატვირთვის ჰიდრაულიკური მრიცხველი – საანკერო მრიცხველი (ელექტრო/ჰიდრაულიკური ან ტენზომეტრული დიაპაზონით 3000 დან 10000KN) საყრდენების მონიტორინგის საშუალებას იძლევა, რკინაბეტონის სვეტში, საანკერო დგარებში, ლითონის სვეტებში, დატვირთვები ხიდის საყრდენებზე.

რეგისტრატორები და ინფორმაციის შემგროვებლები - მარტივი ციფრული მოწყობილობები და უნივერსალური პორტატული რეგისტრატორები.

- ინილონგერ - განცალკევებული ავტონომიური მონაცემების რეგისტრატორი; მეხსიერების სიმძლავრე 64000 გაზომვა, პორტი RS485;
- მონაცემების რეგისტრატორი (ADK-10) მძლავრი, უნივერსალური, მრავალფუნქციური რეგისტრატორი CR10X-ის ბაზაზე. ეს არის მიკრო კომპიუტერი, ტაიმერი, მულტიმეტრი, სკანერი, სიგნალების მრიცხველი და მაკონტროლებელი. ოპერაციული სისტემა მრავალფუნქციურია, იგი საშუალებას იძლევა ერთდროულად ვაწარმოთ გაზომვები და კომუნიკაცია. საბაზო მოდული 6 პირველადი კომპიუტერის სკანირების საშუალებას იძლევა. კომპიუტერები უზრუნველყოფენ დამატებით 192 შემომავალ ანლოგურ ან დიფერენცირებულ (ციფრულ) არხს.
- პროგრამული უზრუნველყოფა (Multilogger) შემუშავებულია რეალურ დროში მონიტორინგისათვის (ADK-10 რეგისტრატორის ბაზაზე) რეალიზებულია შესაძლებლობები: კომუნიკატორების სკანირება, არხების დაყენება, სკანირების პერიოდის დანიშვნა, ავარიული სიგნალების ზღვრის შეყვანა შეტყობინების სიგნალის დაბრუნებით, ინფორმაციის გრაფიკული გამოსახვა, ლოკალური ან დაშორებული შეერთება COM-პორტი RS 232, ის საშუალებით. MD-9 მოდემის ან GSM-ის შეერთებით.

**ობიექტების მონიტორინგი** – გაცილებით რთული და მრავალკომპონენტური კონტროლის სიტემის შემუშავება ხდება მაღლივი შენობების, არამდგრადი გრუნტების, დამბების, ცოცვადი ქანობების და სხვა რთული ინჟინრული კონსტრუქციების მონიტორინგისათვის.

ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი არის უნიკალური ობიექტი, როგორც თავისი კონსტრუქციით, ასევე იმ გეოლოგიური უნიკალურობით სადაც უშუალოდ არის განხორციელებული. ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ობიექტის გეოლოგიური საფუძველი, გეოლოგიური პირობები არ არის აბსოლიტურად სტაბილური. დროთა განმავლობაში ისინი იცვლებიან ზოგჯერ კი ძალიან მკვეთრად.

მრავალი პარამეტრის მონიტორინგი, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციის სტაბილურობას, საშუალებას იძლევა ავამაღლოთ მისი

საექსპლუატაციო საიმედოობა, გავზარდოთ მისი ფუნქციონირების დრო  
და თითქმის გამოვრიცხოთ უბედური შემთხვევები მისი ნგრევის დროს.

## 2. შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის მეთოდოლოგიის დამუშავება დაზიანებათა გათვალისწინებით

### 2.1. შესავალი

ბოლო დროს აქტუალური ხდება შენობა-ნაგებობების მონიტორინგი და დიაგნოსტიკა, მათი უსაფრთხოების უზრუნველყოფის და რესურსის გაგრძელების ანალიზის მზარდ აუცილებლობასთან დაკავშირებით [23,28,29,55,56,57-60]. შენობა-ნაგებობების რესურსის, უსაფრთხოების, ხანგამძლეობის, სიმტკიცის პრობლემების გადაწყვეტასთან კომპლექსური მიდგომის მეთოდოლოგია შეიცავს შემდეგ ძირითად დებულებებს:

- მზიდი ელემენტების კონსტრუქციული მასალების მდგომარეობის ანალიზი, გაჩენილი ექსპლუატაციური დაზიანებების და საწყისი ტექნოლოგიური მემკვიდრეობის ჩათვლით;
- მზიდ ელემენტებში მაკრო და მიკრო დეფექტების ზომების, დისლოკაციის, პარამეტრების და ხასიათის განსაზღვრა;
- მზიდი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საანგარიშო და ექსპერიმენტალური ანალიზი;
- მასალის ბუნებრივი და დაჩქარებული ხანდაზმულობის (დაბერების) მექანიზმის გამოკვლევა;
- კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების ზღვრული მდგომარეობის ანალიზი;
- კონსტრუქციის ელემენტების და მასალების სიცოცხლისუნარიანობის შეფასება დაზიანების სხვადასხვა სტადიაზე;
- სიმტკიცის, ხანგამძლეობის, უსაფრთხოების და ნარჩენი რესურსის საანგარიშო-ექსპერიმენტალური განსაზღვრა;
- შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის, სიმტკიცის, უსაფრთხოების და ხანგამძლეობის ძირითადი პრინციპების ჩამოყალიბება კატასტროფების მექანიკის პოზიციიდან.



დიდი ხნის განმავლობაში ფუნდამენტალური და გამოყენებითი კვლევები ორიენტირებული იყო პროგრესის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებლების მიღწევაზე (ეფექტურობის, ერთეული სიმძლავრის, სინქარის ამღლება, ახალი მასალების და ტექნოლოგიების ათვისება) ავარიების და კატასტროფების გაჩენის რისკის გათვალისწინების გარეშე. ამის გამო ბევრი განვითარებული მრეწველობის ქვეყანა აღმოჩნდა მიიმე სოციალური, ეკონომიკური და მატერიალური შედეგებისათვის მოუმზადებული, რაც გამოიწვია ძლიერი ავარიების და კატასტროფების მზარდმა რიცხვმა. ამასთან რთული და საპასუხისმგებლო შენობა-ნაგებობები, რომლებიც წარმოადგენენ უეჭველ საშიშროებას ხალხისა და გარემოსათვის, უმრავლეს შემთხვევაში იქმნებოდა პროექტირების ტრადიციული წესების, გაანგარიშების და გამოცდის უმარტივესი საინჟინრო მეთოდების გამოყენებით.

ამან გამოიწვია, უკანასკნელ ათწლეულში, შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ახალი პრინციპების და კონცეფციების ფორმირება, აგრეთვე სამეცნიერო კვლევების ახალი მიმართულების – მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის კომპლექსური სისტემების ფორმირება. მომავალში, როგორც ჩანს, ეს სამეცნიერო მიმართულება შეიცავს არა მხოლოდ შენობა-ნაგებობების კატასტროფული რღვევის დაფიქსირებას, არამედ, აგრეთვე მათი გამომწვევი მიზეზების დადგენას და უფრო მეტიც, წინა ავარიული მდგომარეობის განსაზღვრას.

## **2.2. შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის შესწავლა დაზიანებების გათვალისწინებით**

მონიტორინგი და დიაგნოსტიკა დაკავებულია არა იმდენად სხვადასხვა სახეობების ზემოქმედებების შესწავლით, რამდენადაც განსაზღვრული ზემოქმედებებიდან საანგარიშო მოქმედ დატვირთვებზე გადასვლის აპარატის შექმნით. ეს გადასვლა შეიძლება განხორციელდეს შესაბამისი საანგარიშო მოდელების (ფუნქციონალური

ან იმიტაციური) შექმნის ბაზაზე სრულმასშტაბიანი ან მოდელური ექსპერიმენტების ჩატარებისას. საექსპლუატაციო დატვირთვის პირობების მონაცემები წარმოადგენს ამომავალ წერტილს ძირითადი საანგარიშო პარამეტრების დანიშვნისას, რომლებიც შედის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის საბაზისო განტოლებებში და საჭიროა ინიცირებული და განვითარებული ავარიების და კატასტროფების შემდგომი მოდელირებისათვის.

საერთო შემთხვევებში შენობა-ნაგებობების ექსპლუატაციისას მათზე მოქმედებს სამი ძირითადი ტიპის დატვირთვა: მექანიკური  $P_m$  (წნევისაგან, წონისაგან, ინერციის ძალებისაგან და სხვა); თბური  $P_T$  (ტემპერატურის არათანაბარი გადანაწილებისაგან და (ან) მასალების არაერთგვაროვანი თბოფიზიკური თვისებებისაგან) და ელექტრომაგნიტური  $P_{em}$  (ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებისაგან). ჯამური საექსპლუატაციო დატვირთვები ქმნიან შესაბამის ძაბვებს  $\sigma$  და დეფორმაციებს  $\epsilon$ . საექსპლუატაციო დატვირთვის პარამეტრების (დატვირთვის ციკლების რიცხვის  $N$ , დროის  $\tau$ , ტემპერატურის  $T$ , საექსპლუატაციო ძაბვების  $P$ , დაძაბულობის  $\sigma$  და დეფორმაციის  $\epsilon$ ) გათვალისწინებით აგებენ დროებით დამოკიდებულებებს  $P, T, \sigma, \epsilon$ . ყველა  $i$ -რეჟიმის ანალიზიდან დგინდება უფრო მეტად არახელსაყრელი შესამება  $P, T: P_{\max} - T_{\max}$  – მომატებული და მაღალი ტემპერატურებისას;  $P_{\max} - T_{\min}$  – დაბალი და კრიოგენული ტემპერატურებისას. ასეთი შესამების რიცხვი განისაზღვრება საანგარიშო დეტალების ან ელემენტების რიცხვის და გეომეტრიული ფორმის, მათში საშიში ზონების და კვეთების რიცხვის გათვალისწინებით. დაძაბულობის მახასიათებლების სწორედ ეს არახელსაყრელი თანწყობა მიიღება გადამწყვეტად კონსტრუქციების სიმტკიცის, უსაფრთხოების და ხანგამძლეობის შემდგომი საანგარიშო-ექსპერიმენტალური შეფასებისათვის. ამას გარდა, დატვირთვის მიხედვით აღგენენ დამატებით საანგარიშო პარამეტრებს:

– ძაბვის რხევის სიდიდე (ნაზრდი)  $\Delta P$  და ძაბვების ამპლიტუდა

$$P_a = \frac{\Delta P}{2}$$

- ტემპერატურის ნაზრდი  $\Delta T$ ;
- ვიბრაციული (ორი ან მრავალსიხშირიანი) დატვირთვის ძალებს ნაზრდი  $\Delta P_\beta$ .

ამასთან განსაზღვრას ექვემდებარება დაძაბულობა  $\sigma$  (დეფორმაციები  $\epsilon$ ) ტემპერატურები  $T$ , წარმოქმნილი დეფექტების (ბზარების) ზომები, ფორმა და ადგილი  $\ell$ , რომლებიც იცვლება დროში  $\tau$ . ეს პარამეტრები დამოკიდებულია საექსპლუატაციო დატვირთვის პირობებზე (წნევაზე, მექანიკურ და ელექტრომაგნიტურ ძალებზე, სიჩქარეზე, აჩქარებაზე), კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიულ ფორმებზე და ზომებზე, კონსტრუქციული მასალების თვისებებზე. რადგან პრაქტიკულად ყველა ავარიული სიტუაციის გაჩენა და განვითარება იწყება მზიდი ელემენტების დაზიანებით (რღვევა, დეფორმირება, სიმკვრივის კარგვა, მდგრადობის კარგვა), მაშინ დიაგნოსტიკის პროცესში აუცილებელ განსაზღვრას ექვემდებარება საბაზისო პარამეტრების მაქსიმალური ( $\sigma_{max}, \epsilon_{max}, T_{max}$ ) და ამპლიტუდური ( $\sigma_a, \epsilon_a, T_a$ ) მნიშვნელობები. მათი მიხედვით დგინდება შესაბამისი ციკლების ასიმეტრიის კოეფიციენტები.

ჯამური ავარიული დატვირთვები ქმნიან შესაბამის დაძაბულობებს და დეფორმაციებს  $\sigma, \epsilon$ , რომლებიც საბოლოოდ განსაზღვრავენ დროის  $\tau$  დატვირთვის ციკლის  $N$  რიცხვის მიხედვით ექსპლუატაციური დაზიანებების დაგროვებას  $a$ :

$$a = [\{P_m, P_{em}, P_T\}, \{\tau, N\}_T] \quad (2.1)$$

თუ განხილული რეჟიმების საერთო რიცხვი  $k$ -ს ტოლია, მაშინ წრფივი ჯამური დაზიანების საფუძველზე ჯამურ დაზიანებას ვადგენთ შემდეგი ფორმულის გამოყენებით

$$a = \sum_i^k \{a_i\} \leq 1 \quad (2.2)$$

აღნიშნული დამოკიდებულებები წარმოადგენს ამოსავალ წერტილს შენობა-ნაგებობების სიმტკიცის მარაგის, საიმედოობის და საინჟინრო უსაფრთხოების ანალიზისათვის. სიდიდეებს  $p, T$  და  $\tau$  -ს, როგორც წესი იძლევა საექსპლუატაციო რეჟიმები და შეიძლება

დარეგისტრირდეს კონსტრუქციების კონკრეტულ-გაზომვით სისტემებად. საერთო და ადგილობრივი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრები  $\sigma$  და  $\varepsilon$  შეიძლება მიღებული იქნას  $p$ ,  $T$  და  $\tau$  სიდიდეების მიხედვით ანგარიშით ან ნატურული სპეციალური გაზომვით, არამრღვევი კონტროლის მეთოდებით.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, შენობა-ნაგებობების და კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების რეაქცია ჯამურ დატვირთვებზე, ფიზიკური ველების და კოროზიული არეების ზემოქმედებაზე წარმოადგენს არა მხოლოდ დაძაბულობის და დეფორმაციების ველების გაჩენას, არამედ დაზიანებების ველის გაჩენას. ამასთან დაძაბულობის კონცენტრაციის ზონებში ადგილობრივ დაძაბულობას და დეფორმაციებს აქვთ მომატებული მნიშვნელობები, ხოლო თვით მასალების დაზიანებების პროცესები მიმდინარეობს უფრო ინტენსიურად და იწვევს რღვევას. ამასთან დატვირთვის და არის პირობებზე დამოკიდებულებით რეალიზდება დაზიანების და რღვევების დაგროვების სხვადასხვა მექანიზმები. ამ მექანიზმებს შორის უფრო საშიშია ისინი, რომლებიც იწვევენ კატასტროფულ (ზვავისმაგვარ) რღვევებს, მაგალითად კოროზიული დასკდომის დინამიკური და ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვის, სტატიკური მცირეხნიანი დატვირთვისას ბზარების არამდგრადი განვითარების, კონტაქტური ურთიერთქმედების პირობებში. მასალაში დაზიანებების გაჩენის და დაგროვების განსაკუთრებული მექანიზმების ფიზიკური ანალიზი და გამოვლენა თამაშობს ძლიერ მნიშვნელოვან როლს კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობის მიღწევის ფიზიკური კრიტერიუმების ფორმირებისას.

ამგვარად, დეფორმირებული მყარი ტანის მექანიკის განმსაზღვრელი თანაფარდობების და დაზიანებების კინეტიკის, ძირითადი დამაზიანებელი ფაქტორების და დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ცოდნა იძლევა დაზიანებულ მდგომარეობებში შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის იერარქიის შემუშავებაზე გადასვლის საშუალებას. ამასთან ელემენტების ზღვრული მდგომარეობა ხასიათდება დეფორმაციულობისა და სიხისტის, ერთჯერადი მოკლევადიანი, დინამიკური და ხანგრძლივი სტატიკური

რღვევის, რღვევის წრფივი და არაწრფივი მექანიკის კრიტერიუმებით (განსაზღვრავს მზიდუნარიანობას).

რღვევის მექანიკის პოზიციიდან ჩვეულებრივ განიხილავენ ზღვრული მდგომარეობის შემდეგ ტიპებს:

- რღვევა (ბლანტი და მყიფე);
- ელემენტის მთელ კვეთზე პლასტიკური დეფორმირება;
- მდგრადობის დაკარგვა;
- დაუშვებელი ფორმის გაჩენა;
- ციკლური დატვირთვისას მიკრობზარების გაჩენა;

უსაფრთხოების თვალსაზრისიდან ზღვრული მდგომარეობის პირველ სახეობას (რღვევა) აქვს პრინციპული მნიშვნელობა, რადგან იწვევს მაქსიმალურ შესაძლო ზარალს. ზღვრული მდგომარეობის პირველ სახეობისათვის (რღვევა) საანგარიშო სახით შეიძლება იყოს განხილული შემდეგი შემთხვევები: სრული რღვევა, ბზარების განსაზღვრული ზომის მიღწევა, ბზარების არასტაბილური მდგომარეობის გაჩენა ერთჯერადი სტატიკური ან დინამიკური დატვირთვისას, ციკლური ან ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას ბზარის მიერ განვითარების მოცემული სიჩქარის მიღწევა, ერთჯერადი სტატიკური ან დინამიკური დატვირთვებისას მოძრავი ბზარის გაჩერების სტადია. ზღვრული მდგომარეობის დადგომა მიიღწევა დატვირთვის საექსპლუატაციო (მათ შორის ავარიული) რეჟიმების ზემოქმედების შედეგად საწყისი ტექნოლოგიური ან საექსპლუატაციო დეფექტების განვითარებით.

შენობა-ნაგებობების ელემენტების ზღვრული მდგომარეობის განმსაზღვრელი კრიტერიუმების კომპლექსი, შეიძლება წარმოვადგინოთ ფუნქციონალური დამოკიდებულების სახით  $\phi_{N,T,\tau}\{\sigma, \varepsilon, N, T, \tau\} = \phi_c$ , რომლის მარცხენა ნაწილი ხასიათდება კონსტრუქციების მდგომარეობის პარამეტრების (ძალოვანი, დეფორმაციული და სხვა) ერთობლიობით, რომლებიც ასახავენ კონსტრუქციების რეაქციას გარე (მათ შორის ავარიული) ზემოქმედებებზე, ხოლო მარჯვენა – ანალოგიური კომპლექსია, მაგრამ მასში შედის მასალების (კონსტრუქციების ელემენტების) კრიტერიული მახასიათებლები.  $\phi_{N,T,\tau}$

მნიშვნელობას კრიტერიულ დამოკიდებულებებში განსაზღვრავენ ანგარიშით, ხოლო მასალის კრიტერიულ მახასიათებლებს  $\phi_c$  განსაზღვრავენ კონსტრუქციების ნატურული ელემენტების, მოდულების ან ნიმუშების ექსპერიმენტიდან.

შენობა-ნაგებობების მდგომარეობის დასაშვები პარამეტრების საზღვრების დადგენისათვის კრიტიკული მახასიათებლები მცირდება რამოდენიმეჯერ ანუ ანგარიშში შეჰყავთ უსაფრთხოების (მარაგის) კოეფიციენტები. კრიტიკული მახასიათებლების მიხედვით მარაგის კოეფიციენტები ინიშნება, როგორც წესი კონსტრუქციების შესაძლო ზღვრული მდგომარეობიდან, მისი (ან მისი პროტოტიპების) ექსპლუატაციის პრაქტიკიდან და ტრადიციიდან გამომდინარე. ზღვრული მდგომარეობის ზოგიერთი შემთხვევისათვის მარაგის კოეფიციენტები შეიძლება მიღებული და გამოთვლილ იქნას მეცნიერულად დასაბუთებული კოეფიციენტების საფუძველზე გამოთვლის გზით.

დეფორმირების და რღვევის მექანიკის ფუნდამენტალურ საკითხს წარმოადგენს მდგომარეობის გათანაბრების შესახებ კითხვები, რომლებიც ახასიათებენ კავშირს დაძაბულობის  $\sigma$  და დეფორმაციების  $\epsilon$  დენად მნიშვნელობებს შორის. ეს კავშირი საერთო შემთხვევებში არის საკმაოდ რთული და დამოკიდებულია კონსტრუქციის მასალის ტიპზე, დატვირთვის პირობებზე (ტემპერატურა, დეფორმირების სიჩქარე, გარემომცველი არის ფიზიკო-მექანიკური ზემოქმედებები). დაძაბული მდგომარეობის თვისებებზე, დეფორმირების პროცესში მასალაში შესაძლო სტრუქტურულ ცვლილებებზე და მიკრო და მაკრო დაზიანებების განვითარების ხარისხზე. კონსტრუქციებში მასალების ზღვრულ მდგომარეობაზე და მექანიკურ ქცევაზე გავლენის მომხდენი უფრო მნიშვნელოვანი ფაქტორების რიცხვს მიეკუთვნებიან: ტემპერატურა, დეფორმირების სიჩქარე, ატანის დრო, ციკლურობა, დაძაბული მდგომარეობის სახეობა, კვეთის აბსოლუტური ზომები, აგრეთვე სხვა ფიზიკური ზემოქმედებები. ეს ფაქტორები გავლენას ახდენენ დეფორმირების და რღვევის მრუდების ფორმაზე, აგრეთვე მდგომარეობის გათანაბრების ძირითად პარამეტრებზე. დაბალი ან კრიოგენული ტემპერატურების რაიონში ცივადმტკრევადი

მასალებისათვის ზღვრული მდგომარეობის დადგენა შეიძლება შეფასდეს ექსპლუატაციურ ტემპერატურასა  $T_i$  და სიმეიფის კრიტიკულ ტემპერატურას  $T_{ki}$  შორის ტემპერატურული ინტერვალის მიხედვით:

$$\Delta T_{ki} = T_i - T_{ki} \quad (2.3)$$

დეფორმირებულ დამოკიდებულებაში სიმტკიცეზე და რესურსზე კომპლექსური ანგარიშის ჩატარებისას იყენებენ საექსპლუატაციო დატვირთვების გასაშუალებული მახასიათებლების, დეფორმირებისა და რღვევის მიმართ კონსტრუქციული მასალების წინააღმდეგობის გასაშუალებული ან გარანტირებული მახასიათებლების მთელ საწყის ინფორმაციას, რომლებიც განისაზღვრება ფიზიკური (დეფექტოსკოპიური) მეთოდით კონტროლის ნორმების მიხედვით. თუ პროექტირების ან ექსპლუატაციის სტადიაზე ანგარიშში შეყავთ დატვირთვის (გადანაწილების ფუნქციები და მათი პარამეტრები), მზიდი ელემენტების დეფექტურობის და მასალების მექანიკური თვისებების სტატიკური მახასიათებლები, მაშინ შესაძლებელი ხდება განისაზღვროს კონსტრუქციების საიმედოობის შესაძლო მახასიათებლები [24,28,29,51,74].

ავარიების და კატასტროფების გაჩენის და განვითარების სხვადასხვა სტადიაზე სიმტკიცის მარაგის და საიმედოობის კრიტერიუმების მიხედვით ობიექტების ზღვრული მდგომარეობის წარმოქმნის პირობების შესწავლასთან დაკავშირებული დიდი მოცულობის კვლევის ჩატარების აუცილებლობასთან დაკავშირებით ასეთი თავისი არსით არაწრფივი ობიექტების წინასწარმეტყველებისა და შესწავლისათვის ყველაზე ეფექტურ სამეცნიერო მიდგომას წარმოადგენს მათემატიკური მოდელირება ან რიცხვითი ექსპერიმენტი. რიცხვითი ექსპერიმენტის წარმატებული ჩატარებისათვის საჭიროა მონაცემების სპეციალური ბაზების და ბანკების შემუშავება, რომელიც თავის თავში აერთიანებს გარემომცველი და დეფორმირებული არის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს, დეფორმირებისა და რღვევის მიმართ კონსტრუქციული მასალების წინააღმდეგობის მახასიათებლებს, აგრეთვე მდგომარეობის გათანაბრების და მათი ევოლუციის გათანაბრების პარამეტრებს, მათ შორის დაზიანებების კონტინუალური

მექანიკის მოდელებისათვის, დატვირთვის შესაძლო შედეგებით გამოსაკვლევი ობიექტების კვანძების და დეტალების ტიპების აღწერისათვის და სხვა.

რთული კონსტრუქციების ხანგამძლეობის და უსაფრთხოების რიცხობრივი შეფასებისათვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს კონსტრუქციის ანგარიშის მეთოდებს. დღეისათვის შემუშავებულია და პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება კონსტრუქციის ელემენტების მუშაუნარიანობის შეფასების სხვადასხვა მოდელები და მეთოდები შემთხვევითი დატვირთვების რეალიზაციის, მასალების თვისებების გადანაწილების მოცემული კანონის და სხვათა პირობებში. ასეთი მოდელების აგების საფუძველში ჩვეულებრივ ჩადებულია შესაძლო ზემოქმედებების ხასიათის, მასალების თვისებების გადანაწილების განსაკუთრებულობების და გეომეტრიული ელემენტების ემპირიული ცნობები. ეს მოდელები და შესაბამისი საანგარიშო მეთოდები იძლევიან რისკის დასაშვები პარამეტრების გადანაწილებაზე, ნორმირებაზე და დასაბუთებაზე გადასვლის საშუალებას, კონსტრუქციების ელემენტების დატვირთულობის და დეფექტურობის დონეებზე გადასვლის საშუალებას. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ კონსტრუქციის ელემენტების მუშაუნარიანობის შესაძლო შეფასებების საფუძველზე მიღებული ღირებული შედეგები მცირდება ემპირიული დაშვებების დასაბუთების შემცირების მიხედვით, რომლებიც ჩადებულია საანგარიშო მეთოდის საფუძველში, ამიტომ მცირედ შესაძლებელი მოვლენების შეფასებისას ჩნდება ობიექტური სირთულეები, რომლებიც დაკავშირებულია ალბათობითი ანალიზის შედეგების უტყუარობასა და დასაბუთებულობასთან.

უსაფრთხოების პრობლემების გადაწყვეტა მჭიდრო კავშირშია კომპლექსურ გამოკვლევებთან, დაძაბულ-დეფორმირებული და ზღვრული მდგომარეობების რიცხვითი ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებასთან, აგრეთვე გამოკვლევების უნიფიკაციასა და სტანდარტიზაციასთან. კრიტიკული მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტალური განსაზღვრისათვის, რომელიც შედის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის საბაზისო ბლოკში, ზოგადად შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით [23,60]:



$$\{S, R_{\tau, N}, P_R, R_\sigma\} = F\{f_s(P_s, T, N, \tau, \phi) f_\sigma(\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{B\tau}, \sigma_{-1}, E, \lambda, H_B, \eta, \psi, K_{Ic}) f_\ell(\ell, K_t, F)\} \quad (2.4)$$

სადაც  $S$  – უსაფრთხოების მახასიათებლებია;  $R_{\tau, N}$  – მარაგის მახასიათებლები;  $P_R$  – საიმედოობის მახასიათებლები;  $R_\sigma$  – სიმტკიცის მახასიათებლები (რღვევისადმი წინააღმდეგობა);  $f_s$  – საექსპლუატაციო დატვირთვის ფუნქციონალი;  $T$  – ტემპერატურა დროის მოცემულ მომენტში;  $N$  – დატვირთვის ციკლების რიცხვი;  $\tau$  – ექსპლუატაციის დრო;  $\phi$  – ფიზიკური ზემოქმედებების ველების პარამეტრები (რადიაცია, მუშა რაიონი, მაგნიტური ველი);  $f_\sigma$  – კონსტრუქციული მასალების ფიზიკო-მექანიკური თვისებების ფუნქციონალი,  $\sigma_B$  – სიმტკიცის ზღვარი,  $\sigma_T$  – დენადობის ზღვარი;  $\sigma_{B\tau}$  – ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვარი;  $\sigma_{-1}$  – ამტანობის ზღვარი;  $E$  – დრეკადობის მოდული;  $\lambda$  – თბოგამტარობის კოეფიციენტი;  $H_B$  – სიმყარე (მიკროსიმყარე);  $\eta$  – პლასტიკურ არეში გამკვრივების მაჩვენებელი;  $\psi$  – მასალის ზღვრული პლასტიურობა;  $K_{Ic}$  – ბზარმდეგობის მახასიათებელი;  $K_{Ic}$  – ბზარმდეგობის მახასიათებელი;  $f_\ell$  – კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების კონსტრუქციული ფორმების ფუნქციონალი;  $\ell$  – დეფექტის ზომა;  $K_t$  – დაძაბულობის კონცენტრაციის თეორიული კოეფიციენტი;  $F$  – განსახილველ ზონაში განიკვეთის მახასიათებლები.

ამგვარად, უსაფრთხოების ანალიზი გვთავაზობს კონსტრუქციების მთლიანობის შეფასების მრავალდონიან სისტემას და შესაბამისად განისაზღვრება ამოცანის დაყენებით, დატვირთვის პირობებით და საკვლევი ობიექტის საშიშროების ხარისხით.

ავარიული სიტუაციებისათვის შენობა-ნაგებობების სიმტკიცის უსაფრთხოების და ხანგამძლეობის ანგარიში წარმოებს რღვევის მექანიკის საბაზო ფორმულების საფუძველზე, ავარიული სიტუაციის მიმდინარეობის მომენტისათვის მაქსიმალური დატვირთვის გამოყენებით ფორმულაში (2.4) შემავალი მასალის თვისების მახასიათებლები

გამოიყენება დროის მოცემული მომენტისათვის  $\tau$ , მოცემული ტემპერატურისათვის  $T$  და დეფორმაციულობის სიჩქარისათვის. ამას გარდა, ანგარიშში შედის (ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებთან შედარებით) მარაგის კოეფიციენტები.

მაგალითად, ფორმულის (2.4) შესაბამისად მზიდი ელემენტების სიმტკიცის ტრადიციული ნორმატიული ანგარიშისას სიმტკიცის ძირითად პირობას წარმოადგენს შემდეგი პირობა:

$$\{R_\sigma\} = F\{f_s(P_s)f_\sigma(\sigma_B\sigma_T\sigma_{B\tau})f_\ell(F)\} \quad (2.5)$$

რომელიც შეიძლება წარმოვადგინოთ უფრო ტრადიციული სახით

$$\sigma_n^b = (\rho_{max}^b / F) \leq [\sigma]_n = \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}, \frac{\sigma_T}{n_T}, \frac{\sigma_{B\tau}}{n_{B\tau}} \right\} \quad (2.6)$$

სადაც  $\sigma_n^b$  – ნომინალური ძაბვებია მაქსიმალური დატვირთვებისაგან  $P_{max}^b$  ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში;  $[\sigma]_n$  – ნომინალური დასაშვები ძაბვები;  $\{n_T, n_{B\tau}, n_B\} = \{1,5 \div 3\}$  – მარაგის კოეფიციენტები სიმტკიცის მახასიათებლების მიხედვით (დენადობის ზღვარის  $\sigma_T$ , ხანგრძლივი სიმტკიცის ან ცოცვადობის ზღვარის  $\sigma_{B\tau}$ , სიმტკიცის ზღვარის  $\sigma_B$  მიხედვით). შენობა-ნაგებობების ანგარიშისათვის ავარიული სიტუაციის გაჩენისა და განვითარებისას შეიძლება გამოყენებული იყოს ფორმულები (2.5), (2.6) მაქსიმალური დატვირთვების  $P_{max}^b$  ცვლილებით ავარიული სიტუაციების დროს. მოცემული მომენტისათვის  $\tau$  მაქსიმალურ დატვირთვებზე  $\rho_{max}^b$ . ამასთან მექანიკური მახასიათებლები  $\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{B\tau}$  ანალიზებული ავარიული სიტუაციებისათვის აირჩევა, აგრეთვე დროის მოცემულ მომენტში  $\tau$ , მოცემული ტემპერატურისას  $T$  და დეფორმირების სიჩქარისას. ხოლო მარაგის კოეფიციენტები (ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში ანალოგიურთან შედარებით) მიიღება მცირე და ტოლი:  $\{n_T, n_{B\tau}, n_B\} = \{1,1 \div 2,5\}$ .

მზიდი ელემენტების ხანგრძლივი დატვირთვისათვის სიმტკიცის ანგარიში წარმოებს (მარაგის ანგარიში დროებითი და ციკლური) შემდეგი ფორმულით [23]:

$$\{R_{\tau, N}, R_{\sigma}\} = F\{f_s(P_s, T, N, \tau, \phi), f_{\sigma}(\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{B\tau}, E, \lambda, n, \psi)f_{\ell}(K_t, F)\} \quad (2.7)$$

ზხარისმაგვარი დეფექტების არსებობისას მყიფე რღვევის მიმართ წინააღმდეგობა შეიძლება წარმოვადგინოთ, სიმტკიცის პირობების ანალოგიურად (2.5) და (2.6) შემდეგი საბაზისო ფორმულის სახით:

$$\{P_R, R_{\sigma}\} = F\{f_s(P_s, T, \phi), f_{\sigma}(K_{Ic})f_{\ell}(\ell)\} \quad (2.8)$$

ან

$$K_I^b = f(P_{max}^b, T_{min}, \ell) \leq [K_I] = \frac{K_{Ic}}{n_k} \quad (2.9)$$

სადაც:  $[K_I]$  – დაძაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა ექსპლუატაციის მინიმალური ტემპერატურის გათვალისწინებით  $T_{min}$ ;  $n_k$  – ძაბვის ინტენსიურობის კრიტიკული კოეფიციენტის  $K_{Ic}$  მიხედვით, რომელიც განსაზღვრულია ტემპერატურისას  $T_{min}$ . ექსპლუატაციის ნორმალური პირობების სიდიდე  $n_k$  აიღება  $n_T \leq n_k \leq n_B$  ინტერვალში ან იანგარიშება მიღებული მოდელის ჩარჩოებში.

ტემპერატურის მდგომარეობაზე (მყიფე ან ბლანტი) ტემპერატურის გავლენის და  $K_{Ic}$ -ს  $T_{min}$ -ზე დამოკიდებულების გათვალისწინებით კონსტრუქციული მასალებისათვის, გათანაბრების ანგარიშს (2.9) აუცილებელია დაემატოს სიმტკიცის კრიტიკული ტემპერატურების მიხედვით ანგარიში:

$$T_{min}^b = f(\ell, F) \geq [T] = T_k + [\Delta T_k] \quad (2.10)$$

სადაც:  $[T]$  – ექსპლუატაციის დასაშვები მინიმალური ტემპერატურა;  $T_k$  – სიმყიფის კრიტიკული ტემპერატურა, რომელიც შეესაბამება  $K_{Ic}$ -ს მკვეთრ შემცირებას;  $[T_k]$  – სიმყიფის კრიტიკული ტემპერატურების მარაგი. კონსტრუქციული ფოლადისაგან დამზადებული მზიდი ელემენტებისათვის მარაგის სიდიდე  $[\Delta T_k]$  ინიშნება  $20 \div 30^{\circ}\text{C}$  ინტერვალში.

ფორმულის (2.4) თანახმად დეფექტებით დაზიანებული კონსტრუქციების ხანგამძლეობის მახასიათებლების სახით შეიძლება გამოვიყენოთ საიმედოობის და სიმტკიცის მარაგი:

$$\{R_{\tau,N}, P_R, R_\sigma\} = F\{f_s(P_s, T, N, \tau, \phi) f_\sigma(\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{B_T}, \sigma_{-1}, E, \lambda, H_B, \eta, \psi, K_{Ic}) f_\ell(\ell, K_t, F)\} \quad (2.11)$$

ბზარების განვითარების სტადიაზე ტექნიკური სისტემების მარაგი  $R_{\tau,N}$  დგინდება ბზარმედველობის კრიტერიუმების თანახმად (2.9) ფორმულის მიხედვით, რღვევის დიაგრამების საფუძველზე, რომლებიც აკავშირებს ბზარის ზრდის სინქარებს დროის მიხედვით  $\tau$  ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას ან ციკლების რიცხვის მიხედვით  $N$  ციკლური დატვირთვისას:

ამასთან რესურს განსაზღვრავენ რღვევის დიაგრამის გათანაბრების ინტეგრირებით ბზარის დენადი ზომის მიხედვით

$$\{R_{\tau,N}\} = \int_{\ell_0}^{\ell_c} d\ell_{\tau,N} \leq [\tau, N] = \left\{ \frac{\tau_c}{n_\tau}, \frac{N_c}{n_N} \right\} \quad (2.12)$$

სადაც  $\ell_c$  - დეფექტის კრიტიკული ზომა, რომელიც დგინდება (2.9)-(2.10) მიხედვით;  $\ell_0$  - ექსპლუატაციის მოცემულ სტადიაზე საწყისი დეფექტი;  $[\tau, N]$  - ექსპლუატაციური დატვირთვის ციკლების დასაშვები რიცხვი ან დასაშვები დრო;  $n_\tau, n_N$ , - მარაგი რესურსის მიხედვით.

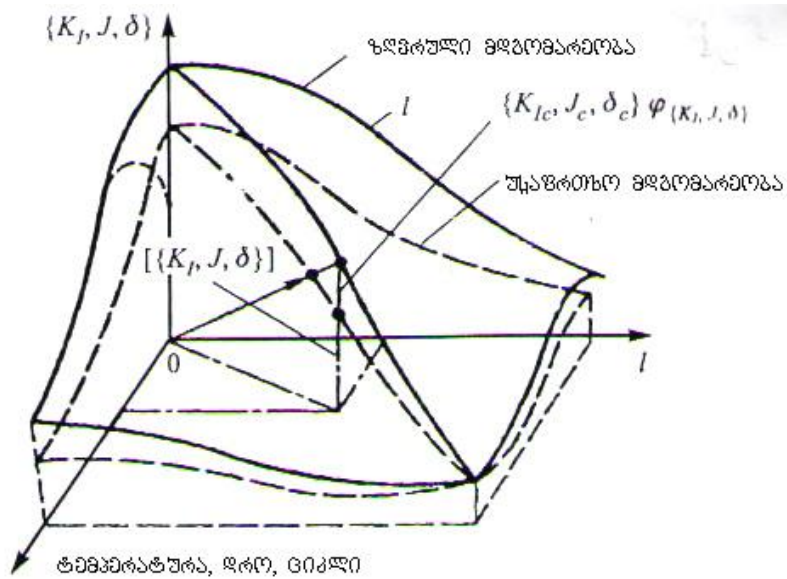
ხანგამძლეობის ანგარიში, დამატებით, შეიძლება აგრეთვე მივიყვანოთ დეფექტის დასაშვები ზომების ანგარიშთან  $[l]$  ბზარმედველობის კრიტერიუმების მიხედვით

$$l_{max}^b = f(K_{Ic}, F, \phi, P_{max}^b) \leq [l] = \frac{l_c}{n_l} \quad (2.13)$$

სადაც  $l_{max}^b$  - ექსპლუატაციის დეფექტის მაქსიმალური ზომა;  $l_c$  - დეფექტის კრიტიკული ზომა;  $n_l$  - მარაგი დეფექტის ზომის მიხედვით.

$n_l$  დგინდება  $n_b \leq n_l \leq n_T^2$  საზღვრებში. უფრო საპასუხისმგებლო და პოტენციურად საშიში კონსტრუქციებისათვის დაკმაყოფილებული უნდა იყოს მოთხოვნები ყველა მარაგის მიხედვით -  $n_k, [\Delta T_k]$  და  $n_l$ .

ავარიული სიტუაციებისათვის ზღვრული და უსაფრთხო (დასაშვები) მდგომარეობების თვალსზრისით ხანგამძლეობის ანგარიშს აწარმოებენ ბზარმედველობის კრიტერიუმების მიხედვით (2.8)-(2.13) შესაბამისად (ნახ. 2.1).



ნახ. 2.1. ზღვრული და უსაფრთხო მდგომარეობების სქემა ბზარის მაგვარი დეფექტებით დაზიანებული მაღალი რისკის ობიექტებზე ავარიების და კატასტროფების ექსპერტიზისას

ამასთან ავარიული სიტუაციის განვითარების მოცემული მომენტისათვის უნდა გავითვალისწინოთ დატვირთვების შესაბამისი ექსტრემალური დონეები, ტემპერატურების მინიმალური და მაქსიმალური დონეები, დეფექტების მაქსიმალური ზომები და მექანიკური თვისებების მინიმალური მახასიათებლები. რადგანაც ავარიული სიტუაციებისას, როგორც წესი მაქსიმალური ადგილობრივი და ხშირად მინიმალური ექსტრემალური ძაბვები აჭარბებენ დენადობის ზღვარს, ამიტომ რღვევის წრფივი მექანიკის გათანაბრება ხდება გამოუყენებელი. ამასთან დაკავშირებით კონსტრუქციების ხანგამძლეობის ანალიზისათვის ავარიული სისტემების გაჩენისა და განვითარების პირობებში გამოყენებული უნდა იყოს რღვევის არაწრფივი მექანიკის გათანაბრებები საანგარიშო პარამეტრების სრული გამოყენებით (2.11). რღვევის მექანიკის წრფივი საბაზისო მახასიათებლები იცვლება რღვევის მექანიკის არაწრფივი მახასიათებლებით, მაგალითად, გახსნა ბზარის წვერზე,  $J$  - ინტეგრალი, პლასტიკურ არეში დეფორმაციის ინტენსიურობის კოეფიციენტი, ბზარმდეგობის კოეფიციენტი და ა.შ.

ამგვარად, საბაზისო ფორმულების (2.4)-(2.14) გათვალისწინებით უსაფრთხოება მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის პოზიციიდან, უნდა განიხილებოდეს, როგორც მზიდი ელემენტების კომბინირებული უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს ექსტრემალურად მაღალი შიგა და გარე ზემოქმედებების უფრო შესაძლო და არახელსაყრელ ფაქტორებს მასალის რღვევის და დეფორმაციის შემცირებული მახასიათებლებისას. ამასთან ფორმულის (2.4) შესაბამისად მიიღება შემდეგი ფორმულა

$$\{S\} \in f(T_{\tau,N}, P_R, R_{\sigma}) \in f(n_T, n_B, n_{B\tau}, n_N, n_i, n_K, N_l) \quad (2.14)$$

### 2.3. დაზიანებული შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოება, ხანგამძლეობა და მარაგი (რესურსი)

მეცნიერების და ტექნოლოგიების თანამედროვე მიღწევები უეჭველად იძლევა საშუალებას მნიშვნელოვნად ამაღლდეს პროექტირების სტადიაზე დანიშნული რესურსი ტრადიციული წესების მიხედვით, ანგარიშის და გამოცდის უმარტივესი მეთოდის საფუძველზე. ამასთან კომპლექსში გადაწყვეტილი უნდა იყოს შემდეგი ძირითადი პრობლემები:

- როგორც ცალკეული ობიექტების, ისე ობიექტების სისტემების საწყისი, გამოყენებული და ნარჩენი რესურსის რიცხოვნობი ანალიზი;
- საპროექტო, ფაქტიური და ნარჩენი რესურსის დასაბუთება;
- მზიდი ელემენტების კონსტრუქციული მასალების მდგომარეობის შეფასება გაჩენილი საექსპლუატაციო დაზიანებების და საწყისი ტექნოლოგიური მემკვიდრეობითობის გათვალისწინებით;
- მზიდ ელემენტებში მაკრო და მიკროდეფექტების ხასიათის, პარამეტრების, დისლოკაციის და ზომების განსაზღვრა;
- მზიდი ელემენტების დეფორმირებული მდგომარეობის ნორმატიული და ექსპერიმენტალური ანგარიში;
- ბუნებრივი და დაჩქარებული ხანდაზმულობის (დაბერების) მექანიზმების კვლევა;
- დაზიანების სხვადასხვა სტადიებზე კონსტრუქციის ელემენტების და მასალების ხანგამძლეობის შეფასება;

- რესურსის კომპლექსური დიაგნოსტიკა;
- ნარჩენი რესურსის წინასწარი და დაზუსტებული საანგარიშო-ექსპერიმენტალური განსაზღვრა.

ზემოთაღნიშნული პრობლემების გადაწყვეტას შეიძლება ჰქონდეს, როგორც საუწყებო-ობიექტური, ისე უნიფიცირებული ხასიათი. ამასთან პრინციპულად მნიშვნელოვანია, რომ ნარჩენი რესურსი განისაზღვროს უფრო მაღალი სამეცნიერო-მეთოდური დონით, ვიდრე საპროექტო და საწყისი.

ახლად დაპროექტებული კონსტრუქციებისათვის სიმტკიცის ანგარიშს აწარმოებენ დატვირთვის ექსპლუატაციური რეჟიმების ყველა სპექტრის მიხედვით, გაშვების წინა და პერიოდული ცდების ჩათვლით, მუშა პარამეტრების რეგულირება და ავარიული დაცვის სისტემების ამუშავება.

სიმტკიცის რესურსის და ბზარმდგომის დასაბუთებისათვის საჭიროა მზიდი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიშის კომპლექსი, რომელიც შეიცავს ნომინალური და მაქსიმალური ძაბვების განსაზღვრას, ამ ძაბვების ამპლიტუდებს, ექსპლუატაციის მაქსიმალურ და მინიმალურ ტემპერატურებს, ექსპლუატაციის დროის და ციკლების რაოდენობას. რთული მრავალეფემანტიანი კვანძებისათვის ამ ანგარიშს უმატებენ ოპტიკურად აქტიური (ფოტოდრეკადი) და დაბალმოდულიანი მასალების გამოცდის მოდელებს, აგრეთვე შესაბამისი კონსტრუქციული მასალებისაგან მიღებულ მონაცემებს. ცდებს ატარებენ დატვირთვის საექსპლუატაციო რეჟიმის იმიტაციისას, ხოლო ნომინალურ და ლოკალურ ძაბვებს, დეფორმაციებს, ტემპერატურებს ზომავენ ტენზომეტრების, ოპტიკურად აქტიური და მყიფე ტენზომეტრებისაგან საფარების, მუარის მეთოდის, ჰოლოგრაფიის, თერმოჩვენების დახმარებით.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის, დატვირთვის ინდიკატორების და დაზიანების გადამწოდების ექსპერიმენტალური საშუალებების გამოყენება საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ კონსტრუქციის ელემენტების დატვირთულობა და მასალების დაზიანების კინეტიკა ექსპლუატაციის პროცესში. გამოყენებული მეთოდების საფუძველს უნდა შეადგენდეს მექანიკური, ფიზიკური და ქიმიური მოვლენები,

რომლებიც თან ახლავს დაზიანების დაგროვების პროცესს. დაზიანების გადამწოდების მგრძობიარე ელემენტებში (მაგალითად, ტენზორეზისტორებში) შეუქცევადი დაზიანების დაგროვების დაფიქსირებისას, შეიძლება შეიქმნას დაზიანებების დაჯამების მოდელი და ვიმსჯელოთ კონსტრუქციების ელემენტების დაზიანების ხარისხზე. კონსტრუქციის მასალაზე დამაზიანებელი ფაქტორების რთული კომპლექსის ზემოქმედებისას მიზანშეწონილია დამუშავდეს მასალის ექსპლუატაციური კონტროლის კომპლექსური სისტემა.

სიმტკიცის რესურსის და ბზარმედგობის კრიტერიული მახასიათებლების დამტკიცებისათვის ატარებენ ატესტაციური გამოცდების კომპლექსს სტანდარტულ ან სპეციალურ ლაბორატორიულ ნიმუშზე. იმ შემთხვევაში, როცა იქმნება ახალი და უნიკალური კონსტრუქციები ატარებენ მოდელის გამოცდას, მიყავთ რა ისინი დაუშვებელი დეფორმაციების განვითარების, მყიფე ან ბლანტი რღვევის, ბზარების გაჩენის და განვითარების მდგომარეობამდე. ამასთან ფართოდ გამოიყენება დეფექტოსკოპიის მეთოდები და საშუალებები – ულტრაბგერითი, რენტგენული, ოპტიკური, აკუსტიკური და აკუსტომისიური, ელექტრომაგნიტური, თბოვიზიური, ჰოლოგრაფიული.

ასეთი ცდების შედეგებიდან გამომდინარე წყვეტენ ორ მნიშვნელოვან პრაქტიკულ ამოცანას:

- მიღებული საანგარიშო სქემების, ზღვრული მდგომარეობების და სიმტკიცის მარაგების დასაბუთება;
- ახალ, ჩვეულებრივ შემცირებულ სიმტკიცის მარაგზე გადასვლა.

ამ უკანასკნელ შემთხვევაში სიმტკიცის ზღვრულად მცირე მარაგი დასაბუთებულია სრულმასშტაბიანი კვლევებით მიახლოებით საშტატო პირობებში – კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტების საფუძველზე საექსპლუატაციო ზემოქმედებების წარმოდგენილი სპექტრის მიხედვით. თუმცა, ასეთი ცდების ჩატარებისას ადგილობრივი ძაბვის და დეფორმაციის მიხედვით მარაგი რეკომენდირებულია იყოს 1.15-1.25-ზე არა ნაკლები, ხოლო რესურსის მიხედვით – არა ნაკლებ 3-5.

კონსტრუქციების ექსპლუატაციის სტადიაზე მზიდი ელემენტების (მექანიკური თვისებები და დეფექტურობა) მდგომარეობის



ცვლილების და საექსპლუატაციო დაზიანებების დაგროვების ჩათვლით აუცილებელია მოხდეს ნიმუშების, ცალკეული კვანძების ან მთლიანად ნაკეთობების გამოცდა, განსაზღვრავენ ნარჩენ სიმტკიცეს, რესურსს და ბზარმდეგობას. უსაფრთხო ექსპლუატაციის რესურსის გახანგრძლივება შეიძლება ყველა მარაგის – ნომინალური ძაბვების, ადგილობრივი ძაბვების და დეფორმაციების, ბზარმდეგობის, ციკლების დროის და რიცხვის მიხედვით.

შენობა-ნაგებობების რესურსში იგულისხმება მისი მუშაობა ექსპლუატაციის დაწყებიდან ზღვრული მდგომარეობის დადგომამდე. ზღვრული მდგომარეობის აღქმა დაიშვება სხვადასხვაგვარად მისი შეფასების არჩეულ კრიტერიუმზე დამოკიდებულებით. მაკროდეფექტების (ბზარის ტიპის) არ არსებობისას ზღვრული მდგომარეობა განისაზღვრება ადგილობრივი ძაბვების ან დეფორმაციების კრიტიკული სიდიდებით ექსპლუატაციური დატვირთვის ბლოკისთვის მოყვანილი ძაბვების ციკლების სქემის მიხედვით ძაბვების კონცენტრაციის და ძაბვების მახასიათებლების წერტილების და სიდიდების გამოვლენის ზონების გათვალისწინებით. სტატიკური, ხანგრძლივი და ციკლური სიმტკიცის კრიტერიუმების საფუძველზე ანგარიშში ფორმულის (2.14) თანახმად, ადგილობრივი ძაბვების და დეფორმაციების მიხედვით მარაგის კოეფიციენტების შეყვანა საშუალებას იძლევა დადგინდეს უსაფრთხოების თვალსაზრისით დასაშვები ჯამური დაზიანება ((2.11) და (2.15) ტიპის ფორმულები).  $k$  – სათვის დროის, ციკლების რიცხვის და ტემპერატურის მიხედვით დატვირთვის რეჟიმები:

$$[a] = \sum_i^K \{[a_i]\} \leq 1 \quad (2.15)$$

და შეფასდეს უსაფრთხო ექსპლუატაციის მარაგი, მათ შორის ავარიული რეჟიმებისას. საჭიროა აღინიშნოს, რომ მნიშვნელოვან გავლენას დაზიანების დაგროვებაზე, უშუალოდ კი რესურსზე ახდენენ როგორც კონსტრუქციული ფაქტორები, მათ შორის ძაბვის კონცენტრატორები, ისე მასალის მექანიკური თვისებებით  $\sigma_B, \sigma_T, \psi_k, S_k, m$  განსაზღვრული ტექნოლოგიური ფაქტორები. ამიტომ, ექსპლუატაციური და ავარიული დატვირთვების, აგრეთვე ბზარების შესაძლო ჩასახვის და

განვითარების პროცესში მასალების ფიზიკო-მექანიკურ დაზიანებებთან დაკავშირებით ჩნდება რთული შენობა-ნაგებობების მზიდი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დაზუსტების ამოცანები.

როგორც წესი, ავარიებს და კატასტროფებს თან ახლავს მომატებული კონცენტრაციის ზონებში ბზარების გაჩენა და განვითარება. ამ შემთხვევაში ცხადი ხდება კონცენტრაციის არეში კვლევების მიზანშეწონილობა და პერსპექტიულობა. ამგვარად, როგორც ექსპლუატაციის სტადიაზე, ისე პრინციპულად ახალი მაღალი რისკის კონსტრუქციების დაპროექტების დროს სიმტკიცის, ხანგამძლეობის, უსაფრთხოების და რესურსის პრობლემები, პრინციპულად ახალი კონსტრუქციული მასალების შექმნა შემცირებული დეფექტურობით და მაღალი ხანგამძლეობით მჭიდროდაა დაკავშირებული ბზარების (ბზარმედგობის) კინეტიკის გამოკვლევის ამოცანების დაყენებასა და გადაწყვეტასთან.

ზემოთქმულთან დაკავშირებით კონსტრუქციების ბზარმედგობის პროგნოზირებისა და დასაბუთებისას ძირითად მიზნებს და ამოცანებს წარმოადგენს: კონსტრუქციების სიმტკიცის, ხანგამძლეობის და უსაფრთხოების კომპლექსური კრიტერიუმების, ანალიზის მეთოდების და ნორმირების დამუშავება, ბზარის განვითარების მიმართ კონსტრუქციული მასალების წინაღმდეგობის მახასიათებლების საფუძველზე.

ამოცანების გადაწყვეტისათვის გამოიყენება ბზარების, სიმტკიცის თეორიის, დაღლილობის და საიმედოობის მექანიკის და ფიზიკის თანამედროვე თეორიული გარემოებები, პრინციპები და მეთოდოლოგიური მიდგომები, შემდეგი პრიორიტეტული მიმართულებების მიხედვით [59]:

– ფენომენალური მოდელების დამუშავება, რომელიც დაკავშირებულია ბზარების განვითარების ლოკალურ და არალოკალურ კრიტერიუმებზე ექსპერიმენტალური ფიზიკო-მექანიკური ზემოქმედებების და კოროზიული არეების პირობებში;

– ბზარისმაგვარი დეფექტების არსებობისას კონსტრუქციების კატასტროფული რღვევების და კრიტიკული, გარდამავალი ზღვარს გარე და დასაშვები მდგომარეობების კრიტერიუმების აგება;

– ბზარების მექანიკის არაწრფივი ამოცანების გადაწყვეტის ეფექტური ანალოგიური და რიცხვითი მეთოდების შექმნა, დაზიანებული კონსტრუქციების უსაფრთხოების, ხანგამძლეობის და რესურსის პრობლემების გადასაწყვეტად მიკრო და მაკრო ბზარების განვითარების სტატიკური მოდელირების მეთოდების განვითარება;

– ბზარების (მასალების და კონსტრუქციების ბზარმედევობის) კინეტიკის ექსპერიმენტალური გამოკვლევა რღვევის სხვადასხვა მექანიზმების რეალიზაციისას რთული დაძაბული მდგომარეობის პირობებში;

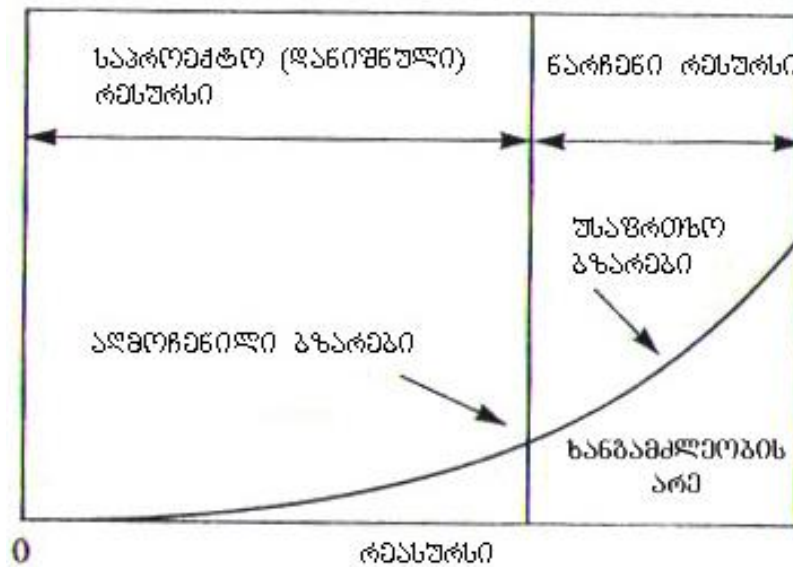
– მიკროსტრუქტურულად და ფიზიკურად მოკლე ბზარების გავრცელების ფენომენალური თეორიის აგება მრავალდერძული ციკლური დატვირთვის პირობებში, რაც რღვევის პროცესის მართვაზე გადასვლის საშუალებას იძლევა;

– კონსტრუქციების უსაფრთხოების, ხანგამძლეობის და რესურსის კრიტერიუმების მიხედვით მასალების ბზარმედევობისადმი მოთხოვნების დასაბუთება, პრინციპულად ახალი კონსტრუქციული მასალების შექმნა გაზრდილი ხანგამძლეობით;

– პრინციპულად ახალი ექსპერიმენტალური მეთოდების და საშუალებების, რღვევის ლოკალიზაციის და ბზარების გავრცელების შეჩერების საშუალებების დამუშავება ძლიერ დაზიანებულ მდგომარეობაში კონსტრუქციის უსაფრთხო ექსპლუატაციის რესურსის და ხანგამძლეობის უზრუნველყოფის მიზნით.

რესურსის განსაზღვრასთან დაკავშირებით დიდ მნიშვნელობას იძენს ზღვრული მდგომარეობის განმარტება არჩეულ კრიტერიუმზე დამოკიდებულებით. მაგალითად შენობა დაპროექტდა უსაფრთხო რესურსის პრინციპის მიხედვით, რომლის შესაბამისადაც კონსტრუქციაში პრაქტიკულად არ დაიშვებოდა საპროექტო (დანიშნული) რესურსის პერიოდის მანძილზე ბზარების წარმოქმნა. ამიტომ ბზარებით დაზიანებული კონსტრუქციების რესურსის გახანგრძლივება საპროექტოს საზღვრებს გარეთ შეიძლება უზრუნველყოფილი იყოს უსაფრთხო ზომებამდე ბზარის განვითარებისას მათი ხანგამძლეობის ხარჯზე (ნახ. 2.2). დაზიანების დაგროვების და ბზარების განვითარების პირობებში რესურსის

გახანგრძლივების შესაძლებლობა შეიძლება დასაბუთებული იქნას იმით, რომ დღეისათვის შექმნილია წინაპირობები, ბზარების მექანიკის თეორიული საფუძვლების და საინჟინრო მეთოდების პრაქტიკული გამოყენებისათვის, აგრეთვე ტექნიკური დიაგნოსტიკის საშუალებები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან საკმარისად ზუსტად განისაზღვროს ბზარისმაგვარი დეფექტები დაზიანებულ კონსტრუქციებში. ცხადია, ამასთან ერთად გატარებული უნდა იქნას კონსტრუქციის ხანგამძლეობის დაწვრილებითი ანალიზი კონსტრუქციის მასალების უსაფრთხო ექსპლუატაციის მოთხოვნების დაცვისას მისი ფიზიკო-მექანიკური დაზიანების გათვალისწინებით, აგრეთვე რეგლამენტირებული დეფექტოსკოპიური კონტროლის მიხედვით რეკომენდაციების დამუშავება.



ნახ. 2.2. ბზარების განვითარებასთან დაკავშირებული დაზიანებული ტექნიკური სისტემების რესურსი

### 3. შენობა-ნაგებობების საშიში დეფორმაციების მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის სისტემების დამუშავება

#### 3.1. შესავალი

დღეისათვის სამშენებლო ნაგებობების მონიტორინგის სისტემის შექმნა არ მოითხოვს მტკიცებულებებს და დასაბუთებებს. უფრო მეტიც მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში მიმდინარეობს სამშენებლო ნაგებობების ტექნიკური მონიტორინგის სხვადასხვა სისტემების შემუშავების აქტიური პროცესი.

ძირითადი საკითხი, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს, როგორც უფრო მეტად მნიშვნელოვანი ამ სფეროში – მონიტორინგის არსებული სისტემები რატომ არ გახდა კონსტრუქციებში დესტრუქციული ცვლილებების საიმედოდ და ეფექტურად მაძიებელი ინსტრუმენტი? საკითხი არცთუ მარტივია და პასუხი მასზე უნდა მოვიძიოთ მიზეზების მთელ რიგ კომპლექსში. ჩამოვთვალოთ მონიტორინგის სისტემების შემუშავებაზე გავლენის მქონე ძირითადი ასპექტები.

- ტექნიკური – ფიზიკო-ტექნიკური მიზეზების განსაზღვრა, რომლებზეც ბაზირდება გამზომი სისტემა;
- ტექნოლოგიური – ექსპლუატაციის და მონტაჟის სისტემების წარმოების მეთოდების და ხერხების შემუშავება;
- ეკონომიკური – სისტემის ღირებულებითი პარამეტრების ოპტიმიზაცია.

ჩამოთვლილი ასპექტების გარდა მნიშვნელოვანია აგრეთვე მონიტორინგის ადგილის სოციალური და ფსიქოლოგიური განსაზღვრა. რადგან მონიტორინგი საბოლოოდ ეხება ყოველ მოქალაქეს, აუცილებელია კანონმდებლობის ბაზა, რომელიც განსაზღვრავს და არეგულირებს მის მიზანს და ფუნქციას. ამასთან მონიტორინგის სტატუსის განმსაზღვრელი იურიდიული მექანიზმი უნდა შეესაბამებოდეს დანერგვის მოფიქრებულ პოლიტიკას, რომელიც ითვალისწინებს ფსიქოლოგიური აღქმის ყველა ასპექტს: ტექნიკურს, ტექნოლოგიურს და ეკონომიკურს.

### 3.2. მონიტორინგის სისტემის განხორციელების ბლოკ-სქემა

ცხადია, რომ მონიტორინგის ტიპური სისტემის არ არსებობის მიზეზი მდგომარეობს იმ ფაქტში, რომ მრავალი შემუშავებული სისტემა შემოიფარგლება კონტროლის ერთი ან რამდენიმე პარამეტრის განხილვით. ამასთან კონკრეტული პარამეტრების კონტროლი ხორციელდება სხვადასხვა ტიპის გადამწოდებით. რამდენადაც ნებისმიერ გამზომ სისტემას აუცილებლად აქვს ორი ძირითადი შემადგენელი ფიზიკური სიდიდეების გარდამქმნელი და დამუშავების ელექტრონული ბლოკი. მაშინ ყოველ მათგანში ერთგვაროვნების არ არსებობა მრავალჯერ ზრდის მონიტორინგის სისტემის სხვადასხვატიპობრიობას და როგორც შედეგი, ამცირებს ტიპური სისტემის შექმნის შესაძლებლობას.

სხვადასხვა ტიპის სისტემების სიმრავლიდან მიღებული ინფორმაცია ითხოვს დამუშავების რთული სისტემის შექმნას. მეორე მხრივ, სისტემის ავტომატიზაციის სპეციალისტები ანვითარებენ უფრო და უფრო რთულ ტექნოლოგიებს, ფიზიკური კონტროლის პროცედურების ოპტიმიზაციის საკითხებისგან დამოუკიდებლად. ამასთან კონკრეტული სისტემები იქმნებიან სხვადასხვა ამოცანების, კონსტრუქციების და საკონტროლო-გამზომი პირობების ქვეშ. შედეგად ჩნდება მოქმედების სხვადასხვა პრინციპის მქონე დამოუკიდებელი სისტემების მასა, ახალი ამოცანისას ჩნდება ახალი სისტემა და ა.შ. ტიპური სისტემა ასეთ პირობებში ვერ შეიქმნება. დასავლეთის ტექნოლოგიებით გატაცება ან მორალურად მოძველებული გადაწყვეტილებების გამოყენება ჩვენი სპეციფიკით განსაზღვრული თანამედროვე აქტიური მშენებლობის დროს, არ აახლოებს მიზნის მიღწევას.

მონიტორინგის სისტემის, როგორც ტიპური ინსტრუმენტის შექმნისათვის უნდა ჩამოყალიბდეს მიზანი. აუცილებელია შეიქმნას მონიტორინგის სისტემა საბაზო ვარიანტში, რომელიც ითვალისწინებს, როგორც მინიმუმ ყველა ტიპური საცხოვრებელი შენობის კონტროლს. მონიტორინგის საბაზო ვარიანტი უნდა უზრუნველყოფდეს ძირითადი პარამეტრების კონტროლს, რომლებიც პასუხისმგებლები არიან

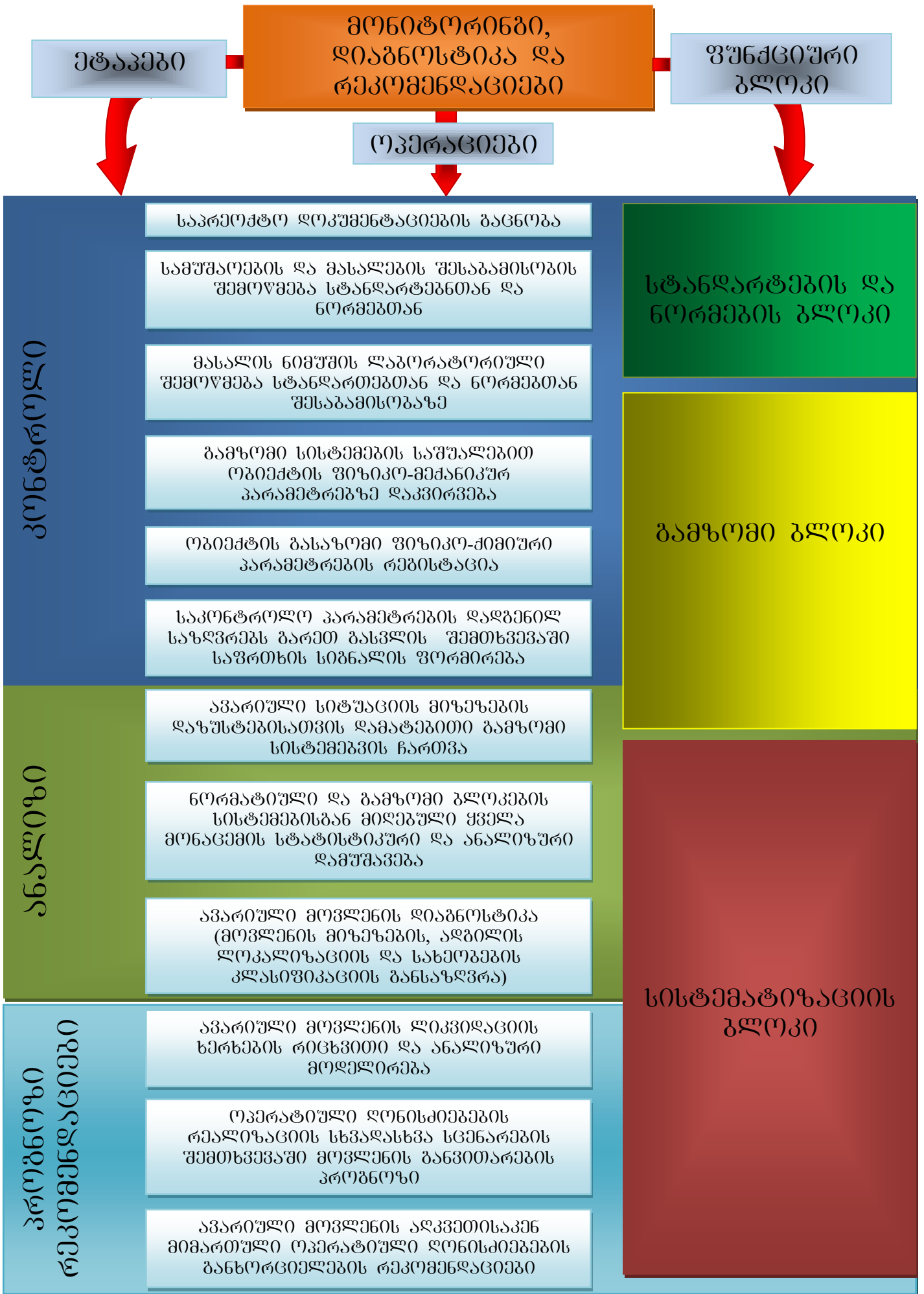
პოტენციური ავარიების უფრო მეტად გავრცელებულ მიზეზებზე. აუცილებლობისას საბაზო ვარიანტს უნდა ქონდეს გაფართოების შესაძლებლობა, როგორც კონტროლის წერტილების რაოდენობის მიხედვით, ისე საკონტროლო კონსტრუქციების სახეობის მიხედვით, აგრეთვე საკონტროლო პარამეტრების სიის მიხედვით. მონიტორინგის ტიპური სისტემა უნდა შეიცავდეს:

- საბაზო ფიზიკურ პრინციპზე აგებულ გამზომ ბლოკს;
- სიგნალების დამუშავების ელექტრულ ბლოკს, რომელიც ადვილად ადაპტირდება გაფართოებული საბაზო სისტემების დროს.

სამშენებლო მონიტორინგის ოპტიმალური სისტემების შემუშავების მიზნის მიღწევისათვის ნახ. 3.1-ზე, წარმოდგენილია საკონტროლო-გამზომი სისტემის ბლოკ-სქემა. მოვახდინოთ ამ სისტემის ძირითადი პარამეტრების ფორმულირება.

მონიტორინგის სისტემაში გამოყენებული საბაზო გადამწოდი წარმოადგენს დეფორმაციის (ამპლიტუდურ ბოჭკოვან-ოპტიკური ან სხვა ტიპის) გადამწოდს. გადამწოდს აქვს შესრულების რამდენიმე ვარიანტი, რომელიც იძლევა რკინაბეტონის კონსტრუქციაში მისი ჩასმის ან სამშენებლო ელემენტების ზედაპირზე დამაგრების შესაძლებლობას. გადამწოდის დამაგრება დესტრუქციის პოტენციური წყაროს (დიდი დატვირთვები, მომენტები) მაქსიმალურად შესაძლო წერტილებში რეგლამენტირდება პროექტის სტადიაზე.

კონტროლი შეიძლება მიმდინარეობდეს როგორც მონტაჟის განმავლობაში, ისე შენობის ექსპლუატაციის პერიოდში. სიგნალების დამუშავების ელექტრონული ბლოკი იღებს მუდმივ ინფორმაციას კონსტრუქციის მდგომარეობის შესახებ კონტროლის შიგა და გარე წერტილებიდან. საპროექტო მონაცემებთან ამ ინფორმაციის შედარება მუდმივ რეჟიმში იძლევა კონსტრუქციის „ჯანმრთელობის“ შესახებ დასკვნების გაკეთების საშუალებას.



ნახ. 3.1. სამშენებლო მონიტორინგის ორგანიზაციის სქემა



ამასთან ანალიზი წარმოებს ნაგებობის მდგომარეობის რიცხვითი მოდელირების გზით რეალურად გაზომილი მონაცემებით, რომლებიც შეაქვთ ანგარიშში. მიღებული შედეგი საშუალებას იძლევა გავიგოთ, როგორ დეფორმირდა შენობა მთლიანობაში. მნიშვნელოვანია აღვნიშნოთ, რომ ინფორმაცია მიიღება მხოლოდ ლოკალური დეფორმაციის მიხედვით, ხოლო დასკვნები შეიძლება გამოვიტანოთ მთლიანობაში შენობის ცვლილების მიხედვით. სისტემაში დამატებით არის ტემპერატურის ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდი, რომლის მგრძობიარე ელემენტის მინიატურობა საშუალებას იძლევა იგი ჩამაგრდეს ყველაზე ძნელად მისაღწევ ადგილებში, მათ შორის ისევ და ისევ რკინაბეტონის კონსტრუქციების შიგნით.

მიღებული სისტემა წარმოადგენს უნიფიკაციის მაგალითს მონტაჟის და დამზადების ტექნოლოგიების, საბაზო ფიზიკური პრინციპის მიხედვით, ამასთან ბოჭკოვანი ოპტიკის ბაზაზე ფიზიკური სიდიდეების გარდაქმნის მექანიზმების სხვადასხვაგვარობა საშუალებას იძლევა მოცული იქნეს პარამეტრების მთელი სპექტრი, რომელთა კონტროლი აუცილებელია მშენებლობაში. საპასუხისმგებლო ობიექტებისათვის ან დამატებითი კონტროლის აუცილებლობის შემთხვევებში გადამწოდების რაოდენობა იზრდება, სისტემა ივსება სხვა გადამწოდებით (როგორც ბოჭკოვან-ოპტიკური, ისე ტრადიციული). სისტემაში გამოყენებულ სიგნალების გადაცემის და დამუშავების ელექტრულ ბლოკს აქვს უნიფიცირებული სტრუქტურა. სიგნალების გადაცემა შეიძლება განხორციელდეს როგორც ბოჭკოვან-ოპტიკური კავშირის არხებით, ისე არსებული ელექტრული ქსელით (რაც არ მოითხოვს კავშირის არხების აღჭურვივის დამატებით სამუშაოებს), აგრეთვე უკაბელო ფორმატით.

ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდები წარმოადგენენ მაქსიმალურად უსაფრთხო გადამწოდების მაგალითს, რომლებიც იძლევიან ფეთქებადუსაფრთხოების და ხანძარუსაფრთხოების უზრუნველყოფის გარანტიას ფეთქებადი აირის ან აალებადი ნივთიერების პირობებშიც კი, გამომდინარე იქიდან, რომ ისინი არ შეიცავენ ელექტრულ ჯაჭვს და სიგნალებს. ამას გარდა, ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდები არ ექცევიან ელექტრომაგნიტური ველის გავლენის ქვეშ და თავად არ ახდენენ მათ

ინდუცირებას. სამშენებლო მონიტორინგის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემების დანერგვას სოციალურ-ფსიქოლოგიური აღქმის თვალსაზრისით ყველა ეს თვისება არა ნაკლებ მნიშვნელოვანია, ვიდრე რეალიზაციის ტექნიკური ასპექტები.

მონიტორინგის სისტემებში ჩვენს მიერ გამოყენებული სენსორების გამზომი კვანძების განთავსების საერთო პრინციპები განისაზღვრება შემდეგი პირობებით:

- კონკრეტული გადამწოდების კონტროლის ქვეშ მყოფი ზონები უნდა ფარავდნენ კონტროლირებადი ნაგებობების მაქსიმალურად შესაძლო მოცულობას ან ფართს;

- გადამწოდების მოწყობის რაოდენობა და ადგილი უნდა იყოს საკმარისი იმისათვის, რათა გასაზომი პარამეტრების აპროქსიმირებისას იყოს კონტროლირებადი პარამეტრის განაწილების ველების ადგილი სურათის მიღების შესაძლებლობა;

- გადამწოდების განთავსება ოპტიმიზირებული უნდა იქნეს იმგვარად, რომ ერთი ტიპის გადამწოდების მონაცემები შევადაროთ სხვა ტიპის გადამწოდების მონაცემებს სხვადასხვა პარამეტრების კორელაციის დონის შესახებ შემდგომი დასკვნების გამოტანით;

- გადამწოდების რაოდენობა უნდა იყოს მინიმიზირებული მონიტორინგის სისტემის შექმნის ხარჯების თვალსაზრისით;

- გადამწოდების ქსელის კონფიგურაცია უნდა უზრუნველყოფდეს გასაზომი კვანძის ზონაში შენობის ან ნაგებობის პარამეტრის ლოკალური კონტროლის მიღმა ნაგებობის გლობალური მახასიათებლების შეფასების შესაძლებლობას, კერძოდ, შენობების ან ნაგებობების მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაწილების ურთიერთქმედების კორელაციას.

ზემოთჩამოთვლილი პირობებიდან გამომდინარე საზღვრავენ გასაზომი კვანძების განთავსებას შემდეგ დონეებზე:

- გრუნტის საფუძვლის დონე, საძირკვლის ფილის ძირი – I დონე;
- საძირკვლის ფილის არმირების ზონის ქვედა დონე – II დონე;
- საძირკვლის ფილის არმირების ზონის ზედა დონე – III დონე;
- პირველი სართულის „მინუს“ დონე (თუ არსებობს) – IV დონე;

- პირველი სართულის დონე – V დონე;
- ვერტიკალის მიხედვით შენობის ცენტრში მყოფი სართულის დონე – VI დონე.

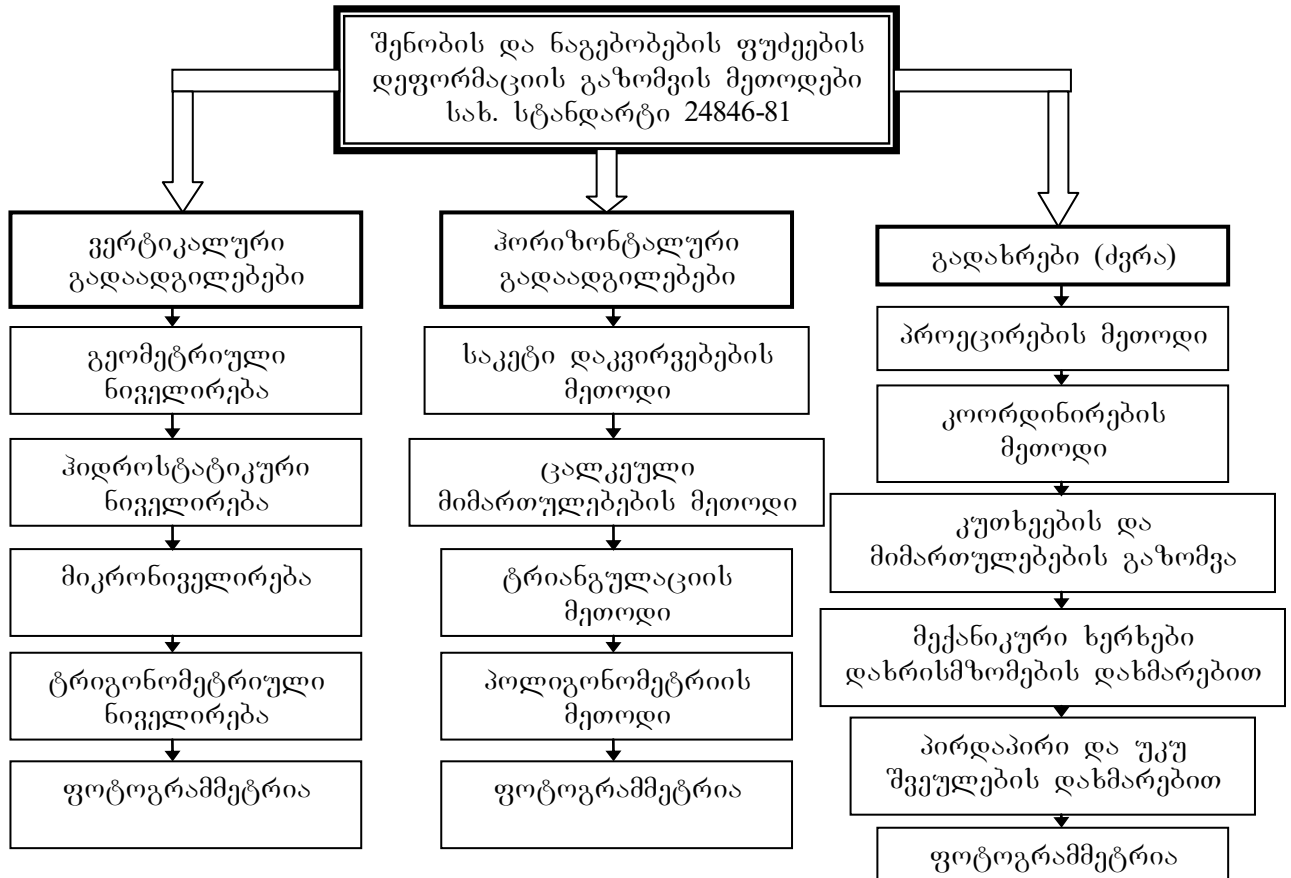
I-VI დონის ქსელის ორგანიზაცია საშუალებას იძლევა მივიღოთ ინფორმაციის რაოდენობა, რაც მთლიანად დაახასიათებს შენობის მდგომარეობას ნაგებობის შემადგენელ ყველა ძირითად ნაწილში ვერტიკალის მიხედვით: მიწისქვეშა ნაწილი (I-III დონე), მიწისქვეშა და მიწისზედა ნაწილების შეპირაპირების ზონა (IV-V დონე); მიწისზედა ნაწილი (VI დონე). ამ ამოცანის გადაწყვეტაში ძირითად პრინციპს წარმოადგენს შემდეგი პირობების დაცვა (ნახ. 3.2): I დონეზე განსაზღვრული გამზომი კვანძი იკავებს პროექციის ადგილს II, III, IV, V და VI დონეებზე შესაბამის გამზომ კვანძში. ამგვარად ყოველ დონეზე განთავსებულ ყველა გასაზომ კვანძს აქვს ერთი და იგივე კოორდინატები ( $x-y$ ) სიბრტყეში. ამ სახით ორგანიზებული გადამწოდების ვერტიკალური „ბუჩქი“ იძლევა სხვადასხვა დონეზე, მაგრამ ერთ ვერტიკალზე განლაგება გასაზომი პარამეტრების მონაცემების რეგისტრირების საშუალებას. ამიტომ არსებობს პარამეტრების კორელაციის გაანალიზების შესაძლებლობა კონკრეტული დონეების განთავსების სიმაღლის ცვლილების მიხედვით.

### 3.3 შენობების და ნაგებობების სივრცითი დეფორმაციის მონიტორინგი

ახალი მშენებლობის გავლენის ზონაში ან ბუნებრივ-ტექნოგენური ზემოქმედებით გამოწვეული საფუძვლის გრუნტის არათანაბარი ჯდომის გავლენის ქვეშ მყოფი შენობების სივრცით დეფორმაციაზე გეოდეზიური დაკვირვების ტრადიციული ტექნოლოგია ითვალისწინებს პერიოდული სამუშაოების ჩატარებას ვერტიკალური (ჯდომა) და ჰორიზონტალური (ძვრა) გადაადგილებების ცალ-ცალკე განსაზღვრისათვის, და აგრეთვე გადახრების გაზომვას.

ნაგებობის და მათი ელემენტების გადაადგილებები შეიძლება განისაზღვროს სხვადასხვა მეთოდებით [11], რომელიც მოცემულია

სქემაზე (ნახ. 3.2). მეთოდის შერჩევა დამოკიდებულია დეფორმაციის ხასიათზე გაზომვის სიზუსტის კლასის მოთხოვნებზე, აგრეთვე გეოდეზიური სამუშაოების ჩატარების პირობებზე.



ნახ. 3.2. შენობების და ნაგებობების ფუძეების დეფორმაციის გეოდეზიური გაზომვის მეთოდები

**ვერტიკალური გადაადგილებები.** სამოქალაქო და საზოგადოებრივი დანიშნულების ნაგებობების უმეტესობისათვის მათი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის ფარგლებში ფუძეების არათანაბარი დეფორმაციისას გაზომვის ძირითად მეთოდად იყენებენ **გეომეტრიულ ნიველირებას**, რაც ითვალისწინებს ნაგებობების ფუძის დონეზე დადგენილი გაზომვების ციკლების მიხედვით ჯდომის მანიშნების ვერტიკალურ გადაადგილებებზე დაკვირვებას, ეს მეთოდი დღეისათვის ფართოდ გავრცელებულია თავისი ღირსებების წყალობით, როგორცაა გაზომვების სიზუსტე და სიმარტივე, სამუშაოების

შესრულების შესაძლებლობა ნებისმიერი გარე პირობების მიუხედავად, ხელმისაწვდომობა, ხელსაწყოების კომპაქტურობა.

მანიშნებს შორის პირდაპირი ხილვადობის არ არსებობის პირობებში, გაზომვის შეზღუდული სივრცის შემთხვევაში მიზანშეწონილია **ჰიდროსტატიკური ნიველირების** გამოყენება, რომელსაც აქვს გაზომვის დიდი სიზუსტე და აგრეთვე საშუალებას იძლევა გამოყენებული იქნას ავტომატიზებული სტაციონალური სისტემები ინფორმაციის დისტანციური ჩაწერით. არსებობს ვიდეოგამზომი ჰიდროსტატიკური გაზომვის სისტემები სხვადასხვა სიმაღლის ჰორიზონტების გასაზომად. ერთმანეთის სიახლოვეს განლაგებული წერტილების ჯდომაზე (0.01 მმ) დაკვირვების მაღალ საიმედოობას უზრუნველყოფს **მიკრონიველირება**. სიმაღლის მკვეთრი ცვლილებების პირობებში, ძნელად მისადგომ ადგილებში განთავსებული გადასადები წერტილების არსებობისას, აგრეთვე წინააღმდეგობებისას ნიველირების წარმოებისას იყენებენ **ტრიგონომეტრიულ ნიველირებას**.

**ჰორიზონტალური გადაადგილებები.** ჰორიზონტალური გადაადგილებების გამოვლენა წარმოებს ობიექტის შესაბამისი წერტილების გეგმური კოორდინატების სხვადასხვაობის მიხედვით დაკვირვების სხვადასხვა ციკლებისას. **საკეტი გაზომვები** გამოიყენება სწორხაზოვანი ნაგებობების ან მათი ცალკეული ნაწილების ძვრის მიმართულების შესახებ ინფორმაციის არსებობისას. საკეტი გაზომვების ტრადიციულ ხერხებს მიეკუთვნება მცირე კუთხეების მეთოდი (საკეტის მომიჯნავე წერტილებს შორის პოლარული დაშორებების და მცირე კუთხის გაზომვა), მოძრავი მარკის მეთოდი (მოძრავი მარკის მეშვეობით საკეტი გადაადგილებების განსაზღვრა). **ცალკეული მიმართულებების მეთოდი** გამოიყენება საკეტი ჩამაგრების შესაძლებლობის არსებობისას, ამასთან იზომება ნაგებობებზე და საყრდენ პუნქტებზე დამაგრებული მარკების მიმართულებებს შორის კუთხეები.

**გადახრები (ძვრები).** გადახრების და ღუნვის შესახებ მონაცემებს იღებენ ნაგებობის საძირკვლის და კორპუსის მდებარეობაზე დაკვირვების შედეგების მიხედვით. გადახრის განსაზღვრისათვის გამოიყენება კონსტრუქციის ზედა წერტილის **პროექტირების მეთოდი**

სტაბილურ ფუძეზე თეოდოლიტის ან ვერტიკალური პროექციების ხელსაწყოების დახმარებით. *კუთხეების და მიმართულებების გაზომვის მეთოდი* გამოიყენება მაღალი ნაგებობებისათვის დახურული ფუძით და მდგომარეობის მარკაზე მიმართულების კუთხის ორი პუნქტიდან გაზომვაზე ობიექტის ზედა დონიდან და საყრდენი მიმართულებიდან.

*კოორდინატების მეთოდი* თავის თავში აერთიანებს საყრდენი გეოდეზიური ქსელის, ტრიანგულაციის მეთოდის ან პოლიგონომეტრიის შექმნას, რომლის წერტილებიდან განისაზღვრებიან ნაგებობებზე დამაგრებული დეფორმაციული მარკების კოორდინატები. *ტრიანგულაციის მეთოდი* ითვალისწინებს ტრიანგულაციური ქსელის შექმნას, სადაც იზომებიან ბაზისები და კუთხეები მანიშნების კოორდინატების შემდგომი გამოთვლით, უპირატესად გამოიყენება საკეტების ბოლო საყრდენი ნიშნების მდგრადი მდგომარეობის უზრუნველყოფის შეუძლებლობისას. მშენებლობის შევიწროებული (შეზღუდულ) პირობებში გამოიყენება პოლიგონომეტრიის მეთოდი, რომლისთვისაც საჭიროა მაღალი სიზუსტის მქონე კუთხური და წრფივი გაზომვები.

ნაგებობების ელემენტების გადაადგილების ცალკეული გაზომვის შედეგების მიხედვით გამოითვლება დეფორმაციული პროცესის ძირითადი მახასიათებლები (ცხრილი 3.1), ხდება ობიექტის დეფორმაციის შემდგომი პროცესის პროგნოზირება და მოწმდება საპროექტო ანგარიშების მართებულობა.

ნაგებობების დეფორმაციის ზემოთ ჩამოთვლილი მეთოდებიდან უმრავლესობა დღეისათვის კარგავს აქტუალობას შრომატევადობიდან გამომდინარე, აგრეთვე გეოდეზიური ხელსაწყოების ბაზის თანამედროვე სრულყოფის და განვითარების სისწრაფიდან გამომდინარე.

ცხრილი 3.1.

დეფორმაციის პროცესის მახასიათებლები			
დასახელება	აღნიშვნა	გამოსათვლელი ფორმულა	შენიშვნა
აბსოლიტური ჯდომა	$s$	$s = H_i^{mim} - H_i^{saw}$	$H - i$ წერტილის სიმაღლე
საშუალო ჯდომა	$\bar{s}$	$\bar{s} = \sum_l^n s/n$	$n$ - ჯდომების გაზომვის წერტილების რიცხვი
ჯდომების სხვადასხვაობა	$\Delta s$	$\Delta s_{i,j} = s_i - s_j$	$i, j$ - ჯდომების გაზომვის წერტილები
ჯდომების ფარდობითი სხვადასხვაობა	$\Delta s/L$	$\Delta s_{i,j}/L_{i,j}$	$L_{i,j}$ - მანძილი წერტილებს შორის
გადახრა (ჰორიზონტალური გადაადგილება)	$D(\Delta x, \Delta y)$	$\Delta x = x_i^{mim} - x_i^{saw}$ $\Delta y = y_i^{mim} - y_i^{saw}$ $D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$	$x, y - i$ წერტილის ჰორიზონტალური კოორდინატები
გადახრა ვერტიკალიდან	$u$	$u_x = x_i^{zeda} - x_j^{qveda}$ $u_y = y_i^{zeda} - y_j^{qveda}$	$i, j$ - ერთი ვერტიკალური სიბრტყის ზედა და ქვედა დონის წერტილები
დახრა	$\Delta u$	$\Delta u = u_i^{mim} - u_i^{saw}$	-
გადახრა (ძვრა)	$i$	$i = \frac{u}{h}$	$h$ - წერტილებს შორის გადახრა
ფარდობითი ჩაღუნვა (ამოღუნვა)	$f/L$	$\frac{f_{j-1i+1}}{L_{j-1i+1}} = \frac{(2s_i - s_{i-1} - s_{i+1})}{2L_{j-1i+1}}$	$f$ - ჩაღუნვის ისარი, $L$ სიგრძის უბანზე $i - 1, i$ და $i + 1$ წერტილებს შორის
გრეხვის ფარდობითი კუთხე	$v$	$v = (\beta_1 + \beta_2)/L$ $\beta_1 \cong tg\beta_1 = -(s_1 - s_2)/B$ $\beta_2 \cong tg\beta_2 = -(s_3 - s_4)/B$	$s_n - 1-4$ წერტილების ჯდომა ნაგებობის ტორსების მიხედვით $L, B$ - წერტილებს შორის დაშორება
დეფორმაციის საშუალო სიხქარე	$v$	$v = (s_i^k - s_i^n)/t$	$t - n$ და $k$ გაზომვის ციკლებს შორის დროის პერიოდი

ფუძის დეფორმაცია, როგორც მისგან გამოწვეული ნაგებობების დეფორმაციები, უმრავლეს შემთხვევაში ატარებენ სივრცით ხასიათს. მიუხედავად ამისა ხშირად გეოდეზიური მონიტორინგის მიხედვით სამუშაოების წარმოებისას, რაც რა თქმა უნდა აისახება ნაგებობების კონსტრუქციის ტექნიკურ მდგომარეობაზე დეფორმაციის გავლენის და მათი შემდგომი განვითარების პროგნოზირების შესახებ ტექნიკური

დასკვნის ხარისხზე. ეს იწვევს შეცდომებს შესაბამისი ღონისძიებების ჩატარების რეკომენდაციების შედგენისას, რაც აფრთხილებს კრიტიკული დეფორმაციებისას ნეგატიურ შედეგებს.

ფუძის დეფორმაციის რთული ხასიათისას აუცილებელი ხდება სახასიათო წერტილების მასივის სივრცითი გადაადგილებების გეოდეზიური გაზომვის განხორციელება რამოდენიმე დონეზე სიმაღლის მიხედვით და ობიექტის პერიმეტრზე. წარმოდგენილი ამოცანის რეალიზაცია ხდება შრომატევადი, თუკი გამოვიყენებთ მხოლოდ გაზომვის ტრადიციულ მეთოდებს.

დღეისათვის გადაწყვეტის უფრო ეფექტურ ხერხს წარმოადგენს ობიექტის მდგომარეობის სივრცითი აზომვა თანამედროვე ელექტრონული გეოდეზიური ხელსაწყოებით – ტახეომეტრით, რომელიც თავის თავში აერთიანებს კოდური თეოდოლიტის, ლაზერულმანძილმზომის და მინიკომპიუტერის ფუნქციებს. ასეთი ხელსაწყოები ფართოდაა გავრცელებული თანამედროვე სამშენებლო წარმოებაში და წარმოდგენილია სხვადასხვა ფირმების მიერ, როგორცაა: SOKKIA (იაპონია), Trimble Navigation (აშშ), Leica Geosystems (შვეიცარია), Topcon Positioning Systems (იაპონია), Nikon (იაპონია), Pentax (იაპონია) და ა.შ. სურ. 3.3-ზე მოცემულია ტახეომეტრის საერთო ხედი.

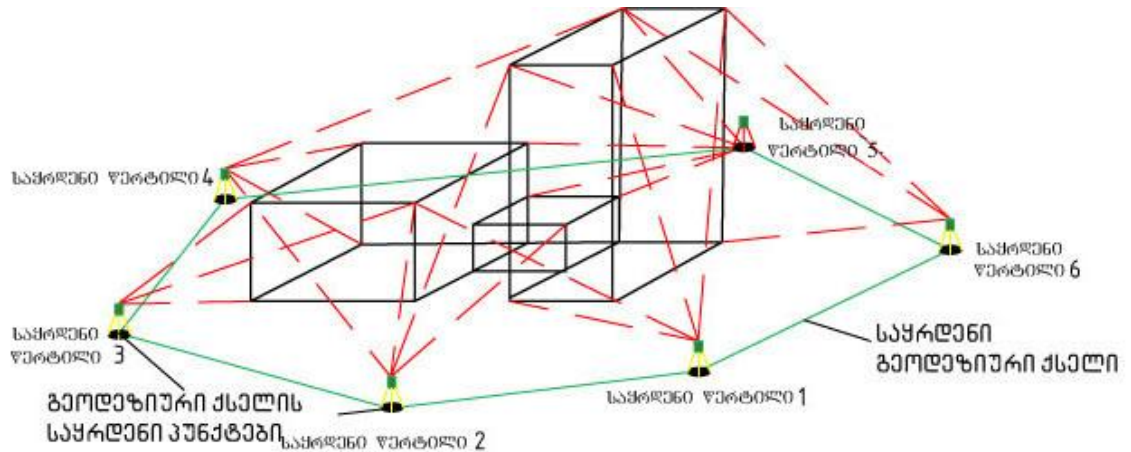


სურ. 3.3. ტახეომეტრის საერთო ხედი



ნაგებობის ტახეომეტრიული აზომვა (სივრცითი აზომვა) (ნახ. 3.4) ითვალისწინებს მონიტორინგის განსაზღვრულ ეტაპზე დანიშნული წერტილების მასივების სივრცით განსაზღვრას. ეს საშუალებას იძლევა გაზომვის სხვადასხვა ციკლში შესაბამისი წერტილების სივრცითი კოორდინატების ( $x_i$   $y_i$   $z_i$ ) მნიშვნელობების სხვადასხვაობის მიხედვით ერთდროულად გამოითვალოს როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტალური გადაადგილებები, გადახრა (ძვრა) და სხვა დეფორმაციული მახასიათებლები (იხ. ცხრილი 3.1).

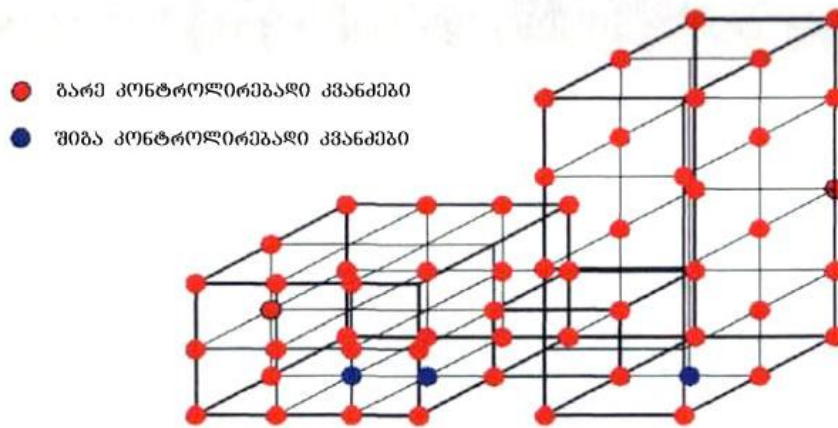
წერტილების მასივის სისტემატიზაციის მიზნით, რომლის გადაადგილებებიც თავისი არსით მონიტორინგის საგანს წარმოადგენს შემოვიტანოთ განსაზღვრება ნაგებობის დეფორმაციის კონტროლის სივრცითი-საკოორდინატო მოდელი (სივრცითი მოდელი).



ნახ. 3.4. მონიტორინგის ობიექტის სივრცითი აზომვა

ნაგებობების ზომები და მისი კონსტრუქციული სქემის დამოკიდებულებით სივრცითი მოდელი შეიძლება ფორმირებული იქნას მხოლოდ ობიექტის გარე კონტურის მიხედვით, ანუ შედგება გარე კონტროლირებადი წერტილებისგან (კვანძებისგან), რომლებიც ფასადზეა დაფიქსირებული ობიექტის დიდი გაბარიტების ან მისი რთული კონსტრუქციული სქემის შემთხვევაში გაზომვის სიზუსტის და დეფორმაციის დამატებითი კონტროლის შესაძლებლობების ამაღლებსათვის სივრცითი მოდელი უნდა შეიცავდეს საკონტროლო კვანძებს ობიექტების შიგნით (ნახ. 3.5). მოცემული კვანძების ჯდომა განისაზღვრება შენობის შიგნით გეომეტრიული ნიველირების გზით, ამასთან ციფრული ნიველირება მნიშვნელოვნად ზრდის სამუშაოს

ტემპებს. ნაგებობის ფუძის დონეზე განთავსებული გარე კონტროლირებადი კვანძები, შეიძლება დუბლირებული იქნეს სტანდარტული ჯდომის მარკების დახმარებით, რომლებიც განთავსებულია ობიექტების როგორც შიგნით, ისე გარეთ.



ნახ. 3.5. ნაგებობის დეფორმაციის კონტროლის სივრცითი მოდელის გარე და შიგა კონტროლირებადი კვანძები

მონიტორინგის ობიექტების სივრცითი მოდელების ფორმირება დაკავშირებულია რამოდენიმე ძირითადი საკითხის გადაჭრასთან:

- სივრცითი მოდელის კონტროლირებადი კვანძების არჩევის კრიტერიუმების განსაზღვრა;
- გეგმურ-მაღლივი გეოდეზიური საფუძვლის ფორმირებასთან მოთხოვნების განსაზღვრა;
- მონიტორინგის ობიექტთან შეხლულული დაშვების პრობლემის გადაჭრა;
- სივრცითი მოდელის შექმნისათვის გაზომვის სიზუსტესთან მოთხოვნების განსაზღვრა;
- გაზომვის შედეგების მათემატიკური დამუშავება.

სივრცითი მოდელი წარმოადგენს ურთიერთდაკავშირებული წერტილების (კვანძების) სტრუქტურირებულ მასივს. რომელიც ასახავს მონიტორინგის ობიექტის ძირითად გეომეტრიულ განსაკუთრებულობებს, მისი კონსტრუქციული სქემის განსაკუთრებულობების გათვალისწინებით. სივრცითი მოდელების ფორმირება ხორციელდება რამოდენიმე ეტაპად. აუცილებელი ინფორმაციის შეკრება წარმოებს

მონიტორინგის მომზადებულ ეტაპზე ნაგებობის კონსტრუქციის ტექნიკური მდგომარეობის კომპლექსური საინჟინრო გამოკვლევის მიმდინარეობისას.

*I ეტაპი* – საწყის ეტაპზე, საპროექტო დოკუმენტაციის არსებობის შემთხვევაში ნაგებობის ძირითადი განსაკუთრებულობების გამოვლენა შეიძლება მოხდეს მონიტორინგის ობიექტის ნახვის გარეშეც. ამასთან არქიტექტურული ნახაზების მიხედვით (გეგმები, ფასადები ჭრილები) ფიქსირდება ობიექტის ისეთი მახასიათებლები, როგორცაა:

- გაბარიტები (ზომები)
- კონფიგურაცია გეგმაში
- სართულიანობა
- ძირითადი ღერძების განლაგება

კონსტრუქციული ნახაზების მონაცემების დეტალური გაცნობისას ძირითადი ყურადღება ეთმობა:

- მზიდი კონსტრუქციების განლაგების სქემებს;
- ნაგებობის სივრცით სიხისტეს;
- საძირკვლების ტიპს.

დეფორმაციული მანიშნების განთავსების პროექტის შედგენისას ნაგებობის სახასიათო წერტილებში დამატებით აუცილებელია მოშენების მოედნის საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობების მონაცემები, რომელთა შესაბამისად შემდგომში განისაზღვრება:

- ჯდომის დასაშვები აბსოლიტური სიდიდეები;
- ჯდომების საპროექტო წინასწარ დასაშვები არაერთგვაროვნება.

დანიშნულების, გაბარიტების, კონსტრუქციული სქემის და სხვა განსხვავებული ობიექტებისათვის საერთო შემთხვევებში სივრცითი მოდელების კონტროლირებადი კვანძები განლაგდება:

- კარკასის კვანძებში;
- მზიდი გრძივი და განივი კედლების გადაკვეთის ადგილებში;
- დეფორმაციული ნაკერების განთავსების ზონაში;
- ნაგებობის ცალკეული ნაწილების შეპირაპირების ადგილებში და სხვა.

ამგვარად, გარე კონტროლირებადი კვანძები უნდა განლაგდნენ აუცილებელი რიგობრიობით გარე კედლების პერიმეტრზე და კუთხეების მიხედვით, ნაგებობის ღერძის ბიჯის და სართულების გადახურვის დონის შესაბამისად (საძირკველი – პირველი სართული, შემდეგ არჩეული გადახურვები), უნდა იმყოფებოდნენ სიმაღლის მკვეთრი ცვლილებების ადგილებში, ბურჯის მიკვრის ადგილებში და ა.შ.

კონტროლირებადი კვანძების რაოდენობა საკმარისი უნდა იყოს მონიტორინგის ობიექტის სივრცითი დეფორმაციის განსაზღვრისათვის და ჯდომის პროცესის არაერთგვაროვნების გამოვლენისათვის. ამასთან აუცილებელია გავითვალისწინოთ დიდი რაოდენობის წერტილების გაზომვის სირთულე და ეკონომიური მიზანშეწონილობა, გეოდეზიური გაზომვის სიზუსტის შემცირება, რაც პირდაპირაა დამოკიდებული აზომვის სადგურების რაოდენობაზე (ჩაღუნვის მდებარეობაზე). ასევე აუცილებელია აღნიშნული იქნას, რომ მაქსიმალურად სარწმუნო მონაცემების მისაღებად გაზომვების ერთი ციკლის შესრულების დროს უნდა იძლეოდეს ობიექტის სტაბილური მდგომარეობის გარანტიას. მოცემული ეტაპის დასასრულს ინიშნება სივრცითი მოდელების კონტროლირებადი კვანძების წინასწარი განთავსების ადგილები.

**II ეტაპი** – სივრცითი მოდელების კვანძების წინასწარი არჩევის შემდეგ წარმოებს მათი რაოდენობის და ადგილზე განლაგების კორექცია მონიტორინგის ობიექტის ვიზუალური შესწავლის მიმდინარეობისას შემდეგის გათვალისწინებით:

- გარშემო არსებული განაშენიანების პირობების;
- ნაგებობების ექსპლუატაციის განსაკუთრებულობების.

ახლომდებარე ტერიტორიის მჭიდრო განაშენიანების პირობებში საჭიროა:

- მონიტორინგის ობიექტის სივრცითი მოდელების კვანძების დანიშნულ მდებარეობასთან მისაწვდომობის ხარისხის განსაზღვრა;
- კონტროლირებადი წერტილების რაოდენობის შემცირების შესაძლებლობის განსაზღვრა მათი აზომვის შეუძლებლობისას.

ვიზუალური გაცნობის მნიშვნელოვან ასპექტს შეიძლება მივაკუთვნოთ ნაგებობების გარე მოპირკეთების კონსტრუქციების დაწვრილებითი შესწავლა ჯდომის და დეფორმაციის მანიშნის ტიპის არჩევის მიზნით.

ს-მოდულების შიგა კვანძების ადგილმდებარეობა და რაოდენობა შეიძლება იცვლებოდეს შენობის შიგნით განთავსებული მზიდი კონსტრუქციების ზედაპირებთან მიღწევის პირობებზე დამოკიდებულებით.

**III ეტაპი.** ნაგებობებზე კონტროლირებადი კვანძების მდებარეობის ფიქსაცია ხორციელდება დეფორმაციული მანიშნების დახმარებით. ამასთან შესაძლებლობის მიხედვით, აუცილებელია დავიცვათ საკეტების ვერტიკალურობის და მანიშნების დაყენების დონის ჰორიზონტალურობის მოთხოვნები. შემდეგ ფასადების დეტალურ სქემებზე ფიქსირდება გარე დეფორმაციის მანიშნების საბოლოო ადგილმდებარეობები. სართულების გეგმებზე დაიტანება შიგა ჯდომის მარკების ადგილები მზიდი კონსტრუქციების მდგომარეობის მაღლივი კონტროლისათვის. ყოველ მარკას ენიჭება ნომერი, მისი მდებარეობის შესაბამისად, რომლის ქვეშაც შემდგომში ფიქსირდება ყველა დაკვირვება, რომელიც ეხება მოცემულ მარკას.

## **მოთხოვნები საყრდენი გეოდეზიური ქსელის აგების მიმართ**

მონიტორინგის ობიექტების სივრცითი მოდულების აგების მნიშვნელოვან ეტაპს წარმოადგენს საყრდენი გეოდეზიური ქსელის (სგქ) აგება, რომელიც წარმოადგენს წერტილების ადგილმდებარეობაზე არჩეულ და ჩამაგრებულ სისტემას, რომელიც ემსახურება გეოდეზიური აზომვის საყრდენ პუნქტებს. სგქ-ს წერტილების საერთო მოთხოვნები შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით [11]:

- დეფორმაციული პროცესების გავლენის ზონის მიღმა განთავსებული ან მოცემული ზონის საზღვრებს გარეთ საკონტროლო ორიენტაციული წერტილების არსებობა;

- სხვადასხვა სახეობის ვიბრაციული პროცესების გავლენის და წერტილების რღვევის შესაძლებლობის არსებობა;
- წერტილის მდგომარეობის სტაბილურობის მუდმივი კონტროლი.

გეგმურ-მაღლივი ქსელის ობიექტების გარე კონტროლირებადი კვანძების ტაქტომეტრული აზომვისათვის იქნება პოლიგონომეტრიის მეთოდით, რომელიც უფრო ხშირად გამოიყენება ქალაქის პირობებში და შეიცავს სგკ წერტილებზე განთავსებული სადგურებს, იმ რაოდენობით რაც საკმარისია ობიექტის ყველა მარკირებული წერტილის მდგომარეობის ფიქსაციისათვის. ამასთან დასაშვებია „დაკიდული“ სადგურების არსებობაც. სივრცითი მოდელის კონტროლირებადი კვანძების გადაადგილების სიდიდის განსაზღვრისათვის დეფორმაციული ზონის საზღვრებს გარეთ ჩაიწყო 3-4 საყრდენი ნიშანი. მათ სტაბილურობაზე მსჯელობენ საწყის და მიმდინარე ციკლში მათი კოორდინატების და სიმაღლეების თანხვედრის მიხედვით.

სგკ-ს ფორმა განისაზღვრება განაშენიანების ტერიტორიის, მონიტორინგის ობიექტების ფორმის და ფართობის და მასთან მიღწევის მიხედვით [26]. ამაზე დამოკიდებულებით ქსელი პროექტირდება ცალკეული სვლის სისტემის სახით საკვანძო წერტილებით. ნაგებობის აზომვა ხორციელდება კოორდინატების პირობით (ადგილობრივ) სისტემაში. ასეთი სისტემის ღერძების უფრო ხელსაყრელი განთავსება მიიღწევა ნაგებობის გრძივ და განივ ღერძებთან მათი მიმართულების თანხვედრისას, რაც საშუალებას იძლევა შუალედური გამოთვლების გარეშე განისაზღვროს მოცემული ღერძების ახლოს სივრცითი მოდელის კვანძების გადაადგილება.

შიგა კონტროლირებადი კვანძების ჯდომის ვერტიკალური შემადგენლობის განსაზღვრის მიზნით შექმნილი მაღლივი ქსელი ფორმირდება გეომეტრიული ნიველირების მეთოდით და შეიცავს საყრდენ რეპერებს, რომელთა მაღლივი მდებარეობა რჩება პრაქტიკულად უცვლელი. რეპერის ტიპი დგინდება მოედნის გრუნტულ პირობებზე დამოკიდებულებით:

- სიღრმითი რეპერები, რომელთა საფუძვლები ჩაიწყო კლდოვან, ნახევრადკლდოვან ან სხვა ძირითად პრაქტიკულად არაკუმშვად გრუნტებში;
- გრუნტული რეპერები, რომელთა საფუძვლები ჩაიწყო სეზონური გაყინვის ან გრუნტის გადაადგილების სიღმის ქვეშ;
- კედლის რეპერები, რომლებიც მაგრდება მიმდებარე შენობების და ნაგებობების მზიდ კონსტრუქციებზე, რომელთა საძირკველის ჯდომა პრაქტიკულად სტაბილიზებულია.

მაღლივი სგქ იწყო ერთეული ბიჯის სახით ან საყრდენ რეპერებს შორის ბიჯების სისტემის სახით, რომლებიც ჩაიწყო არა უგვიანეს 2 თვით ადრე, ვიდრე დაიწყება ნაგებობის დეფორმაციაზე დაკვირვება. მაღლივი ნიველირების საყრდენი რეპერების მიმართ მოთხოვნები:

- დეფორმაციული პროცესების გავლენის ზონის მიღმა განლაგება ჯდომადი გრუნტის ფენის სამმაგ მანძილზე, ან ქვაბულის მიმაგრების მეთოდზე დამოკიდებულებით მონიტორინგის ობიექტის მიმდებარე ტერიტორიაზე მშენებლობის განხორციელებისას;
- არა ნაკლებ სამი საკონტროლო რეპერის არსებობა;
- დაკვირვების ყოველი ციკლისათვის საყრდენი რეპერების სტაბილურობის კონტროლის შესაძლებლობა.

შიგა ჯდომადი მანიშნების ნიველირება უნდა წარმოებდეს სიმაღლის ერთიან სისტემაში გარე დეფორმაციის მანიშნებთან ერთად ინფორმაციის შემდგომი დამუშავების გამარტივებისათვის. სგქ-ს პუნქტების ზუსტი განლაგება და კონსტრუქცია შემუშავდება უშუალოდ იმ ორგანიზაციის მიერ, რომელიც აწარმოებს გაზოგებს, შესაბამის საექსპლუატაციო და კომუნალური ორგანიზაციების მიერ დამტკიცებული გეგმის მიხედვით და შეთანხმებით.

## დეფორმაციული და ჯდომადი მანიშნების დამზადების და დაყენების ტექნოლოგია

საერთო შემთხვევებში დეფორმაციული და ჯდენითი მანიშნები – ესაა გეოდეზიური ნიშნები, რომლებიც მჭიდროდაა დამაგრებული ნაგებობის კონსტრუქციებზე, როგორცაა კედლები, კოლონები, კოჭები, გადახურვები, საძირკვლები და ა.შ, რომლებიც თავის სივრცით მდებარეობას იცვლიან ფუძის არათანაბარი ჯდომის და დეფორმაციის შემდგომი გადანაწილების შედეგად მთელი ნაგებობის მოცულობაში.

*გარე დეფორმაციული მანიშნები.* სამშენებლო კონსტრუქციების ელემენტების გადაადგილებების სივრცითი შემადგენლის გაზომვისას წინასწარ არჩეულ წერტილებზე (სივრცითი მოდელის კვანძები) ელექტრონული ტაქომეტრის გამოყენებით აყენებენ შუქდამბრუნებელ დეფორმაციულ მარკებს თვითწებვადი ამრეკლების სახით, რომლებიც საიმედოდ ეწებება ნებისმიერ თანაბარ ზედაპირს. ამრეკლები წარმოადგენს ბრტყელ თვითწებვად ფირს (ნახ. 3.6,ა), რომლის გარე ზედაპირზე დატანილია კატაფორული ფენა მიკროპრიზმების ან 0.05-დან 0.3 მმ-მდე დიამეტრის შუშის ბურთულების სახით. ფირები მზადდება სხვადასხვა ზომის, უპირატესია მართკუთხა ფორმები, აქვთ მიმართვის ფიქსირებული წერტილი.

თვითწებვადი მარეკლების გამოყენება იძლევა შრომის დანახარჯის ეკონომიის საშუალებას, კედლებში ღიობების გაბურღვის და დუბელების დაყენების აუცილებლობის არარსებობის შედეგად. ამრეკლებს შეუძლიათ აიტანონ სეზონური კლიმატური ზემოქმედებები.

*ჯდომის მანიშნები გეომეტრიული ნიველირებისათვის.* შედარებით მკაცრი მოთხოვნები წაყენება ჯდომის მანიშნებს, რომლებიც მაგრდება შიგა კონტროლირებადი კვანძების განლაგების ადგილებში, რაც გამოიყენება ნიველირის ლარტყის დასამაგრებლად ან ჩამოსაკიდად. მოცემულ შემთხვევაში მათი კონსტრუქციები უნდა უზრუნველყოფდნენ ლარტყის მდგომარეობის ფიქსირების სიზუსტეს, მდგრადობას, ხანგრძლივ შენახვას, აგრეთვე უნდა უზრუნველყოფდნენ ნიველირების სამუშაოების წარმოების მეტად ხელსაყრელ პირობებს.

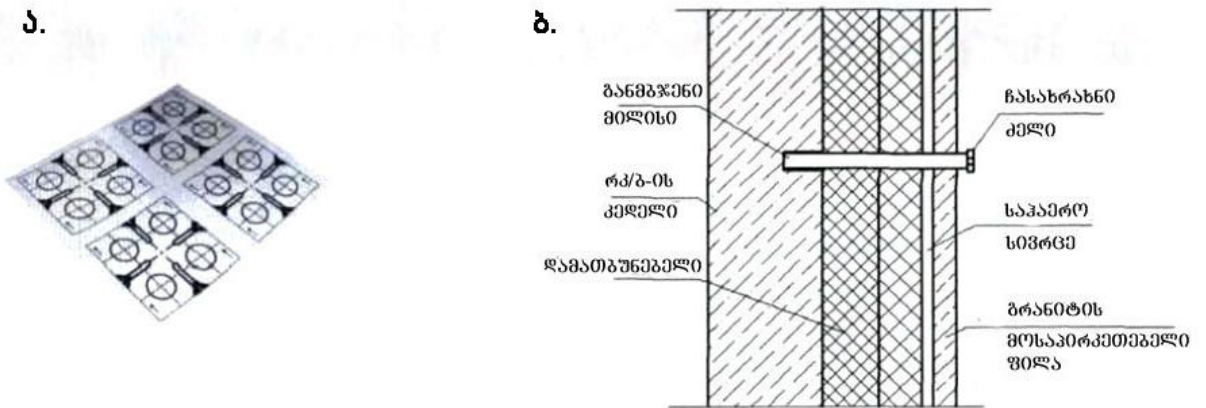


დაყენების ადგილების შესაბამისად ჯდენის მანიშნები იყოფა კედლის (კონსტრუქციის ვერტიკალურ საზღვრებზე) და მანიშნი-კონსტრუქციები (ნაგებობის ცალკეული დეტალები, გამოიყენება მანიშნებად). კედლის გარე ჯდომის მანიშნები ძირითადად ყენდება მოკირწყვლის დონიდან  $0.4 \pm 0.8$  მ-ის დაშორებით. მანიშნები შენობის შიგნით ჩაიწყობა აზომვისათვის მოსახერხებელ სიმაღლეზე ნაგებობის კონსტრუქციებთან დაშვების შესაძლებლობის გათვალისწინებით.

ტრადიციულად ჯდომის მანიშნები მოწყობის და ჩამაგრების ხერხზე დამოკიდებულებით სრულდება:

- გარე და შიგა აგურის (ბლოკის) კედლებში და სვეტებში, რკინაბეტონის და ბეტონის კონსტრუქციების ტანში ჩასაწყობი;
- ზედაპირულები, რომლებიც მაგრდება ფოლადის ჩასაწყობ ზოლებზე, ან ფოლადის კოლონებზე;
- დახურული (მექანიკური დაზიანების ადგილებში);
- ფარული, შკალური და ა.შ.

შემუშავებული მეთოდიკის რეალიზაციისას შიგა კონტროლირებადი კვანძების ნიველირებისათვის გამოიყენებოდა ზედაპირული ჯდომის მანიშნები, რომლებიც ყენდებოდა გადახურვის მზიდ კოჭებზე და მექანიკური ზემოქმედებისგან დაცულ სათავის შიგა მოპირკეთების კონსტრუქციებზე (დაკიდული ჭერი). სარწმუნო შედეგების მიღების მიზნით გარე ჯდომის მარკები იმ ობიექტებისათვის, რომლებსაც აქვთ ვენტილირებადი ფასადები და გარე თბოიზოლაცია, რაც დამახასიათებელია დღეისათვის აგებული სხვადასხვა დანიშნულების უმეტესი შენობებისათვის, ეწყობოდა მზიდი კონსტრუქციების ტანში ჩასაწყობი ანკერების სახით. ამ ანკერებში გაზომვის მომენტში ჩაიხრახნება ლითონის ძელი, რაც წარმოადგენს ლარტყის ჩამაგრების საყრდენს (ნახ. 3.6,ბ). მონიტორინგის მთელი პერიოდის მანძილზე მანიშნების შენარჩუნების უზრუნველსაყოფად ისინი სრულდებოდა მოსახსნელი.



ნახ. 3.6. დეფორმაციის და ჯდომის მანიშნები ა) ბრტყელი თვითწებვადი დეფორმაციის მანიშნები ბ) კედლის ჯდომის მანიშნის მოწყობილობა

### სამგანზომილებიანი ლაზერული გადახრის მზომი სივრცითი კოორდინატების გაზომვისათვის

იქ, სადაც ტახომეტრი ვერ მუშაობს გამოიყენება ჩვენს მიერ დამუშავებული სამგანზომილებიანი ლაზერული გადახრის მზომი, რომლის ფუნქციონალური სქემა და საერთო ხედი მოცემულია სურ. 3.7-ზე.



სურ. 3.7. სამგანზომილებიანი ლაზერული მზომი

სივრცითი აზომვის ტექნოლოგიის გამოყენება შეზღუდული დაშვების პირობებში სამგანზომილებიანი ლაზერული გადახრის მზომის გამოყენებით ტრადიციულ ტექნოლოგიებთან შედარებით, რომლებიც დაფუძნებული იყო სტანდარტული ბრტყელი მარკების გამოყენებაზე საშუალებას იძლევიან:

- გაზომვების შრომატევადობის შემცირება აზომვის სადგურის არარსებობის ხარჯზე, რომლებიც თავსდება გართულებული მიღწევადობის ადგილებში (მიმდებარე ნაგებობების სახურავები, საგალი ნაწილები, ტერიტორიის ნაწილები და ა.შ.);
- ნაგებობის სახასიათო წერტილების სივრცითი გადაადგილების უფრო სრული სურათის მიღების უზრუნველყოფა გარე სივრცითი მოდელის კვანძების რაოდენობის ზრდის ხარჯზე, რომლებიც განლაგებულია ზედა კონტროლირებად ჰორიზონტალურ დონეებში.

## **კონტროლირებადი კვანძების დეფორმაციის მონიტორინგი**

ამოცანის გადაწყვეტისათვის გამოყენება გადაადგილებების განსაზღვრის კოორდინატთა მეთოდი. მონიტორინგის ობიექტის სივრცითი მოდელის დეფორმაციების დროს გარკვეულ შუალედში განსაზღვრავენ დეფორმაციული მანიშნების ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გადაადგილება სიდიდეებით, რომლებიც დაყენებულია ნაგებობის კონტროლირებად კვანძებში, რომლებიც გამოითვლება, როგორც შესაბამისი მანიშნების კოორდინატებსა და სიმაღლეებს შორის სხვაობა მონიტორინგის სხვადასხვა ეტაპზე. ამასთან საწყის (ათვის სათავე) მდგომარეობად მიიღება გაზომვების I ციკლის შედეგები.

*გარე კონტროლირებადი კვანძები.* სივრცითი მოდელის გარე კონტროლირებადი კვანძების გეგმური და მაღლივი განსაზღვრა სრულდება მათი სივრცითი კოორდინატების გაზომვის გზით კოორდინატების ადგილობრივ სისტემაში პოლარული მეთოდით წინასწარ შექმნილი სქემით, რისთვისაც გამოიყენება სამგანზომილებიანი ლაზერული მზომი.

მჭიდრო საქალაქო დასახლება განაპირობებს დიდი რაოდენობის შუალედური სადგურების გამოყენების აუცილებლობას სივრცითი აზომვის წარმოებისას და პოლიგონომეტრულ სველებში მოკლე მხარეების ჩაწყობას, რაც ამცირებს ორიენტირების სიზუსტეს შემდგომ სადგურზე. ამ მოვლენის აღსაკვეთად რეკომენდებულია სტაციონალური არაგადასატანი დამატებითი საორიენტაციო წერტილების გამოყენება, რომლებიც პოლიგონომეტრიული სველის სადგურიდან მოშორებულია მანძილით, რაც ამცირებს ცენტრირების და რედუქციის გავლენას.

მოცემულ ნაშრომში დამუშავებულია სივრცითი აზომვის ტექნოლოგიის რეალიზება შეზღუდული დაშვების პირობებში სამგანზომილებიანი ლაზერული გადახრის მზიმის დახმარებით საშუალებას იძლევა ამაღლდეს სივრცითი აზომვის ეფექტურობა სკპ სადგურების რაოდენობის შემცირების და მათ შორის მანძილის გაზრდის ხარჯზე, რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს გაზომვებისას ორიენტირების სიზუსტის გაზრდაზე.

პოლიგონომეტრიული სველის სადგურების კოორდინატები  $S_1, S_2, S_3 \dots S_{q-1}, S_q$ , განისაზღვრება კოორდინატთა არჩეულ სისტემაში ადგილზე წრფეების სიგრძის  $L_1, L_2, \dots, L_{q-1}$  გაზომვის გზით, რომლებიც თანმიმდევრობით აერთებენ ამ სადგურებს და ქმნიან პოლიგონომეტრიულ სველას, აგრეთვე მათ შორის ჰორიზონტალურ კუთხეებს  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_a$  [26]. პოლიგონომეტრიული სველა ჩაიწყობა საყრდენი (საწყისი) სადგურიდან  $S_1 = S_H$  ცნობილი კოორდინატებით  $x_H, y_H$  და მოცემული დირექციული კუთხეებით  $\alpha_H$  გადამკვეთ წერტილზე  $S_{CH}$ . მაშინ  $k + 1$  სველის სადგურისათვის

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \alpha_H + \sum_{k=1}^k \beta_k - k180^0; \\ x_{k+1} &= x_H + \sum_{k=1}^k L_k \cos \alpha_k; \\ y_{k+1} &= y_H + \sum_{k=1}^k L_k \sin \alpha_k, \end{aligned} \quad (3.1)$$

სადაც:  $\alpha_k$  –  $k$  მხარის დირექციული კუთხე;

$x_{k+1}, y_{k+1}$  – პოლიგონომეტრული სველის  $k + 1$  პუნქტის კოორდინატებია

$L_k$  – სველის პუნქტებს შორის წრფის სიგრძე;

$\beta_k$  – სველის მხარეებს შორის კუთხეები.

პოლიგონომეტრიული სვლის (ბიჯის) ჩაწობასთან ერთდროულად წარმოებს დეფორმაციის მარკების აზომვა სივრცითი მოდელის ვერტიკალური საკეტის მიხედვით მათი განთავსების შესაბამისად. გაზომვების სიზუსტის ამაღლების მიზნით საკეტების აზომვა შესაძლებლობის მიხედვით დუბლირდება სვლის (ბიჯის) მეზობელი სადგურებიდან (ნახ. 3.8).



ნახ. 3.8. სივრცითი მოდელის ვერტიკალური სვლის ტაქომეტრიული აზომვა

დეფორმაციის მარკების სივრცითი კოორდინატები, რომელშიც მოწყობილია კონტროლირებად კვანძებში, განისაზღვრება დეფორმაციის მანიშნებზე დახრის კუთხის და მანძილების გაზომვის შედეგების მიხედვით ხელსაწყოში სვლის სადგურის კოორდინატების მნიშვნელობების და ინსტრუმენტის სიმაღლის საფუძველზე (ნახ. 3.9).

$$\begin{aligned} x_i &= X_k + N \sin \theta \cos \alpha; \\ y_i &= Y_k + N \sin \theta \sin \alpha; \\ z_i &= Z_k + N \cos \theta + I_h, \end{aligned} \quad (3.2)$$

სადაც:  $X_k, Y_k, Z_k$  –  $k$  პოლიგონომეტრიული სვლის კოორდინატებია;

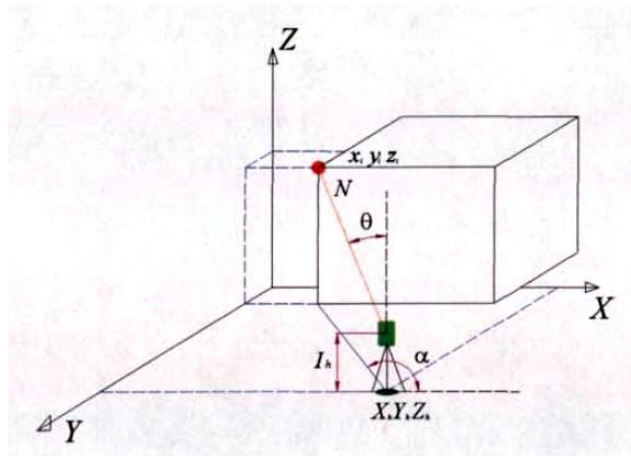
$x_i, y_i, z_i$  –  $i$  დეფორმაციის მანიშნის კოორდინატები;

$N$  – დახრილობის მანძილი;

$\theta$  – ზენიტის კუთხე;

$\alpha$  – დირექციული კუთხე;

$I_h$  – ინსტრუმენტის სიმაღლე.



ნახ. 3.9. სივრცითი მოდელის კვანძების სივრცითი კოორდინატების განსაზღვრა

პოლიგონომეტრიული სვლა იკეტება საწყის სადგურზე  $S_q = S_H$  ან  $S_q = S_3$  სადგურზე  $x_3, y_3$  ცნობილი კოორდინატებით და  $\alpha_3$  დირექციული კუთხეებით  $S_{C3}$  გადამკვეთ წერტილზე.

ელექტრონული ტაქომეტრების გამოყენება საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ ჰორიზონტალური, ვერტიკალური კუთხეების და დახრილობითი მანძილების ერთდროული გაზომვა. პროგრამული უზრუნველყოფა ავტომატურად ითვლის ვიზირებული სამიზნეების სივრცით კოორდინატებს გასაზომ მანძილებში და გასაზომ კუთხეზე ხელსაწყოს ვერტიკალური დერძის გადახრაში შესწორებების გათვალისწინებით.

არათანაბარი დეფორმაციის სიდიდე და მიმართულება განისაზღვრება დეფორმაციული მანიშნების კოორდინატების სხვადასხვაობის მიხედვით დროის შუალედში ნულს და  $j$ -იურ ციკლებს შორის.

$$\begin{aligned} \Delta X_i^j &= x_i^0 - x_i^j; \\ \Delta Y_i^j &= y_i^0 - y_i^j; \\ \Delta Z_i^j &= z_i^0 - z_i^j, \end{aligned} \quad (3.3)$$

მონიტორინგის  $j$  ციკლში სივრცითი მოდელის  $i$  კოორდინატებად კვანძში გეგმიური გადაადგილებების მიმართულება და სიდიდე:

$$\Delta XY_i^j = \sqrt{(\Delta X_i^j)^2 + (\Delta Y_i^j)^2};$$

$$\varphi_i^j = \arctg \frac{\Delta X_i^j}{\Delta Y_i^j},$$
(3.4)

სადაც:  $\varphi$  – ჰორიზონტალური გადაადგილების კუთხე

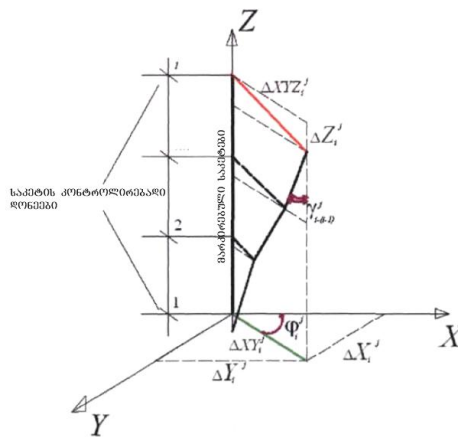
$i$  – კონტროლირებადი კვანძის სივრცითი გადაადგილება

$$\Delta XYZ_i^j = \sqrt{(\Delta XY_i^j)^2 + (\Delta Z_i^j)^2};$$

$$\gamma_{i \rightarrow -1}^j = \arctg \frac{\Delta XY_i^j}{z_i^j - z_{i-1}^j},$$
(3.5)

სადაც:  $\gamma$  – ვერტიკალური გადაადგილების კუთხეა

საკეტის გადაადგილების მიმართულება და სიდიდე გამოითვლება ანალოგიური მიმოსილვით ზედა და ქვედა წერტილების კოორდინატებს შორის სხვაობით (ნახ. 3.10).



ნახ. 3.10. სივრცითი მოდელის ვერტიკალური საკეტის სივრცითი გადაადგილება

**შიგა კონტროლირებადი კვანძები.** შიგა კონტროლირებად სივრცითი მოდელის კვანძებს შორის წანაცვლება განისაზღვრება მიმდევრობითი გეომეტრიული ნიველირების სვლის ჩაწყობის გზით, საყრდენი რეპერიდან დაწყებული, რომელსაც აქვს ცნობილი ნიშნული, ნიშნულის მიმდევრობითი გადაცემით შენობის საჭირო სართულზე (დონეზე) და შემდგომში ყველა მარკირებული წერტილის აზომვით. ამგვარად ჯდომის მარკის  $i$  ნიშნული ყოველ ციკლში:

$$H_i^j = H_{pen} + \sum_{n=1}^n h^j,$$
(3.6)

სადაც:  $H_{pen}$  – საყრდენი რეპერის ნიშნული;

$n$  – ჯდომის მარკების რაოდენობა;

$h^j$  – მონიტორინგის  $i$  ციკლში ნიველირების ქსელის წერტილებს შორის წანაცვლება

$i$  შიგა ჯდომის მარკის ვერტიკალური ჯდომა შეადგენს

$$\begin{aligned}\Delta z_i^j &= H_i^{j-1} - H_i^j; \\ \Delta Z_i^j &= H_i^0 - H_i^j,\end{aligned}\tag{3.7}$$

სადაც:  $\Delta z_i^j$  – გაზომვის ციკლებს შორის დროის მანძილზე მარკის ჯდომა;

$\Delta Z_i^j$  – გაზომვის ნულოვანი ციკლიდან მარკის სრული ჯდომა.

### სივრცითი აზომვის წარმოებისას გაზომვის სიზუსტის მიმართ მოთხოვნები

მონიტორინგის ობიექტის სივრცითი მდებარეობის გეოდეზიური გაზომვა, როგორც გაზომვის ყველა სხვა სახეობა, მუდმივი სიდიდეების განმეორებით განსაზღვრისას იძლევა რამდენადმე განსხვავებულ შედეგებს, რაც განპირობებულია მრავალი ფაქტორით, რომელთა შორის მთავარს წარმოადგენს გაზომვის ძირითადი მახასიათებლები [6]:

– გაზომვის სიზუსტე (განსაკუთრებულად ზუსტი, მაღალი სიზუსტის, ტექნიკური);

– გაზომვის სარწმუნოება, დამოკიდებულია გაზომვის საშუალებების არჩეულ პარამეტრებზე და ჩასატარებელი გაზომვების მოთხოვნებთან გაზომვის საშუალებების არჩეულ პარამეტრებზე და ჩასატარებელი გაზომვების მოთხოვნებთან გაზომვის საშუალებების მეტროლოგიური მახასიათებლების შესაბამისობაზე;

– გაზომვის ცდომილებები:

- უხეში შეცდომები – გამოწვეულია გასაზომი სისტემების გაუმართაობით, რეგისტრის შეცდომებით, გარე პირობების მკვეთრი გაუარესებით და ა.შ. გამოვლინდებიან მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით, რაც მოითხოვს განმეორებითი გაზომვების ჩატარებას ან კონტროლდება აქსიომეტრული მანქანების შესრულებით  $\sum \Delta Z = 0$ ,  $\sum \Delta X = 0$ ,  $\sum \Delta Y = 0$ ;



- სისტემატური – გამოწვეულია ხელსაწყოთა, გაზომვის მეთოდების თეორიის შემუშავების არასრულყოფილებით, გასაზომი აპარატურის არაზუსტი გრადუირებით, გაზომვის პირობების ცვლილებებით, გამოსწორდება ექსპერიმენტის შედეგად აღმოჩენილი შესწორებების შეტანით;
- შემთხვევითი – არაკონტროლირებადი ფაქტორების გავლენით (ანათვლების უზუსტობა, ტემპერატურის შემთხვევითი ცვლილება, ვიბრაცია და ა.შ.), ფასდება მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით მრავალჯერადი გაზომვების მონაცემების მიხედვით.

სივრცითი მოდელის დეფორმაციის გაზომვების სიზუსტე განპირობებულია სამუშაოების წარმოების ტექნიკური დავალებით ნორმატიული დოკუმენტებით ან, აუცილებლობის შემთხვევაში, მას სპეციალურად ითვლიან. საჭირო სიზუსტე განსაზღვრავს გაზომვის სიზუსტის კლასის არჩევას და ხასიათდება საშუალო კვადრატული ცდომილებით (სკც).

სივრცითი მოდელის კონტროლირებადი კვანძების სივრცითი მდგომარეობის აზომვის ჩატარების სიზუსტე განისაზღვრება ცდომილების გაჩენის სხვადასხვა წყაროებით:

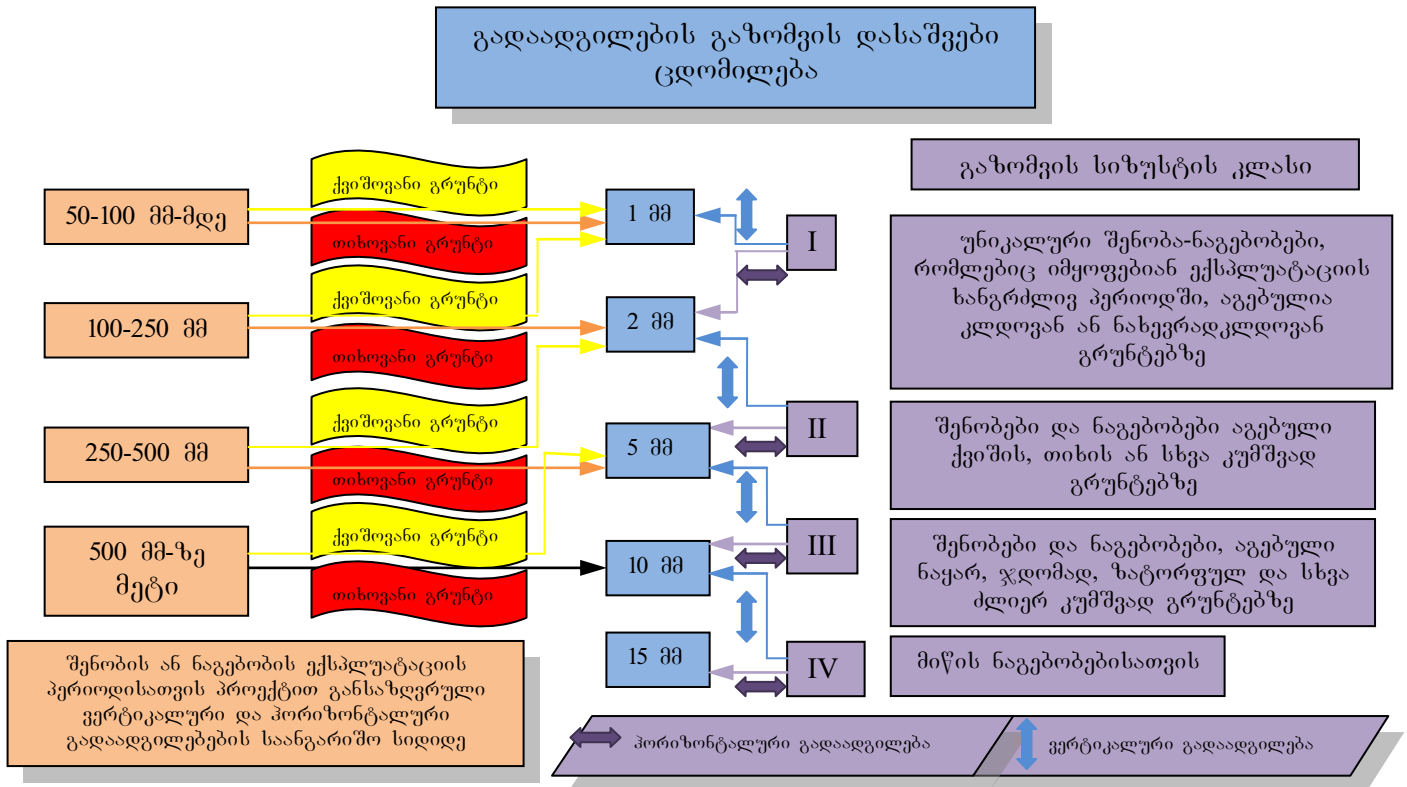
- საწყისი მონაცემების ცდომილება ( $m_s$ )
- ცენტრირების ცდომილება ( $m_c$ )
- ვიზირების ცდომილება ( $m_v$ )
- გარე პირობების გავლენის ცდომილება ( $m_a$ )
- ინსტრუმენტალური ცდომილება ( $m_d$ )

საერთო შემთხვევაში სივრცითი მოდელის კვანძების კოორდინატების გაზომვის სრული სკც (საშუალო კვადრატული ცდომილება):

$$m_i^2 = m_s^2 + m_c^2 + m_v^2 + m_a^2 + m_d^2 + \dots + m_n^2 = \sum_{n=1}^n m^2, \quad (3.8)$$

უმრავლეს შემთხვევაში მონიტორინგის ობიექტის გადაადგილებების გაზომვების აუცილებელი სიზუსტე და მისი შესაბამისი სიზუსტის კლასები განისაზღვრებიან ნორმატიული მოთხოვნების საფუძველზე [11], ამასთან ვერტიკალური გადაადგილებების გაზომვები იყოფა სიზუსტის სამ კლასზე,

ჰორიზონტალური კი ოთხზე. გადაადგილებების გაზომვის სიზუსტის განსაზღვრის მოხერხებულობისათვის GOCT 24846-81-ის ცხრილი 1 და ცხრილი 2-ის მონაცემები [11] წარმოდგენილია სქემატური სახით ნახ. 3.11-ზე.



ნახ. 3.11. გაზომვების დასაშვები ცდომილების განსაზღვრა GOCT 24846-81

გადაადგილებების გაზომვის სარწმუნოება ფასდება გაზომვის სკც მეთოდის ფარდობით პროგნოზირებული გადაადგილებების სიდიდესთან, მოვლენის დადგომის სავარაუდოობის გამოთვლის გზით.

### სივრცითი აზომვის ჩატარებისას გაზომვის სიზუსტის ანგარიში

გაზომვის სიზუსტის ანგარიში განსაზღვრავს სამუშაოების წარმოების პროექტს: გაზომვის მეთოდიკას, დასაშვებ გადახრებს, გაზომვის პირობებს. სიზუსტის დაბალი მოთხოვნები არ გამოავლენენ დეფორმაციული პროცესის არსებობას. მომატებული მოთხოვნები,

თავის მხრივ, იწვევს დიაგნოსტიკური სამუშაოების შესრულების ვადების და მათი ღირებულების ზრდას.

დიაგნოსტიკურ-გასაზომი სამუშაოების სიზუსტის ანგარიშის პროცესის წარმოდგენილი საერთო სახის თანახმად, სივრცითი აზომვის სიზუსტის ანგარიშისას ანსხვავებენ პირდაპირ და უკუ ამოცანებს.

	პირდაპირი ამოცანა	უკუ ამოცანა
მიზანი:	სუზუსტის შეფასება	სიზუსტის ანგარიში
მოცემულია:	$B_k; \eta_k$	$\Delta A_i, \xi_i$
განისაზღვროს:	$\xi_i$	$B_k; \eta_k$
პირობა:	$\xi_i \leq \Delta A_i$ – პირობა შესრულებულია $\xi_i \geq \Delta A_i$ – პირობა არ შესრულებულა	

აქ  $A_i$  – ს-მოდელის  $i$  კვანძის გადაადგილების მნიშვნელობა გამოითვლება როგორც შესაბამისი კოორდინატების სხვაობა გაზომვის სხვადასხვა ციკლში.

$\Delta A_i$  – გადაადგილებების გაზომვის დასაშვები (ნორმატიული) სკც,

$სკც_{\Delta X(Y)}$  – პორიზონტალური;  $სკც_{\Delta Z}$  – ვერტიკალური;

$B_k$  – სვლის  $k$  სადგურზე სტანდარტული გაზომვები;

$\alpha, \beta, L$  – შესაბამისად პოლიგონომეტრიულ სვლაში დირექციული კუთხე, მხარის სიგრძე და წრფის სიგრძე;

$N, \theta, \lambda$  – შესაბამისად მარკების აზომვისას დახრილი მანძილი, ზენიტის კუთხე, პოლარული კუთხე;

$h$  – გადაჭარბება ნიველირულ სვლაში;

$\eta_k$  – გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილება

$m_\alpha, m_\beta, m_L$

$m_N, m_\theta, m_\lambda$

$m_h$

$\xi_i$   $i$  დეფორმაციის მარკის  $i$  კოორდინატის სკც განსაზღვრა

$m_{x(y)}, m_z$

ზემოთ მოყვანილი სიდიდეები დაკავშირებულია შემდეგ საერთო ტოლობებთან:

$$\begin{aligned}
 A_i &= \varphi_i(B_1, \dots, B_q), i \rightarrow n; \\
 \xi_i &= \psi_i(B_1, \dots, B_q, \eta_1, \dots, \eta_q),
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

სადაც:  $n$  – დეფორმაციის მარკების რაოდენობა;  $q$  – სგქ პუნქტების რაოდენობა.

პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად ფასდება გაზომვების ფაქტიური სიზუსტე საკონტროლო სგქ-ს და გამზომი ხელსაწყოების გამოყენებისას. გაზომვების მოცემული სიზუსტის უზრუნველყოფის აუცილებლობისას წყდება უკუ ამოცანა [26].

შემუშავებული მეთოდის რეალიზაციისას კონკრეტული ტიპის გასაზომი აპარატურის არსებობის პირობებში წყდება პირდაპირი ამოცანა. მოცემულ შემთხვევაში სიზუსტის კონტროლი და შეფასება გაზომვების შედეგების მიხედვით წარმოებს პოლიგონომეტრიული სვლის საწყის  $S_q = S_H$  ან  $S_q = S_3$  წერტილზე ჩაკეტვისას ცნობილი  $x_3, y_3$  კოორდინატებით და  $\alpha_3$  დირექციული კუთხით  $S_{c3}$  შემხვედრ წერტილზე. ქსელის სადგურის კოორდინატების განსაზღვრის შეცდომები იზრდება საწყისი წერტილიდან დაცილების პროპორციულად იმასთან დაკავშირებით, რომ მხრის და კუთხის გაზომვა შეიცავს ცდომილებებს შესაბამისად  $dL_1, dL_2, \dots, dL_n$  და  $d\beta_1, d\beta_2, \dots, d\beta_{n+1}$  სვლის კუთხური და წრფივი აცდენები:

$$\begin{aligned} f_\alpha &= \alpha_q - \alpha_H \quad \text{ან} \quad f_\alpha = \alpha_q - \alpha_3; \\ f_x &= x_q - x_H \quad \text{ან} \quad f_x = x_q - x_3; \\ f_y &= y_q - y_H \quad \text{ან} \quad f_y = y_q - y_3, \end{aligned} \quad (3.10)$$

სრული წრფივი აცდენა

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (3.11)$$

სვლის პერიმეტრში ფარდობითი აცდენა:

$$\frac{f_p}{\Sigma L} \leq \frac{1}{N}, \quad (3.12)$$

სადაც:  $N$  – სვლის დასაშვები ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელი.

სგქ-ს პოლიგონომეტრიის მეთოდით აგებისას წრფივი და კუთხური გაზომვების სიზუსტე შეიძლება აგრეთვე გამოთვლილი იქნას გრძივი და განივი გადაადგილებების კოორდინატების შემადგენელი შეცდომების მიხედვით.

განივი ძვრა:

$$m_u = \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{q+3}{12}}, \quad (3.13)$$

გრძივი ძვრა:

$$m_t = m_D \sqrt{q}, \quad (3.14)$$

პოლიგონომეტრიული სვლის ორ საწყის წერტილზე დაყრდნობისას სვლის შუაში იქნება:

$$m_t^{med} = \frac{m_D \sqrt{q}}{2}, \quad (3.15)$$

სკც ცალკეული სვლის მიახლოებითი შეფასებისას დაახლოებით ერთიდაიგივე მხარეებით, რომლებიც ეყრდნობიან 2 საწყის პუნქტს გაღუნული სვლისთვის იქნება:

$$M^2 = m_D^2 q + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{D,k}^2], \quad (3.16)$$

სადაც:  $D_{D,k}^2$  – დაშორება სვლის ყოველი წერტილიდან მის ცენტრამდე.

სვლის ზღვრული ფარდობითი აცდენა:

$$\frac{2M}{[L]} \leq \frac{1}{N}, \quad (3.17)$$

სადაც:  $L$  – სვლის სიგრძე.

დახურული ნიველირული  $f$  სვლის აცდენა განისაზღვრება სადგურის  $n$  რიცხვისას დახურული სვლის შესაბამისად  $i$  ჯღენითი მანიშნის  $H$  სიმაღლეებს შორის სხვაობით:

$$f = H_i^K - H_i^H \leq \begin{cases} \pm 0.15\sqrt{n} & - \text{სიზუსტის I კლასი} \\ \pm 0.5\sqrt{n} & - \text{სიზუსტის II კლასი} \\ \pm 1.5\sqrt{n} & - \text{სიზუსტის III კლასი} \\ \pm 5.0\sqrt{n} & - \text{სიზუსტის IV კლასი} \end{cases} [11] \quad (3.18)$$

გადაჭარბების საშუალო კვადრატული ცდომილება  $m_h$  სადგურზე ორჯერადი გაზომვების შედეგების მიხედვით:

$$m_h \leq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}, \quad (3.19)$$

სადაც:  $d$  – სადგურზე ორჯერადი გაზომვების სხვაობა;

$n$  – ნიველირულ ქსელში სხვაობის საერთო რიცხვი

დახურული სვლებისათვის სიზუსტის შეფასება ხორციელდება სადგურზე გადაჭარბების  $m_h$  სკც-ს მიხედვით:

$$m_h \leq \sqrt{\frac{[f^2]}{K \cdot n}}, \quad (3.20)$$

სადაც:  $f$  – დახურული სვლის აცდენა, მმ

$K$  – სვლის რიცხვი;

$n$  – სვლაში ნიველირული სადგურის რიცხვი.

სკც ცალკეული სვლებისათვის სიმადლის განსაზღვრა გამოითვლებოდა შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$m = m_h \sqrt{n}, \quad (3.21)$$

სადაც:  $n$  – სვლაში შედარებით მოშორებულ მარკამდე ნიველირული სადგურების რიცხვი

დეფორმაციული მარკების გადაადგილების გაზომვების სკც ცდომილების თეორიის თანახმად [6]:

$$\begin{aligned} m_{\Delta X(\Delta Y)} &= \pm m_{x(y)} \sqrt{2} \leq m_{\Delta X(\Delta Y)}^{\text{ნორმ}}; \\ m_{\Delta Z} &= \pm m_{z(h)} \sqrt{2} \leq m_{\Delta Z}^{\text{ნორმ}}, \end{aligned} \quad (3.22)$$

უკუ ამოცანის გადაწყვეტის შემთხვევაში საპროექტო სგქ-ს აგების სიზუსტის შეფასება მდგომარეობს საკვანძო პუნქტების კოორდინატების მოსალოდნელი ცდომილების სვლის ფარდობითი შეცდომების განსაზღვრაში და მათ შედარებაში დასაშვებ მნიშვნელობებთან. ქსელში გაზომვების სიზუსტის წინასწარი ანგარიშის საფუძველზე დევს შემდეგ დამოკიდებულებები:

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}}, \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{P_F} &= f_1 f_1 Q_{11} + 2 f_1 f_2 Q_{12} + \dots + 2 f_1 f_t Q_{1t} + f_2 f_2 Q_{22} + \\ &+ \dots + 2 f_2 f_t Q_{2t} + \dots + f_t f_t Q_{tt}, \end{aligned} \quad (3.24)$$

მატრიცული სახით

$$\frac{1}{P_F} = F_{1t}^T N_{tt}^{-1} F_{t1}; \quad (3.25)$$

$$\frac{1}{P_{x_t}} = Q_{tt}, \quad (3.26)$$

სადაც:  $m_F$  – ქსელის შეფასებული ელემენტის სკც ფუნქციები;

$\mu$  – გაზომვის წონის სკც ერთეულები;

$1/P_F = Q_F$  – ქსელის შეფასებული ელემენტის ფუნქციის უკუ წონა.

უკუ წონები დამოკიდებულია ქსელის ზომებზე, კონსტრუქციაზე და მასში ელემენტის მდგომარეობაზე:

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} \cong f(m_\beta, m_D, k, q, g); \quad (3.27)$$

სადაც:  $m_\beta$ ,  $m_D$  – კუთხური და წრფივი გაზომვების სკც;  $k$  – შეფასებული ელემენტების ნომერი ქსელში;  $q$  – სგქს პუნქტების რაოდენობა;  $g$  – ქსელის კონსტრუქციის მაჩვენებელი.

სიზუსტის ანგარიში შეიძლება წარმოებული იქნას ორი ხერხით:

1.  $Q_F$  გამოთვლილი სიდიდის და სიზუსტის განსაზღვრული ნორმატიული კლასის შესაბამისად  $\mu$  ცნობილი მნიშვნელობის მიხედვით განისაზღვრება ქსელის შესაფასებელი ელემენტის  $m_F$  შეცდომა და შეედარება ნორმატიულს.

2.  $Q_F$  გამოთვლილი სიდიდის და  $m_F$  დანიშნული მნიშვნელობის მიხედვით განისაზღვრება  $\mu$  და აირჩევა გაზომვების მეთოდოლოგია.

კონტროლირებადი კვანძების კოორდინატების გაზომვის აუცილებელი სიზუსტის წინასწარი ანგარიში შეიძლება აგრეთვე ვაწარმოოთ შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$\begin{aligned} \mu &\leq m_{\Delta X(Y)} / \sqrt{2Q_{X(Y)}}; \\ \mu &\leq m_{\Delta Z} / \sqrt{2Q_Z}, \end{aligned} \quad (3.28)$$

## სივრცითი აზომვისას გაზომვების შედეგების მათემატიკური დამუშავება

ნორმატიული დოკუმენტებით საჭიროა გაზომვების შედეგების მათემატიკური დამუშავების შესრულება გათანაბრების გამოთვლების გზით. თუმცა როგორც გამოცდილება გვიჩვენებს მონიტორინგისას განმეორებითი გაზომვების შედეგებში შეყვანილი შესწორება ყოველთვის არ ზრდის დეფორმაციის საერთო სურათის სარწმუნოებას.

ნაშრომში გაზომვების სიზუსტის კონტროლი, სივრცითი აზომვისას, არსებული ელექტრონული ტაქომეტრების და ნიველირების დახმარებით უზრუნველყოფილი იყო გეოდეზიური გაზომვების გათანაბრების პროცესში, რაც საშუალებას იძლევა შევამციროთ გაზომვების მსვლელობის პერიოდში შემთხვევითი ცდომილებების გავლენა. მისი არსი მდგომარეობს სივრცითი მოდელის კვანძების კოორდინატების სავარუდო მნიშვნელობების მიღებაში ჭარბი გაზომვების არსებობისას შედეგების სიზუსტის შემდგომი შეფასებით

და აცდენების აღმოფხვრით, რაც განპირობებულია გაზომვების შეცდომების არსებობით. ეს მიიღწევა გაზომილ სიდიდეებში (კუთხე, მანძილი) შესწორებების შეყვანის გზით, ან მათი ფუნქციების შესწორებით (სივრცითი მოდელის კვანძების კოორდინატები).

გეოდეზიური გაზომვების გათანაბრების პროცედურის საფუძველში ჩადებულია ალბათობის თეორია და მათემატიკური სტატისტიკა [6]. გადასახოში სიდიდეების შესწორებები, არიან რა შემთხვევითი სიდიდეები, ემორჩილებიან შემთხვევითი სიდიდეების ნორმალური გადანაწილების კანონს, რომლის ძირითად მახასიათებლებს წარმოადგენს: გადანაწილების ფუნქცია, გადანაწილების სიმკვრივის ფუნქცია, მათემატიკური ლოდინი, დისპერსია და საშუალო კვადრატული გადახრა.

გათანაბრების პროცედურა შეიძლება შესრულდეს 2 მეთოდით: არამკაცრი (გასაყოფი) და მკაცრი მეთოდით.

არამკაცრი მეთოდი გამოიყენება პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების ფარდობითად მცირე რაოდენობისას. მოცემულ შემთხვევაში საკოორდინატო აცდენები გადანაწილდება სვლის მხარის სიგრძის პროპორციულად ნამატში, ხოლო მისი წერტილები წანაცვლდება სვლის პარალელურად აცდენის მიმართულებით.

$$\Delta x_i = \frac{f_x L_i}{\Sigma L}; \Delta y_i = \frac{f_y L_i}{\Sigma L}, \quad (3.31)$$

კუთხური აცდენა გადანაწილდება კუთხეებს შორის თანაბრად და შეიყვანება საპირისპირო ნიშნით კუთხეების გაზომვის მნიშვნელობაში:

$$v_i = \frac{f_\alpha}{k}, \quad (3.32)$$

ნაშრომში გასაყოფი გათანაბრების პროცედურა რეალიზდება MSEXCEL-ის ელექტრონული ცხრილების საშუალებით.

პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების დიდი რაოდენობის გამოთვლების სიზუსტის და საიმედოობის გაზრდისათვის, აგრეთვე შეცდომების დაუშვებლობის გარანტიის სახით აუცილებელია გამოვიყენოთ გაზომვების მკაცრი გათანაბრება, რომელიც იძლევა აცდენების თანაბარი გადანაწილების საშუალებას, მათი დაგროვების შესაბამისად. დასაწყისისათვის განისაზღვრება საკვანძო პუნქტების



კოორდინატების საბოლოო მნიშვნელობა და საკვანძო მიმართულებების დირექციული კუთხეები, ხოლო შემდგომ ამ მონაცემების მიხედვით თანაბრდება ცალკეულ სფერებში.

## სივრცითი მოდელის ავტომატიზებული აგების ტექნოლოგია

სივრცითი მოდელის შექმნა, დაწყებული ნაგებობების საველე აზომვით და დამთავრებული მზა 3-D სქემის ფორმირებით შეიძლება იყოს სრულად ავტომატიზირებული პროცესი. ჩვენს გამოყენებული ციფრული გეოდეზიური აპარატურა საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ მონიტორინგის ობიექტების სივრცითი მოდელის ავტომატიზირებული აგების ტექნოლოგიის რეალიზება დისერტაციის ავტორის მონაწილეობით შექმნილი სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით, რომელიც ასრულებს გეოდეზიური ინფორმაციის ავტომატიზებულ გადაყვანას ელექტრონულ ნახაზებად. ეს პროგრამული უზრუნველყოფა შედის ე.წ. გამზომ-ინფორმაციული კომპლექსის შემადგენლობაში, რომლის ძირითად მიზანს წარმოადგენს გეოდეზიური ინფორმაციის დაჩქარებული შეკრების უზრუნველყოფა და მის ბაზაზე შენობების და ნაგებობების ნახაზების ავტომატიზებული აგება. შემუშავებულის საფუძველში დევს თანამედროვე გეოდეზიური ხელსაწყოების გამოყენება (ტაქსომეტრები, გადახრის მზომები და ლაზერული მანძილმზომები) და გაზომვის მონაცემების დამუშავებისათვის თანამედროვე პროგრამული საშუალებების ნაკრები.

გამზომი ინფორმაციული კომპლექსის ტექნიკური ნაწილი ეფუძნება „Sokkia“-ს ტაქსომეტრების გამოყენებაზე. კომპლექსის პროგრამული ნაწილი ეფუძნება გეოდეზიური ინფორმაციის წინასწარი დამუშავების სისტემაზე Prolink (ფირმა „Sokkia“) და ელექტრონული ნახაზების აგების სისტემაზე AutoCAD (ფირმა Autodesk), რომელიც ფლობს ორ პრინციპულ უპირატესობას სხვა ანალოგიურ სისტემებთან შედარებით:

- მონაცემების წარმოდგენის DXE-ფორმატი, რომელიც წარმოადგენს სხვა სისტემებთან მონაცემების გაცვლის

უნივერსალურ ფორმატს, კერძოდ სემ სისტემებთან და გეოდეზიური ინფორმაციის დამუშავების სისტემებთან;

- AUTO-LISP შიგა პროგრამების ჩაშენებული ენის არსებობა, რომელიც საშუალებას იძლევა AutoCAD მოვაწყოთ სპეციფიკური ტექნიკური ამოცანების ავტომატური შესრულებისათვის, კერძოდ, ნახაზების აგება გეოდეზიური ინფორმაციის ბაზაზე.

სივრცითი მოდელის ავტომატური აგებისას ქმედებების საერთო მიმდევრობა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

1. გეოდეზიური ხელსაწყოების დახმარებით ნაგებობების კონტროლირებადი კვანძების კოორდინატების განსაზღვრა;
2. PROLINK პაკეტის დახმარებით ინფორმაციის დამუშავება და მომზადება;
3. AutoCad-ის სისტემაში ნაგებობების სივრცითი მოდელის კარკასის ავტომატური აგება (აქსონომეტრია და სიბრტყითი ნახაზები).

გაზომვების ჩატარების პროცესში ხელსაწყოში დაგროვილი ინფორმაცია შემდეგ გადაიქაჩება კომპიუტერში გეოდეზიური ინფორმაციის დამუშავების სპეციალიზებული პაკეტის PROLINK დახმარებით. ამ პაკეტს აქვს შესაძლებლობა მოახდინოს ინფორმაციის მოდიფიცირება და შეინახოს იგი DXF ფორმატის რამოდენიმე ტიპის ფორმატის ფაილებში, რომელიც შედის AutoCAD-ის სისტემაში მონაცემების წარმოდგენის მრავალრიცხოვანი ფორმის შემადგენლობაში.

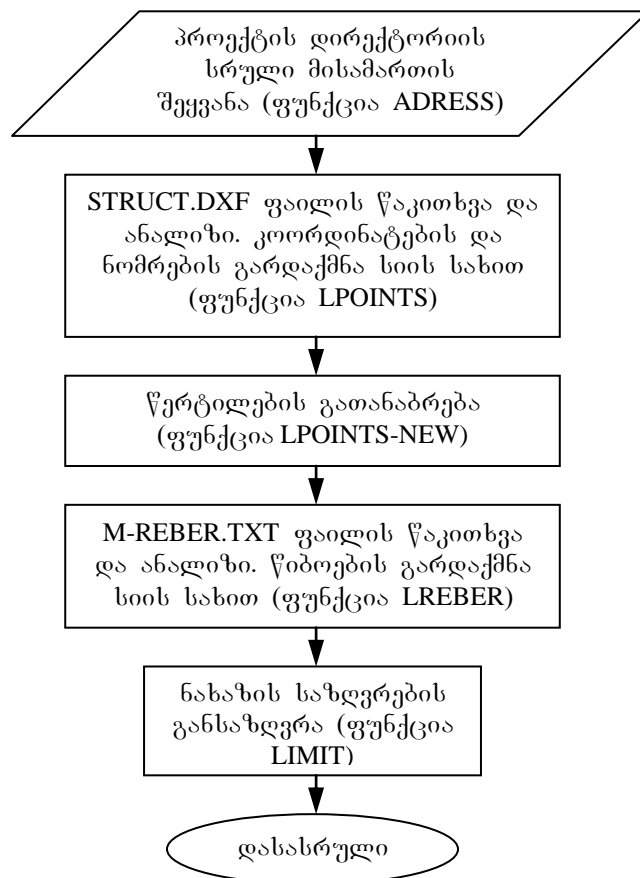
DXF-ფაილები წარმოადგენენ განსაზღვრული ფორმატის ტექსტურ ფაილებს, რომლებიც ჩვეულებრივ შეიცავენ AutoCAD-ის ნახაზების გრაფიკული ობიექტების შესახებ ინფორმაციას: შრეების დასახელება, გეომეტრიული ობიექტების ტიპები და აღწერა. ამას გარდა ყოველ ობიექტთან შეიძლება იყოს დაკავშირებული სხვა რიცხვითი და სიმბოლური მნიშვნელობები, რომლებიც აუცილებელია სხვადასხვაგვარი გრაფიკული აგებებისათვის. ამგვარად, DXF-ფაილი შეიძლება შეიცავდეს არა მხოლოდ რიცხვით ინფორმაციას, რომელიც საკმარისი იქნება სივრცითი მოდელის აგებისათვის, არამედ ტექნიკურ ინფორმაციასაც, აზრობრივი აღწერების ჩათვლით, რაც საშუალებას

იძლევა მოვასდინოთ მონაცემების დაჯგუფება AutoCAD-ის შიგნით ნახაზების აგებისას განსაზღვრული ნიშნების მიხედვით.

ნაგებობის სივრცითი მოდელის შექმნისას გაზომვების წერტილების კავშირების ანალიზისათვის დამატებითი ინფორმაციის მომზადება ხდება MSEXCEL-ის პაკეტში, რომლის ფაილებიც შემდეგ გადაეცემა AutoCAD-ის გრაფიკულ სისტემას.

იმისათვის, რომ კორექტირებული და მომზადებული ინფორმაციის საფუძველზე, რომლებიც შეეხება ნაგებობების გეომეტრიულ პარამეტრებს და წარმოდგენილია AutoCAD-ის საკონტროლო კვანძების კოორდინატებით ავტომატურ რეჟიმში ავაგოთ სივრცითი მოდელის სიბრტყითი ნახაზები და აქსონომეტრია, უნდა განვახორციელოთ მისი დაყენება AutoLISP ენის პრაგრამული ფაილის ჩატვირთვის გზით.

მოცემულ ფუნქციას ასრულებს ტექნიკური ფაილი პირობითი სახელწოდებით MONITORING, რომელიც წარმოადგენს ფუნქციის მიმდევრობის აღწერის პროგრამას ნახაზების ავტომატიზირებული აგებისათვის (ნახ. 3.12).



ნახ. 3.12. MONITORING მოდულის ალგორითმის ბლოკ-სქემა

ფუნქცია LPOINTS ითვლის ფაილს STRUCT.DXF, აანალიზებს მის შემცველობას, ამოიცნობს კონტროლირებადი კვანძების კოორდინატებს და ნომერს, და ახდენს მათ ორგანიზებას ჩამონათვალის სახით ( $n_i, x_i, y_i, z_i$ ).

1. პროექტის დირექტორის სრული მისამართის შეყვანა (ფუნქცია ADDRESS).
2. STRUCT.DXF ფაილის ანალიზი და წაკითხვა. წერტილების კოორდინატების და ნომრების გარდაქმნა ჩამონათვალში (ფუნქცია LPOINTS).
3. წერტილების გათანაბრება (ფუნქცია LPOINTS-NEW)
4. M-REBER.TXT ფაილის ნალიზი და წაკითხვა. წიბოების გარდაქმნა ჩამონათვალში (ფუნქცია LREBER).
5. ნახაზის საზღვრების განსაზღვრა (ფუნქცია LIMIT)
6. აქსონომეტრიის მითითებულ დირექტორიაში გამოსახვა და ჩაწერა (ფუნქცია AKS)

ფუნქცია LREBER ითვლის M-REBER.TXT ფაილიდან შემაერთებული წერტილების ნომერს, აანალიზებს მათ და ახდენს წიბოების ჩამონათვალს.

ფუნქცია LPOINTS-NEW ახდენს კოორდინატების ინფორმაციის კორექტირებას ცდომილებების მოცილებისათვის, რომლებიც იწვევენ გეოდეზიური გაზომვების შედეგების დამახინჯებას.

ფუნქცია LIMITS განსაზღვრავს ნაგებობის ნახაზის მასშტაბს მოცემული ფორმატის ფურცელზე მისი განთავსებისათვის გაზომილი წერტილების კოორდინატების ანალიზის გზით, ხაზვის არეალის საზღვრების განსაზღვრისათვის აუცილებელი ზღვრული მნიშვნელობების გამოვლენის მიზნით.

ფუნქცია AKS წერტილების კორექტირებული კოორდინატების და წიბოების მატრიცის მიხედვით გამოხაზავს ნაგებობის სივრცითი მოდელის აქსონომეტრიას, ე.წ. კარკასულ-წერტილოვანი მოდელის ფორმაში და იმასსოვრებს მას AKS.DWG ფაილში.

ამგვარად ფორმირებული ფაილები DWG გაფართოებით წარმოადგენენ AutoCAD-ის სისტემის სტანდარტულ ფაილებს და

წარმოადგენენ ნაგებობის სივრცითი მოდელის საბაზო ნახაზებს, რომლებიც შეიძლება იყონ არასრული და შემდგომში მოხდეს მათი რედაქტირება არასაკმარისი ინფორმაციის დამატება ხელით. აუცილებლობისას სივრცითი მოდელი შეიძლება გამოვიყენოთ ნაგებობის საანგარიშო მოდელის აგების საფუძვლად, სიბრტყითი და სივრცითი ნახაზების DXF ფაილებიდან სემ-მოდელში გარდაქმნის გზით.

ამგვარად, ობიექტების სივრცითი მოდელის აგების მოცემული ტექნოლოგია იძლევა დიაგნოსტიკური გაზომვების მონაცემების დაჩქარებული დამუშავების საშუალებას და წარმოადგენს შენობების და ნაგებობების მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის ჩატარების სივრცითი მეთოდის ელემენტს.

## 4. გამოკვლევის შედეგების პრაქტიკული გამოყენება

### 4.1. ქ. თბილისში ყიფშიძის ქ. №20ა-ში მდებარე საცხოვრებელი შეიღსართულიანი შენობა

#### 4.1.1. სამუშაოს მიზანი

ფუძე-გრუნტების არათანაბარი დეფორმაციის პირობებში ექსპლუატაციაში მყოფი ნაგებობის დიაგნოსტიკის და მონიტორინგის კომპლექსური მეთოდის, რომელიც დამუშავებულია დისერტაციაში, ექსპერიმენტალური აპრობაცია ხორციელდება ქ. თბილისში, ყიფშიძის ქ. №20ა მისამართზე მდებარე 7 სართულიანი საცხოვრებელი შენობის მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის მსვლელობისას [27, 28, 29].

შენობა განლაგებულია რთული საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების ზონაში, რაც განაპირობებს ფუძე-გრუნტის მნიშვნელოვანი დეფორმაციების შესაძლებლობას. შენობის ნაწილის ქვეშ ნაყარმა გრუნტმა განსაზღვრა მისი არასტანდარტული მოცულობით-გეგმარებითი და კონსტრუქციული გადაწყვეტა. მშენებლობა დასრულდა 2001 წელი.

შენობის მონიტორინგი ხორციელდება პერიოდული რეჟიმით, დადგენილი გრაფიკის მიხედვით, რომელის შესაბამისად სამუშაოების დასაწყისი თარიღდება 2007 წლით, ძირითადი ეტაპები ხორციელდებოდა 3 თვეში ერთხელ, ხოლო შუალედური კი თვეში ერთხელ.

#### 4.1.2. შენობის კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგის სამუშაოების შემადგენლობა

##### *მონიტორინგის მოსამზადებელი ეტაპები*

1. საპროექტო, შესასრულებელი და საექსპლუატაციო დოკუმენტაციის ანალიზი;
2. შენობის სამშენებლო კონსტრუქციების ამზომ-გამოსაკვლევი სამუშაოები
  - კონსტრუქციების ფაქტიური მდგომარეობის გამოვლენა და საკონტროლო აზომვა
3. შენობის სამშენებლო კონსტრუქციების საინჟინრო-კონსტრუქციული სამუშაოები
  - დეფექტების განლაგების ძიება, ფოტოფიქსაცია, უწყისების და სქემების შედგენა.
  - კონსტრუქციული მასალების სიმტკიცის არამრღვევი გამოცდები.
  - შენობის სემ-მოდელის ფორმირება. საანგარიშო (საექსპლუატაციო) დატვირთვების და საძირკვლების შესაძლო დეფორმაციის განმეორებითი ანგარიში მათი ზღვრული დასაშვები მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის.

##### *მონიტორინგის ძირითადი ეტაპები*

1. შუქურების საშუალებით კონსტრუქციების დაზიანების მონიტორინგი
  - დაკვირვებათა ციკლი თვეში ერთხელ
2. შენობის სივრცითი დეფორმაციის გეოდეზიური მონიტორინგი
  - დაკვირვებების ძირითადი ციკლი 3 თვეში ერთხელ
  - დაკვირვებების შუალედური ციკლი თვეში ერთხელ
3. შედეგების კამერალური დამუშავება
4. მზიდი კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ცვლილებების ანალიზი სასრულ ელემენტთა მეთოდით.

### 4.1.3. შენობის კონსტრუქციის ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა

#### 4.1.3.1. შენობის ძირითადი არქიტექტურული და კონსტრუქციული განსაკუთრებულობები

7 სართულიანი საცხოვრებელი შენობა წარმოადგენს კარკასული ტიპის საცხოვრებელ სახლს, რომლის პროექტი დამუშავებულია 2000 წელს შპს „პირამიდა-98“-ის მიერ (სურ. 4.1), შენობის გეომეტრიული ფორმა გეგმაში რთული მოხაზულობისაა. გეომეტრიული ზომები გეგმაში 18.00×24.80 მ, სიმაღლე 23.50 მ. სართულების რაოდენობა: 6 სართული მანსარდით, შენობას აქვს სარდაფი. შენობა განლაგებულია მდინარე ვერეს ხრამის თავზე. შენობის ძირითადი არქიტექტურული და კონსტრუქციული განსაკუთრებულობები ვლინდება საპროექტო დოკუმენტაციის შესწავლის მსვლელობისას (არქიტექტურული გეგმები, ფასადები, ჭრილები, კონსტრუქციული ნახაზები, ელემენტების სპეციფიკაცია და ა.შ.) რომელიც წარმოადგინა საექსპლუატაციო ორგანიზაციამ, აგრეთვე დაემატა ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევის მონაცემები, რომელიც მიღებული იქნა მონიტორინგის მოსამზადებელ ეტაპზე.



სურ. 4.1. შენობის ფასადი



შენობის ასაკი: შენობა აგებულია 2001 წელს.

სართულიანობა: 6 სართული, მანსარდით.

შენობის სიმაღლე: 23.50 მ.

მზიდი კონსტრუქციები კოლონები და რიგელები მონოლითური რკინაბეტონისაა, კარკასი შევსილია პემზობეტონის საკედლე ბლოკებით, სარდაფის კედლები შევსილია რკინაბეტონის ცოკოლის ბლოკებით.

სართულშუა გადახურვები შესრულებულია 6 მ-იანი მალის ანაკრები რკინაბეტონის ფილებით.

კიბეები ორმარშიანია, რომელიც მოწყობილია ლითონის კოსოურებზე მოხაიკის საფეხურებით.

სახურავი ორქანობიანია ხის ნივნივებზე მოთუთიებული ბურულით.

შენობას ორ მხარეს აქვს ერკერები, რომლებიც დაყრდნობილია დონიჯებზე, რაც სეისმურ ზონაში არ არის დასაშვები.

შენობას ყველა სართულზე სართულშუა გადახურვის ფილის ქვეშ აქვს სეისმური სარტყელი.

შენობის ბინებში გადაკეთებულია შიგა ტიხრები.

შენობას ჩაუტარდა მიმდინარე რემონტი რამდენჯერმე.

#### **4.1.3.2. მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის ვიზუალური და ინსტრუმენტალური გამოკვლევის შედეგები**

მონიტორინგის ობიექტის წინასწარმა დათვალიერებამ, მზიდი კონსტრუქციების ნატურულმა გამოკვლევამ, ასაზომმა სამუშაოებმა, ფაქტიური სიმტკიცის ინსტრუმენტალურმა განსაზღვრამ და კონსტრუქციული მასალების ფიზიკური თვისებების არამრღვევი მეთოდებით განსაზღვრამ არ გამოავლინა მნიშვნელოვანი გადახრები საპროექტო გადაწყვეტებისგან.

ვიზუალური და ინსტრუმენტალური დათვალიერებით შეიმჩნევა შემდეგი დაზიანებები და ბზარები:

მიმდინარეობს საძირკვლის ჯდომა, რომლის სიდიდე ნორმას აღემატება. აგრეთვე შეიმჩნევა ფუძე-გრუნტის ჯდომა და გადაადგილება აცურების ზედაპირზე (სურ. 4.2, 4.3).



სურ. 4.2. შენობის პორიზონტალური გადაადგილება



სურ. 4.3. ფუძე-გრუნტის ჯდომის შედეგად გაჩენილი ბზარი

შენობის კედლები დახრილია ჩრდილოეთის მხარეს 5.7÷15 სმ-ის ფარგლებში.

შეიმჩნევა ბზარები კედლებზე, ზღუდარებში და გარე კედლებზე. ბზარების სიდიდე, დახრის კუთხე და ხასიათი მიუთითებს შენობის გრუნტის არა მდგრადობაზე და არათანაბარ ჯდომაზე (სურ. 4.4, 4.5).



სურ. 4.4. შენობის კედელზე განვითარებული ბზარი



სურ. 4.5. შენობის ძირითად ნაწილსა და მიშენებას შორის განვითარებული ბზარი

საძირკვლები პროექტის მიხედვით უნდა შესრულებულიყო მონოლითური რკინაბეტონის წიბოვანი ფილა რკინაბეტონის ნაბურღ-ნატენ ხიმინჯებზე. ადგილზე შესწავლით დგინდება, რომ გაკეთებულია წერტილოვანი რკინაბეტონის საძირკვლები ნაბურღ-ნატენ ხიმინჯებზე (24 ცალი), რომლის თავები ე.წ. „ჭიქები“ დაკავშირებულია ერთმანეთთან რანდოკლებით. ამის შემდეგ 2003 წელს შენობის ფუძის გამაგრების მიზნით (პროექტი შეადგინა შპს „მონექს“-მა) დამატებით გაკეთდა ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯები სულ 16, მათი დიამეტრი 30 სმ-ს შეადგენდა, ჩაღრმავება 25-30 მ (მოხინაღრეების განმარტებით). ხიმინჯების მოწყობა შესრულდა შემდეგი ტექნოლოგიით: გაყავდათ ჭაბურღილი, რომელშიც იდგმებოდა ლითონის არმატურა და შემდეგ ჭაბურღილში ხდებოდა წყალცემენტის ჩაჭირხენა. ხიმინჯები განლაგებულია ე.წ. ხურჯინის წესით, რათა მათ მიეღოთ შენობის დატვირთვა. როგორც პროფესორი გ. ჭოხონელიძე თავის ანგარიშში ამბობს ხიმინჯები არ დადის ძირითად ქანებამდე და მაშასადამე ისინი მუშაობენ, როგორც კიდული ხიმინჯები.

როგორც შენობის ახლანდელი მდგომარეობა გვიჩვენებს ამ ღონისძიებებმა არ გაამართლა, რადგან შენობის მდგომარეობა არ გამოსწორებულა, ჯდომა ისევ გრძელდება, დაზიანდა კედლები. აგრეთვე უნდა მოგახსენოთ რომ, სვეტები გარსაცმში ჩასვეს მდგრადობის გაზრდის მიზნით, რამაც უფრო დაამძიმა კონსტრუქცია. ეს ღონისძიება ზედმეტად მოგვეჩვენა, რადგან სვეტებს ბზარები არ შეენიშნებოდათ.

აგრეთვე შენობის ჩრდილოეთ მხარეს მოხდა დიდი რაოდენობის მიწის შეტანა და მოზვინვა ტერასების სახით. რამაც გაზარდა მოსრიალე მასა და უფრო გააქტიურა მეწყერი.

წინასწარი გეოლოგიური კვლევით დგინდება:

ობიექტი ტექტონიკური თვალსაზრისით განთავსებულია მამა დავითის ანტიკლინალის ჩრდილოეთ ფრთაზე, გეომორფოლოგიურად მოვაკებულ, მდ. ვერეს ხეობის სამხრეთის მეწყერულ ფერდობზე.

გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობას იღებს ზედა ეოცენის ნალექები, რომლებიც წარმოდგენილია ქვიშაქვებისა და არგილიტების მორიგეობით, რომელიც გადაფარულია მეოთხეული ტბიური ნალექებით,



იგი წარმოდგენილია მონაცრისფრო-ლურჯი თიხებით, მათი სიმძლავრე აღწევს 20-50 მ. ისინი თავის მხრივ გადაფარულია დელუვიური გენეზისის ყავისფერი თიხნარებით, სიმძლავრით 15-20 მ. ზემოდან გვხვდება ტექნოგენური ნალექები, რომლითაც შევსებულია რელიეფის უარყოფითი ფორმები, რომელიც ფართოდაა წარმოდგენილი განსახილველ უბანზე.

საინჟინრო-გეოლოგიური თვალსაზრისით უბანი წარმოადგენს უაღრესად არაკეთილსაიმედო ტერიტორიას მშენებლობის საწარმოებლად და მათი შემდგომი ექსპლუატაციისათვის, 90-იან წლებამდე ამ ტერიტორიებზე აკრძალული იყო მშენებლობა უარყოფითი საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების გამო. ამ პერიოდიდან იწყება ტერიტორიის ინტენსიური ათვისება, რამაც გამოიწვია შენობა-ნაგებობებით, ქვაბულებიდან ამოღებული გრუნტებით და სამშენებლო ნაგებობით (რომლის დაყრაც მოხდა მეწყერულ ფერდობზე) სიტუაციის დამძიმება.

აღნიშნული სახლის გამაგრებისათვის შესასრულებელი პროექტისათვის, ჩასატარებელი საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევის დროს გასათვალისწინებელია შემდეგი განსაკუთრებული პირობები: უბანი მდებარეობს მეწყერულ სხეულზე; ფუნდამენტების ფუძის გრუნტები, თავისი ფიზიკო-მექანიკური და დეფორმაციული თვისებებით მიეკუთვნება სუსტ გრუნტებს; ტერიტორია მდებარეობს სეისმურად აქტიურ 8 ბალიან ზონაში.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, გამაგრების პროექტისათვის ჩასატარებელია საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების სრული კომპლექსი ს.ნ. და წ. 1.02.07-87-ის „შენობა-ნაგებობების ფუძეები“ და ს.ნ. და წ. 11-02-96-ის „საინჟინრო კვლევა-ძიება მშენებლობისათვის“ მიხედვით.

არსებული მდგომარეობის მიხედვით არ შეიძლება წავუყენოთ პრეტენზია მზიდ კონსტრუქციებს, რადგან საბოლოოდ არ არის გამოკვლეული გრუნტის მდგრადობა. აქამდე ჩატარებულმა ღონისძიებებმა შედეგი არ გამოიღო. აღნიშნული გრუნტის დეტალური შესწავლის შემდეგ შესაძლებელი გახდება დამატებითი სამუშაოების ჩატარება, როგორც შენობასთან მიმდებარე გრუნტის მდგრადობის

ამაღლებისთვის, აგრეთვე საძირკვლების და მასზე მდგომი კონსტრუქციების გაძლიერებისათვის.

#### **4.1.4. შენობის სივრცითი დეფორმაციის გეოდეზიური მონიტორინგი**

##### **4.1.4.1. სივრცითი მოდელის გარე საკონტროლო კვანძების გადაადგილების მონიტორინგი**

გეოდეზიური მონიტორინგის სამუშაოების შემადგენლობაში შედის შენობის სახასიათო წერტილების მასივის მდგომარეობის გეგმურ-სიმაღლივი აზომვა დროში მათი გადაადგილების გაზომვისათვის. ეს სამუშაო სრულდებოდა 2.5 პუნქტში აღწერილი მეთოდის შესაბამისად.

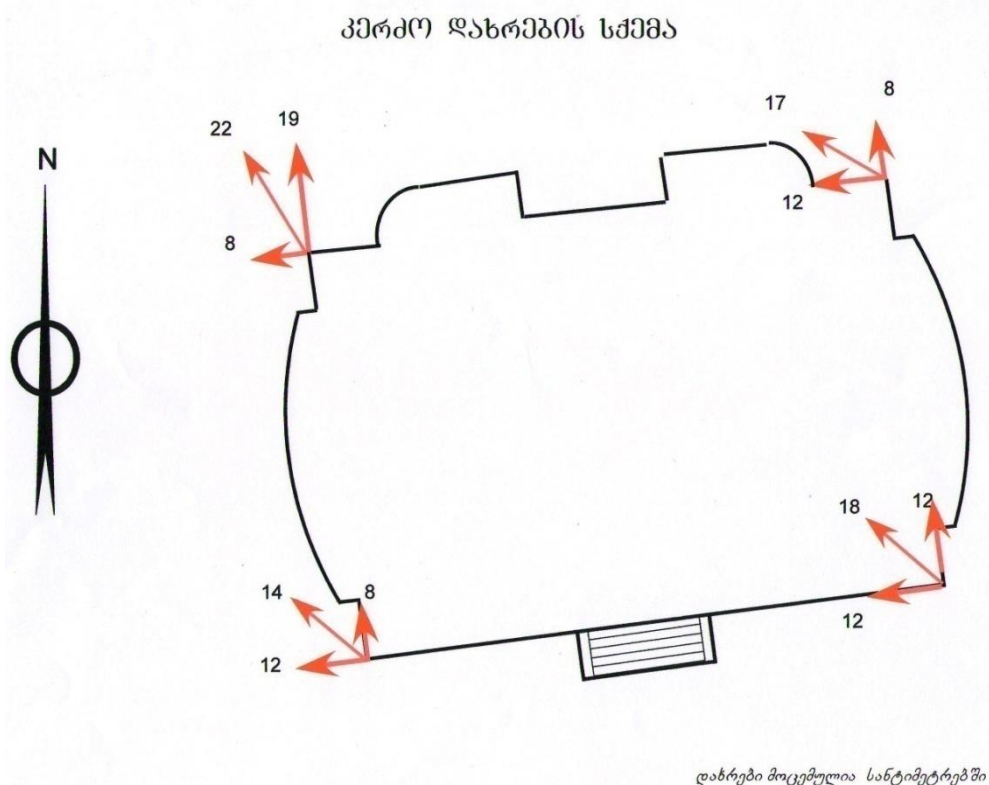
სიზუსტის II კლასისათვის მოთხოვნების [11] თანახმად ვერტიკალური გადაადგილებების გაზომვების ცდომილება უნდა იყოს არა უმეტეს  $\pm 2$  მმ, ხოლო ჰორიზონტალური  $\pm 5$  მმ.

ქ. თბილისის ცენტრალური რაიონის ნაწილში შენობის ადგილმდებარეობასთან დაკავშირებით, რაც ხასიათდება მშენებლობის მაღალი სიმჭიდროვით, ობიექტზე ეფექტურად გამოიყენებოდა საკოორდინატო აზომვის ტექნოლოგია შეზღუდული დაშვების პირობებში სფერული დეფორმაციული მანიშნების გამოყენებით. მოცემული ტექნოლოგიის რეალიზაციამ გამოიწვია სივრცითი აზომვის სადგურების საერთო რაოდენობის შემცირება 1.5-ჯერ, ამასთან შენობის კონსტროლირებადი კვანძების რაოდენობა ზედა დონეში გაზრდილი იქნა 30%-ით ტრადიციულ ბრტყელი მანიშნების გამოყენებასთან შედარებით.

საკონტროლო კვანძების სივრცითი მდებარეობის განსაზღვრისათვის შენობის ფასადზე, მისი კონსტრუქციული და არქიტექტურული განსაკუთრებულობების შესაბამისად დაყენებული იქნა ფირმა SOKKIA-ს 12 ბრტყელი ამრეკლი მანიშნი 39 სფერული ამრეკლით.

ობიექტზე ორგანიზებული იქნა საყრდენი გეოდეზიური ქსელი 8 სადგურისაგან, რომლის კოორდინატები განისაზღვრებოდა კოორდინატების ადგილობრივ სისტემაში დეფორმაციული ზონის საზღვრებს გარეთ განთავსებულ წერტილზე დაყრდნობით. დანარჩენი საყრდენების კოორდინატები განისაზღვრებოდა ST1 სადგურიდან პოლიგონომეტრიული სვლის ჩაწყობის გზით. ნახ. 4.6-ზე წარმოდგენილია პოლიგონომეტრიული სვლა დახურული პოლიგონის სახით და ერთი კიდული წერტილით ST7, რომელიც მოწყობილია შენობის მე-2 სართულის ნაწილზე.

დეფორმაციის კონტროლის სივრცითი მოდელი იქმნებოდა შენობის დანიშნული სახასიათო წერტილების კოორდინატების განსაზღვრის გზით, რომლებიც განთავსებულია 14 ვერტიკალური საკეტის მიხედვით. ყოველ საკეტში ჩანიშნული იყო წერტილები 2-4 სტანდარტულ დონეზე, რომლებიც ემთხვევა მე-2, მე-3 და მე-5 სართულების გადახურვის დონეს (სურ. 4.6). სივრცითი მოდელის აგების სქემები სგკ-ს სადგურიდან წარმოდგენილია აქსონომეტრიული სახით ნახ. 4.8-ზე.



ნახ. 4.6. საყრდენი გეოდეზიური ქსელის სქემა

კოორდინატების გაზომვა სრულდებოდა ფირმა SOKKIA-ს SET4110 მარკის ელექტრონული ტახეომეტრით.  $D=100$  მ დისტანციაზე SET4110 ტახეომეტრით გაზომილი კოორდინატების მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება შეადგენს  $\pm 3.3$  მმ-ს, ფარდობითი ცდომილება  $1/30\ 000$  გაზომილი დისტანციიდან. მონიტორინგის 1-9 ეტაპებში (2006 წ-ს ივნისიდან 2008 წ-ს ივლისამდე) კოორდინატების გაზომვის ფარდობითმა ცდომილებამ  $\left(\frac{f_p}{\sum L}\right)$  შეადგინა დახურული პოლიგონის მიხედვით  $1/(20\ 400 \div 40\ 000)$ . საშუალო სამუშაო დისტანციის დროს  $D=50$  მ, მეზობელი სადგურის მდებარეობის ურთიერთგანსაზღვრის ფაქტიურმა ცდომილებამ შეადგინა  $\pm 2.5$  მმ დახურული პოლიგონისათვის, რაც მოწმობს სამუშაოების ჩატარების სიზუსტის შესაბამისობას საყრდენი ქსელის ნორმატიული მანქვებლების წერტილების კოორდინატების გაზომვასთან [11]. მარკების მდებარეობის გაზომვის დამატებითმა ცდომილებამ შეადგინა საშუალო სამუშაო დისტანციიდან არა უმეტეს  $1/20000$ , ანუ  $\pm 2.5$  მმ. ამგვარად, დეფორმაციული მარკების მდგომარეობის განსაზღვრის ჯამური სკც არ აჭარბებს  $\pm 3.5$  მმ-ს.  $m_{\Delta x}$ ,  $m_{\Delta y}$  კოორდინატების მიხედვით გადაადგილებების გაზომვის ცდომილება განისაზღვრა 3.22-ის თანახმად 4.9 მმ-ის დიაპაზონში, ხოლო ვერტიკალური გადაადგილებების გაზომვის ცდომილება დაფიქსირდა  $\pm 2$  მმ დიაპაზონში, რაც შეესაბამება სახ. სტანდ. 24846-81-ის მოთხოვნებს [11].

მონიტორინგის ყველა ეტაპზე შენობის დანიშნული წერტილების ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გადაადგილებების სიდიდეები გამოითვლებოდა როგორც გაზომვების საწყისი, მომდევნო და საბოლოო ეტაპების კოორდინატებს შორის სხვაობა 2.5 პუნქტის შესაბამისად.

#### 4.1.4.2. სივრცითი მოდელის შიგა კონტროლირებადი კვანძების ჯდომის მონიტორინგი

ამ სახის სამუშაოების შესრულების ძირითად მიზანს წარმოადგენს საძირკვლების შესაძლო დეფორმაციის შესახებ



დამატებითი ინფორმაციის მიღება შენობის ფასადზე და მზიდ კონსტრუქციებზე წერტილის მაღლივი მდებარეობის განსაზღვრის გზით მათი ვერტიკალური გადაადგილების სიდიდეების გაზომვისათვის. ყოველ ციკლში სრულდებოდა 81 ჯდომითი მანიშნის ნიველირება, მათ შორის 33 განლაგებულია შენობის ფასადზე.

გარე მზიდ კონსტრუქციებზე წერტილების მაღლივი მდებარეობა ფიქსირდებოდა ჯდომითი მანიშნების ნიშნულების განსაზღვრის გზით, რომლებიც დაყენებულია შენობის I სართულის დონეზე შიგა ფასადის მხრიდან, რომელიც ესაზღვრება ახალი მშენებლობის მოედანს.

შენობის შიგნით მზიდ კონსტრუქციებზე წერტილების მაღლივი მდებარეობა ფიქსირდებოდა ჯდომითი მანიშნების ნიშნულების განსაზღვრის გზით, რომლებიც დაყენებულია მე-3 სართულის რიგელების ქვედა სიბრტყეში.

ჯდენითი მანიშნების ნიშნულები განისაზღვრებოდა გეომეტრიული ნიველირების მეთოდით გაზომვების სიზუსტის [11] II კლასის მოთხოვნების შესაბამისად გარე დეფორმაციული მარკების ერთიანი სიმაღლის სისტემაში.

3 სადგურის სიგრძის დახურული სვლები სრულდებოდა პირდაპირი და უკუ მიმართულებით ინსტრუმენტის ორ კორიზონტში. ჯდენითი მანიშნების განლაგების სქემები მოყვანილია დანართში II.

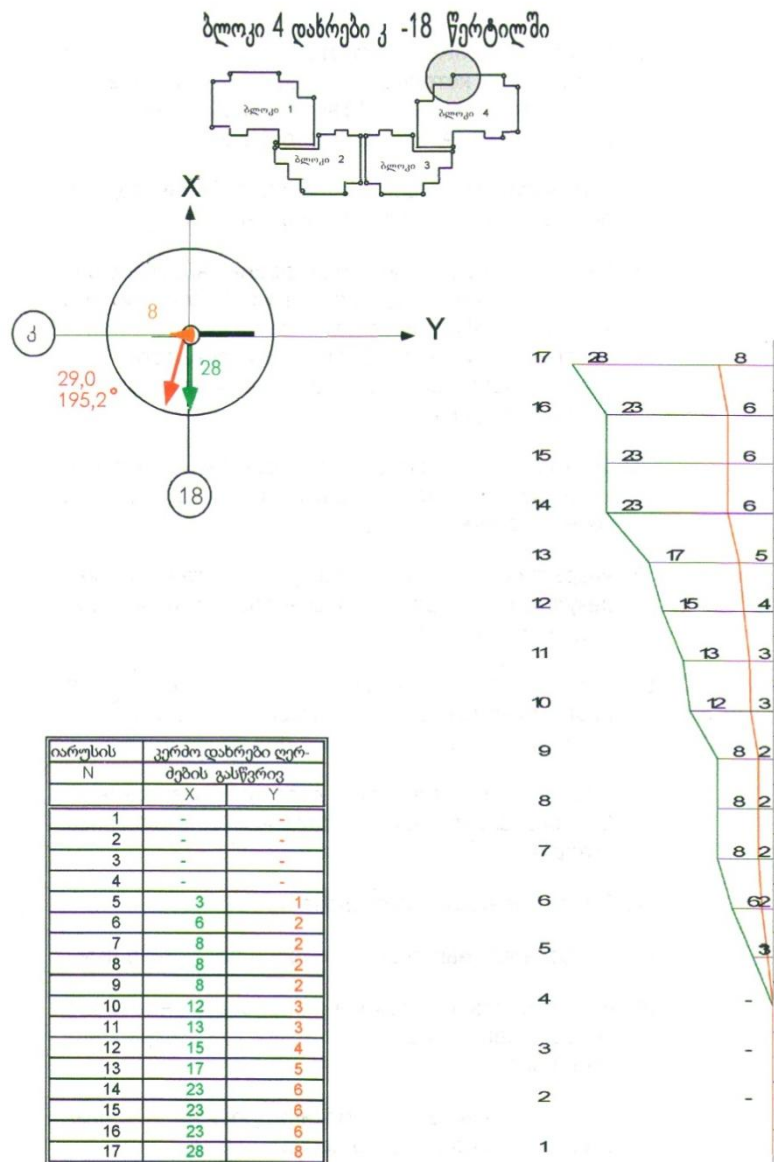
ნიველირების სიზუსტის შეფასება ხორცილედებოდა დახურულ და ორმაგ სვლებში აცდენების მიხედვით. ყოველი სვლისათვის გამოითვლებოდა დასაშვები აცდენა  $f_n = \pm\sqrt{n}$  [11]. ნიველირების სიზუსტის შეფასებიდან გამომდინარეობს, რომ ნიველირების საშუალო კვადრატული ცდომილება სადგურზე არ აჭარბებდა 0.5 მმ-ს, რაც შეესაბამება ნიველირების II კლასის სიზუსტის ნორმატივებს.

#### 4.1.4.3. გეოდეზიური მონიტორინგის შედეგების ანალიზი

შენობის კონტროლირებადი კვანძების სივრცითი გადაადგილების 2006-2008 წ-ის პერიოდის გეოდეზიური მონიტორინგის შედეგებით დადგენილია, რომ საფუძვლის დეფორმაციის გავლენის მიხედვით მათი

ფორმირება და განვითარება დაკავშირებულია ციკლური სეზონური ტემპერატურული ცვლილებებით.

ნახ. 4.7-ზე წარმოდგენილია მე-12 საკეტიდან კვანძების ჰორიზონტალური გადაადგილებები მონიტორინგის 1-9 ეტაპზე. 10<sup>0</sup>-ზე მაღლა დადებითი ტემპერატურების დროს გაზომვები მიმდინარეობდა 1.5 და 9 ეტაპებზე – საზაფხულო ციკლი; 2 და 6 ეტაპებზე – საშემოდგომო ციკლები; 4-8 ეტაპებზე – საგაზაფხულო ციკლი. ზამთრის გაზომვები მონიტორინგის მე-3, მე-7 ეტაპზე მიმდინარეობდა უარყოფითი ტემპერატურების პირობებში, ამასთან ფიქსირდებოდა ზაფხულის მნიშვნელობებზე დიდი გადაადგილებები.



ნახ. 4.7. მე-18 წერტილში ჰორიზონტალური გადაადგილებების მნიშვნელობები

სივრცითი მოდელის გარე კონსტროლირებადი კვანძების გადაადგილების მაქსიმალური მნიშვნელობა გეოდეზიური აზომვის კოორდინატების ადგილობრივ სისტემაში დაფიქსირებული იქნა მონიტორინგის 2-9 ეტაპზე გაზომვების I (საწყისი) ციკლის მიხედვით.

სივრცითი მოდელის გარე კონსტროლირებადი კვანძების გადაადგილებების სრული სტატისტიკური დამუშავება, რომლებიც ტრანსფორმირებულია სემ-მოდელის კოორდინატების გლობალურ სისტემაში, შენობის ყოველი ფასადის ნაპირა საკეტებისათვის წარმოდგენილია დანართში.

#### **4.1.5. შენობის კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება**

##### **4.1.5.1. საწყისი მონაცემები სემ-ანგარიშისათვის**

საპროექტო დოკუმენტაციის და ობიექტის კონსტრუქციების გამოკვლევის შედეგების შესწავლის მსვლელობის დროს გამოვლენილი იქნა შენობის ძირითადი კონსტრუქციული განსაკუთრებულობები, რომლებიც აუცილებელია სემ-მოდელის ბაზის აგებისათვის.

##### ***კონსტრუქციული გადაწყვეტა***

– კარკასის მდგრადობა და უცვლელობა უზრუნველყოფილია ვერტიკალური კავშირის სისტემებით, აგრეთვე გადახურვის და სახურავის დისკების სიხისტით, რომლებიც საიმედოდ არიან მიერთებული კარკასის კოჭებთან ძვრამდგრადი წკირით (შტიფტით) მათი ერთობლივი მუშაობის უზრუნველყოფისათვის.

– კოჭების ერთმანეთთან შეერთება და მათი კოლონებთან დამაგრება, როგორც წესი, სახსროვანია, კვანძების გამოკლებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციის ზოგიერთი ფრაგმენტის მდგრადობას.

– საძირკველზე კოლონების დაყრდნობა – სახსროვანი;

– როტონდის კოლონები მიმაგრებულია გადახურვის დისკებთან, რაც უზრუნველყოფს მათ უცვლელობას.

ცალკეული ელემენტების კონსტრუქციული გადაწყვეტა

– მეორე და მესამე სართულების გადახურვის დიდმალიანი კოჭები განკუთვნილია მეტროპოლიტენის გვირაბის გადახურვის მოწყობისათვის და ირებენ ყველა დატვირთვას 8 სართულის გადახურვისა და სახურავისაგან. კოჭების ნაწილი განთავსებულია კედლების სიბრტყეში, სხვები – უშუალოდ გადახურვის ფილების შემადგენლობაში. კოჭების მალეები შეადგენენ  $18 \div 31.5$  მ. სამი კოჭი 27 მ მალით დაპროექტებულია კოლოფისებრი, რაც საშუალებას იძლევა ტავის თავზე აიღოს მნიშვნელოვანი მგრესი მომენტები, უზრუნველყოს ფართე სარტყლებში ნორმალური ძაბვების უფრო თანაბარზომიერი გადანაწილება.

– დიდმალიანი კოჭი (31.5 მ) შესრულებულია უირიბნო ფერმის სახით 7 სართულის სიმაღლით.

– გადახურვის ძირითადი და მეორე ხარისხოვანი კოჭები შესრულებულია ორტესებრებით შედურებით. მათი ანგარიშისას გათვალისწინებულია ერთობლივი მუშაობა გადახურვის მონოლითურ ფილასთან.

– კარკასის მზიდი კოლონები შესრულებულია უპირატესად ორტესებრი კვეთით. კოლონების ნაწილი, რომლებიც ირებენ მნიშვნელოვან ვერტიკალურ დატვირთვებს, შესრულებულია შედურებული კოლოფების სახით. კოლონები, რომლებსაც გეგმაში აქვთ მიმხრობილი კოჭები შესრულებულია მრგვალი მილებისაგან.

– მზიდი კონსტრუქციების ფილადის მარკა C245 ( $R_{yn}=245$  მპა,  $R_{un}=370$  მპა), C345 ( $R_{yn}=265 \div 345$  მპა,  $R_{un}=430 \div 490$  მპა).

#### 4.1.5.2. შენობის სემ-მოდელის აგება ЛИРА 9.6-ში

ციფშიდის ქ. №20ა-ში მდებარე საცხოვრებელი შენობის სემ-მოდელის შექმნისათვის გამოიყენებოდა პროგრამული კომპლექსი ЛИРА 9.6.

შენობის სემ-მოდელი ფორმირებულია ნაშრომის მე-3 თავში წარმოდგენილი პრინციპების შესაბამისად. ლითონკონსტრუქციის

ელემენტები (კოლონები, კოჭები, ზეწრები, კავშირები) წარმოდგენილია სივრცითი სწორხაზოვანი დეროვანი სასრული ელემენტები, რომლებიც მუშაობენ გაჭიმვა-კუმშვაზე, ღუნვაზე, გრესაზე და ძვრაზე. მეორე, მესამე სართულის გადახურვის დიდმალიანი კოჭები მოდელირებულია კოჭი-კედელი ტიპის სასრული ელემენტების სახით.

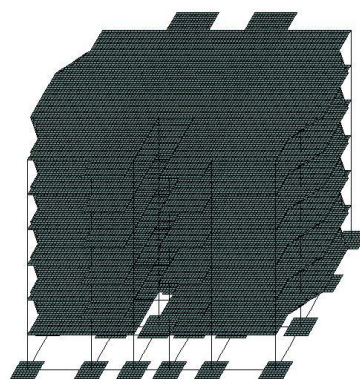
სემ-მოდელის სამუშაო ვერსია შეიცავს 42076 კვანძის და 46138 ელემენტს, რკინაბეტონის გადახურვის (ფილის სასრული ელემენტი) მთლიანი დისკების შემადგენლობაში შემავალი ელემენტების და კვანძების ცათვლით (ნახ. 4.8÷4.10).

მოცემული მოდელი საშუალებას იძლევა ჩატარდეს ნებისმიერი ანგარიში დატვირთვების ძირითადი სახეობების მოქმედებაზე: საკუთარი წონა, თოვლის დატვირთვა, დროებითი დატვირთვა ს.ნ. და № 2.01.07-85, “დატვირთვები და ზემოქმედებები” შესაბამისად [36], აგრეთვე დინამიკურ და დეფორმაციულ ზემოქმედებებზე.

სემ-მოდელის შესახებ ინფორმაცია	
1. გადახურვის ფილები და საძირკვლები – გამოყენებულია გარსის ელემენტები „უნივერსალური ოთხკვანძიანი ელემენტი“ სე-44	
2. სვეტები და რიგელები – გამოყენებულია სივრცითი კოჭის სასრული ელემენტების სე-10	
ელემენტების რაოდენობა	46 138
კვანძები რაოდენობა	42 076

ნახ. 4.8. შენობის სემ-მოდელის შესახებ ინფორმაცია

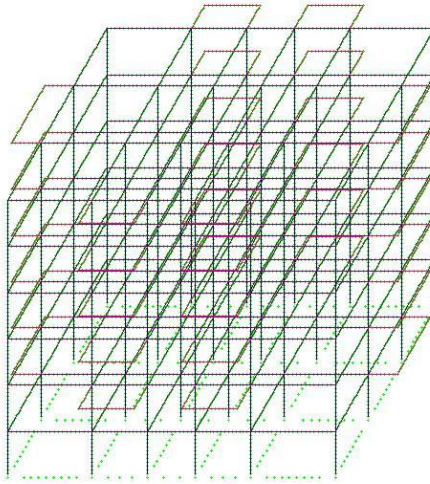
შეფუთვა 1



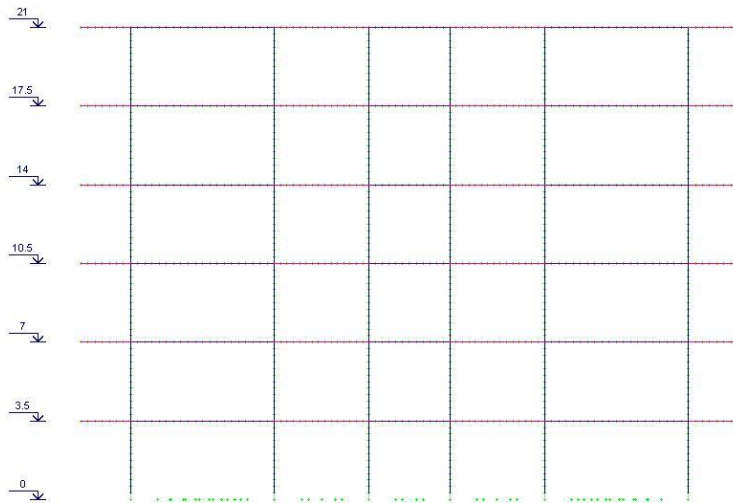
სურ.

სურ. 4.9. შენობის სემ-მოდელის აქსონომეტრიული სახე

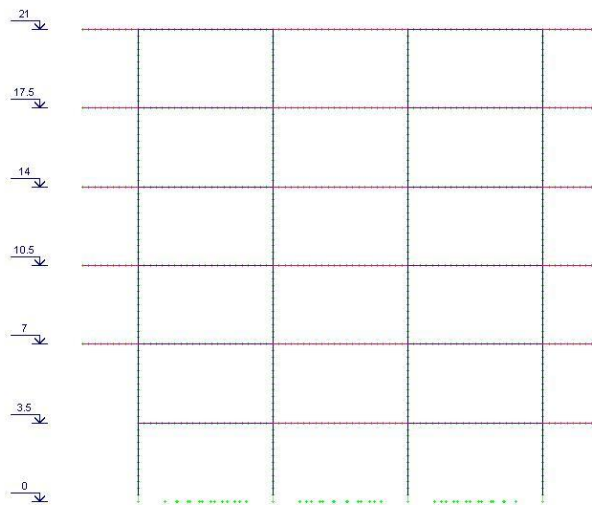
Загрузка 1



Загрузка 1



Загрузка 1



ნახ. 4.10. შენობის სემ მოდელის პროექციურებული სახე

### 4.1.5.3. შენობის საბაზისო სემ-მოდელის ანგარიშის შედეგების ანალიზი

მონიტორინგის შედეგების მიხედვით კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასების მსვლელობისას განიხილებოდა შენობის დატვირთვა საანგარიშო დატვირთვებით (მუდმივი და დროებითი), აგრეთვე მიყენებული გადაადგილებებით, მე-3 თავში მოყვანილი მეთოდით შეიქმნა ნაგებობის ორი საანგარიშო სემ-მოდელი (იხ. პ. 3).

1. ნაგებობის მიმდინარე საექსპლუატაციო (მოცემულ შემთხვევაში ბაზისური) სემ-მოდელი, რომელიც ფორმირებულია საპროექტო დოკუმენტაციის მიხედვით და გაანგარიშება მხოლოდ საანგარიშო დატვირთვების მოქმედებაზე;

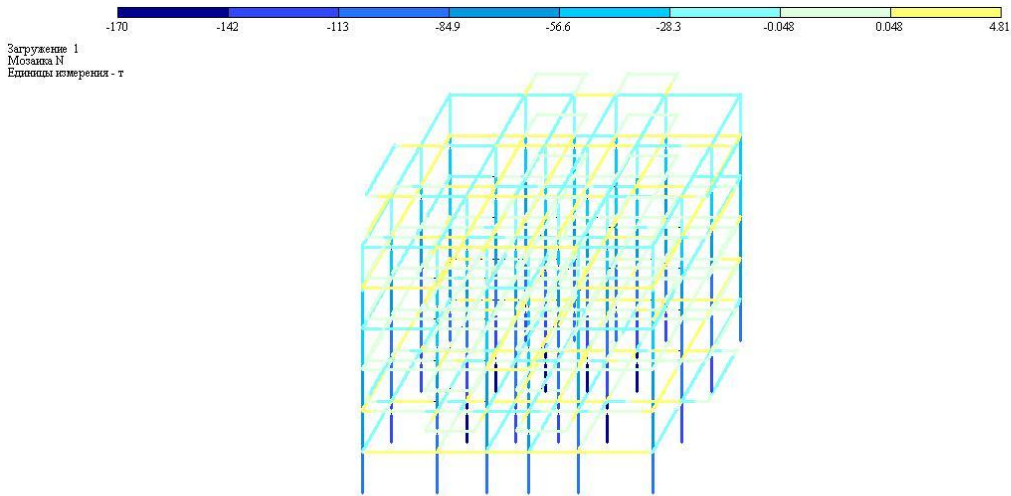
2. ნაგებობის მიმდინარე დეფორმაციული სემ-მოდელი, რომელიც ფორმირებულია საბაზისო სემ-მოდელის საანგარიშო დატვირთვების მოშორების შემდგომ და საკონტროლო კვანძებში ჩამაგრებების დამატებით, რომელიც გაიანგარიშება მხოლოდ მოცემულ კვანძებზე მიყენებული გადაადგილებების მოქმედებაზე.

მონიტორინგის მსვლელობისას დაფიქსირებული სემ-მოდელის კარკასის ძირითად კვანძებში, აგრეთვე მიყენებული გადაადგილებების გავლენის პირდაპირი შეფასება მთელი მოდელის ბაზაზე გართულებულია შენობის დიდი მოცულობისა და მზიდი კონსტრუქციების დიდი რაოდენობის ელემენტების გამო. ამ მიზეზით, როგორც ეს აღწერილია 3 პარაგრაფში, მოცემული ობიექტებისათვის გამოიყენებოდა მთელი სემ-მოდელის გაყოფის ტექნოლოგია ბლოკურ სემ-მოდელზე სივრცითი მოდელის მიღებული კონფიგურაციის შესაბამისად (ნახ. 4.9). სემ-მოდელის მტელ შემადგენლობაში სულ წარმოქმნილია 25 კონტროლირებადი ბლოკი (კბ).

კონტროლირებადი ბლოკებისათვის საპროექტო დოკუმენტაციის მონაცემების საფუძველზე ფორმირებული იქნა ძირითადი მზიდი ელემენტების ჯგუფები (ნახ. 4.11) გამომდინარე.

- კონსტრუქციის დანიშნულება (კოლონები, კოჭები, კავშირები);
- ფოლადის მარკები;

– კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლები.



ნახ. 4.11. კბ 1-3 დეროვანი ელემენტების ფეროვანი კლასიფიკაცია

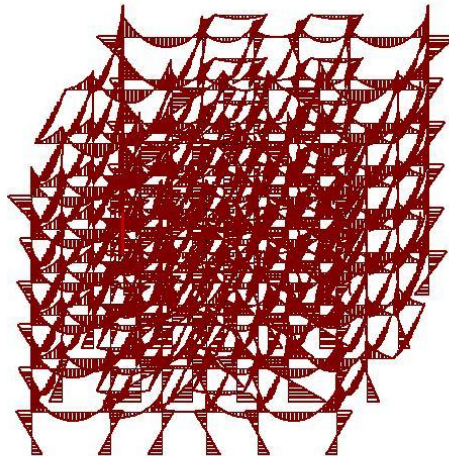
I სართულის ( $R_y=300$  მპა) კონტროლირებადი კოჭების საანგარიშო დატვირთვების ზემოქმედებისგან უფრო მეტად დატვირთულ კოლონებში დატვირთვების არჩევითი ანალიზის შედეგები (ნახ. 4.12), დატვირთვები და უფრო მეტად დატვირთული ძირითადი და მეორეხარისხოვანი გადახურვის კოჭების სახასიათო ჩაღუნვები.

გადახურვის კოჭებისათვის სნ და  $\sqrt{\text{II-23-81}}$  “ფოლადის კონსტრუქციები” მოთხოვნების შესაბამისად (ფოლადი C245) [40]:

- $\sigma_{\text{ფღვ}} = R_y=240$  მპა;
- $\tau_{\text{ფღვ}} = 0.58R_y=139$  მპა;

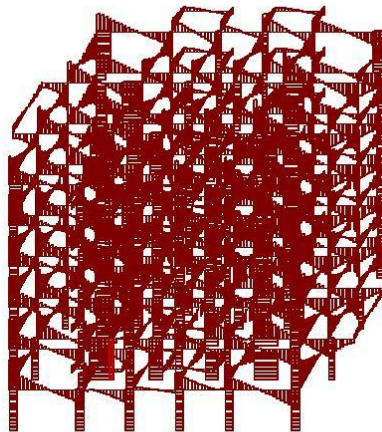


Загружение 1  
 Вид: Mu  
 Единица измерения - т\*м



Z Y X  
 Минимальное усилие -13.7259  
 Максимальное усилие 13.3821

Загружение 1  
 Вид: Sz  
 Единица измерения - т



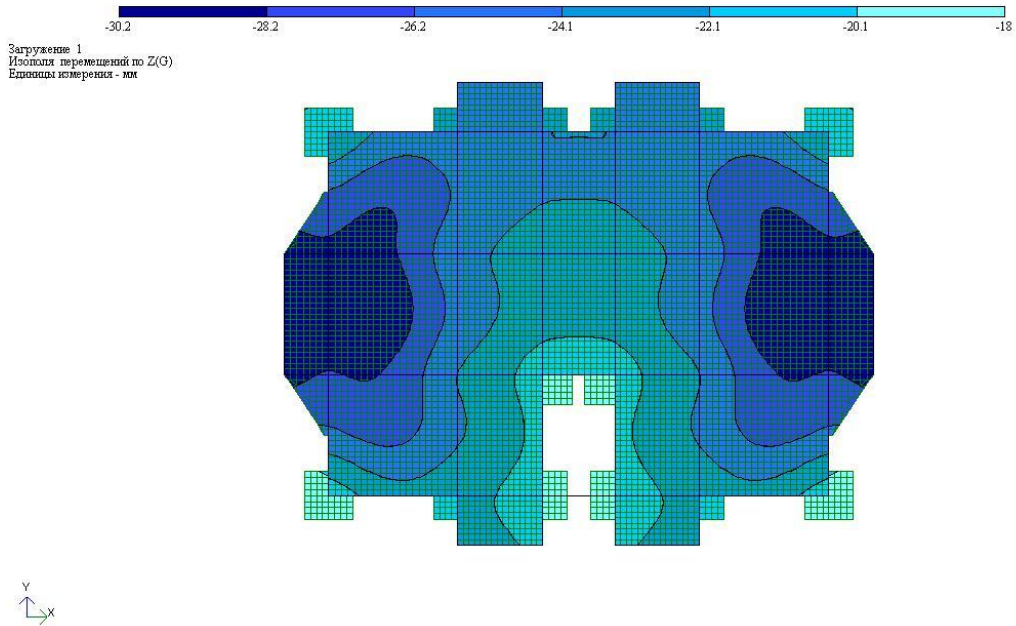
Z Y X  
 Минимальное усилие -12.4866  
 Максимальное усилие 12.4866

ნახ. 4.12. კბ 1-3 კონსტრუქციებში მღუნავი მომენტების და გრძივი ძალების ეპიურა

ძაბვები დიდმალიან კოჭებში:

- კოჭი 2 –  $\sigma = 223 \text{ მპა} < 270 \times 0.9 = 243 \text{ მპა}$ ;
- კოჭი 3A –  $\sigma = 213 \text{ მპა} < 243 \text{ მპა}$ ;

ზღვრულად დასაშვებო ჩაღუნვა  $f_{\text{ზღვ}} = l/250$  პირობისას გადახურვის კოჭი მალით 9 მ შეადგენს 3.6 სმ, მალით 8 მ – 3.2 სმ; მალით 9 მ – 3.6 სმ; მალით 11.6 მ – 4.6 სმ (ნახ. 4.13).



ნახ. 4.13. შენობის კონსტრუქციების ვერტიკალური გადაადგილებები მუდმივი და დროებითი საანგარიშო დატვირთვებისგან

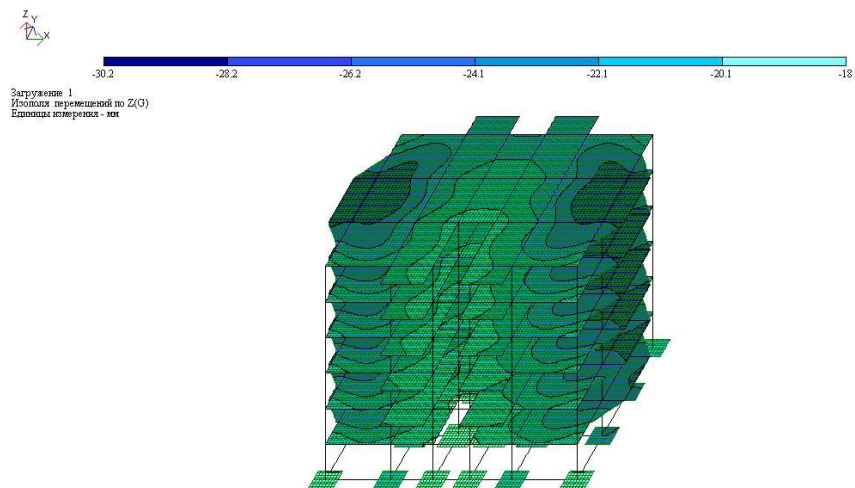
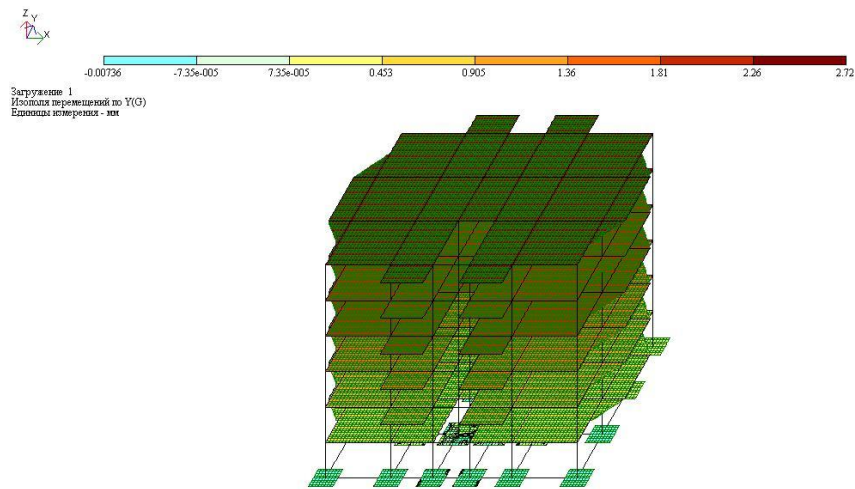
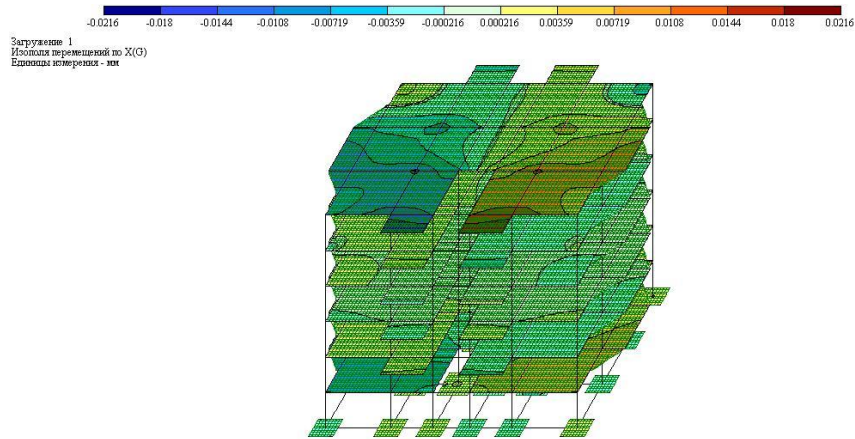
მხოლოდ საანგარიშო დატვირთვებისგან გამოწვეული უფრო მეტად დატვირთული კარკასის კონსტრუქციის ჩატარებულმა არჩევითმა შეფასებამ აჩვენა, რომ კონსტრუქციებში ძაღვები, ძაბვები და გადაადგილებები შეესაბამება მოთხოვნებს I და II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობების მიხედვით. შენობის მზიდი კონსტრუქციების განლაგების სქემა მოყვანილია დანართში.

#### 4.1.5.4. შენობის კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე ჯდომითი პროცესების გავლენის სასრულ ელემენტთა მეთოდის მოდელირება

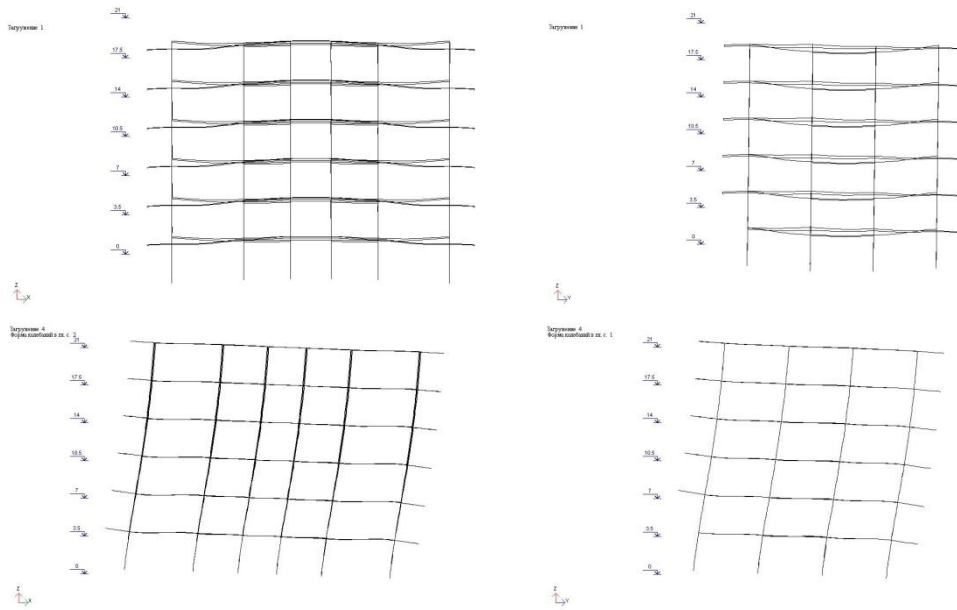
შენობის სემ-მოდელის არსებობა საშუალებას იძლევა მივიღოთ სივრცითი მოდელის კონტროლირებადი კვანძების ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გადაადგილებების და საფუძვლის ზღვრულად დასაშვები სიდიდეების მოდელირების გზით, რომლის დროსაც კონსტრუქციის დამ დარჩება დასაშვები ნორმების საზღვრებში. ამასთან გადაადგილებების მირებული მნიშვნელობები შეიზღება გამოყენებული იქნეს ორიენტირად რეალური გადაადგილებების

სიდიდეებისათვის, რომლებიც მიღებული იქნა მონიტორინგის მსვლელობისას, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმ ნაგებობებისათვის, რომლების მზიდი კონსტრუქციები დამალულია შიგა და გარე მოპირკეთების მიღმა და მიუწვდომელია ვიზუალური დათვალიერებისათვის. თუმცა ამგვარად მიღებულ მნიშვნელობებს აქვს საკონტროლო ხასიათი და არ შეუძლიათ ობიექტის კონსტრუქციების მზიდუნარიანობის შენარჩუნების უზრუნველყოფის გარანტირება საფუძვლის დეფორმაციის სურათის ყველა პოტენციური ვარიანტების გათვალისწინების შეუძლებლობით, ამიტომ მზიდი კონსტრუქციების დღმ-ზე საფუძვლის არათანაბარი დეფორმაციის გავლენის ობიექტური შეფასებისათვის აუცილებელია მონიტორინგის მსვლელობისას დარეგისტრირებული გადაადგილებების და საანგარიშო დატვირთვების ქმედებებზე სემ-ანგარიშის ჩატარება.

მაგალითის სახით ქვემოთ მოყვანილია შენობის კონსტრუქციის დღმ-ზე სნ და წ-ებით დასაშვები ვერტიკალური ჯდენების ვარიანტებიდან ერთ-ერთის გავლენის მოდელირება. სნ და წ 2.02.01-83 “ძირითადი შენობები და ნაგებობები” – თანახმად [37] მაქსიმალურად დასაშვები არათანაბარი ჯდომებისას  $\Delta S/L=0.003$ , მეზობელ კოლონებზე ჯდომების მაქსიმალური აბსოლუტური სხვაობა მათ შორის  $L=24\div 27$  მმ. სემ-ანგარიშის ჩატარების შედეგების მიხედვით პორიზონტალური გადაადგილებების ზღვრული მნიშვნელობა შენობის ზედა კონტროლირებადი კვანძების ზედა დონეში შეადგენს  $\Delta Y=-88$  მმ (ნახ. 4.14).



ნახ. 4.14. შენობის გადაადგილება საანგარიშო დატვირთვებისაგან (H-1) და საყრდენების მოცემული ჯდენით (H-2) ზედა კონტროლირებადი კვანძების დონეზე



ნახ. 4.15. შენობის განივი ჩარჩოს დეფორმაციის სქემა

ამასთან გადახურვის მზიდი კოჭები არ განიცდიან დღმ მნიშვნელოვან ცვლილებებს, რაც აიხსნება მათი კოლონებთან სახსრული კავშირებით და გადახურვის დისკებთან ერთობლივი მუშაობით (ნახ. 4.15). დღმ-ს დიდი ცვლილებები დაფიქსირდა I სართულის კოლონებში. არაცენტრალურად შეკუმშული კოლონების ანგარიში მიმდინარეობდა სნ და № II-22-81 მოთხოვნების შესაბამისად [40] (49), (51) და (56) ფორმულების მიხედვით NormCad პროგრამის გამოყენებით. უფრო მეტად დატვირთული კოლონების სიმტკიცის და მსგრადობის ანგარიშის შედეგად %-ში ზღვრული მნიშვნელობებისგან.

აუცილებელია ყურადღება მივაქციოთ იმას, რომ სნ.და №-ებით დასაშვები ზღვრული არათანაბარი ჯდომის მნიშვნელობების დროსაც კი მოცემული შენობისათვის I სართულის (კბ. 2-1) უფრო მეტად დატვირთული კოლონების მზიდუნარიანობა ამოწურულია მდგრადობის კარგვის გათვალისწინებით.

#### 4.1.5.5. გადაადგილებების მოქმედებაზე სემ-მოდელის მიმდინარე დეფორმაციული ანგარიშის შედეგების ანალიზი

გეოდეზიური გაზომვების და სივრცითი მოდელის კონსტროლირებადი კვანძების, ვერტიკალური და ჰორიზონტალური

გადაადგილების მიღებული მაქსიმალური მნიშვნელობების ანალიზიდან გამომდინარე მაგალითის სახით სემ-მოდელის ანგარიში მიყენებული გადაადგილების ქმედებაზე მოყვანილია სემ-მოდელის კონტროლირებადი ბლოკების კონსტრუქციის სემ ცვლილების ანალიზი, რომლებიც შემოზღუდულია საკეტებით.

ტახეომეტრული აზომვის მონაცემები შევსებულია შესაბამისად კონტროლირებადი ბლოკების შესაბამისი შიგა კვანძების ნიველირების შედეგებით, რომლებიც დაყენებულია შენობის მე-3 სართულის კონსტრუქციებზე.

ობიექტის სემ-მოდელის მიმდინარე დეფორმაციული დატვირთვა გეოდეზიური გაზომვების მონაცემებით კონტროლირებადი ბლოკების სისტემის დახმარებით ხორციელდება პ. 3-ის თანახმად.

1. სემ-მოდელის შესაბამის კვანძებში სივრცითი მოდელის გარე და შიგა კონტროლირებადი კვანძების გადაადგილებების შეყვანა;

2. სემ-მოდელის კარკასის ძირითად კვანძებში გადაადგილების ინტერპოლაცია კვადრატული, წრფივი და ბრტყელი ინტერპოლაციის დახმარებით;

3. კონტროლირებადი ბლოკების სისტემების ანგარიში (ბლოკოვანი სემ-მოდელი) მიყენებული გადაადგილების მოქმედებაზე.

ანგარიშისას განიხილებოდა დატვირთვის ორი სახეობა: *H-1* (საანგარიშო დატვირთვა); *H-2* (მიყენებული დატვირთვა). სურ. 4.15-ზე მოყვანილია მიყენებული გადაადგილების მოქმედებისაგან სემ-მოდელის ბლოკების სქემის ფორმირება, აგრეთვე გადაადგილების ინტერპოლირებული მნიშვნელობების ფეროვანი წარმოდგენა.

შედეგების მიხედვით მიყენებული გადაადგილების მოქმედებისაგან (*H-2*) გამოწვეული დიდი ძალები, რომლებიც დაფიქსირებულია I სართულის ნაპირა კოლონებში. ცხრილი 4-9-ს მონაცემებით დადგენილია, რომ მოცემული დეფორმაციული დატვირთვებისას კოლონები არ განიცდიან დამ მნიშვნელოვან ცვლილებებს და აკმაყოფილებენ სახ. სტან. 27751-88 მოთხოვნებს [12]. გადახურვის მზიდ კოჭებში მღუნავი მომენტების პარალელურად ჩნდება დამატებითი გამჭიმავი და მკუმშავი ძალები, რაც იწვევს მათი სამუშაო სქემის ცვლილებას. კონტროლირებადი ბლოკების

კონსტრუქციებში აღძრული ძაღვების ეპიურები წარმოდგენილია ნახ. 4.12-ზე.

გადაადგილების დაფიქსირებული სიდიდების შედარება სემ-მოდელირების მსვლელობისას მიღებულ მათ ზედაპირულ მნიშვნელობებთან მოწმობს, იმას, რომ მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკურ მდგომარეობაზე დეფორმაციული პროცესების გავლენა უმნიშვნელოა, რაც აგრეთვე მოწმდება ვიზუალური დათვალიერების მონაცემებით და სემ-ანგარიშის შედეგების მიხედვით კონსტრუქციის დამ ცვლილებების შეფასებით.

## **4.2. სხვა ტიპის ობიექტებისათვის სივრცითი მოდელის გამოყენების შესაძლებლობა**

სივრცითი მოდელები აგრეთვე შეიძლება იქნან გამოყენებული სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების ტექნიკურ მდგომარეობის მონიტორინგისას. მაგალითის სახით გამოკვლეული გვაქვს ხუთსართულიან საცხოვრებელ შენობაზე ლითონის კარკასული მიშენების მდგომარეობა.

### **4.2.1. შესავალი**

გამოსაკვლევი ობიექტი წარმოადგენს ბმ ამხანაგობა „შირაქი“-ს კუთვნილ საცხოვრებელ სახლს, რომელიც მდებარეობს ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში.

გამოკვლევის მიზანი: ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე კორპუსის პირველ და მეორე სადარბაზოს შიროს განხორციელებული მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების და მათი შემაერთებელი კვანძების ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა და მისი შემდგომში ნორმალური ექსპლუატაციისათვის საჭირო ღონისძიებების შემუშავება.

მშენებლობის ნორმატიული დოკუმენტის СП-13-102-2003 (შენობების და ნაგებობების მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების გამოკვლევის წესები) თანახმად განისაზღვრა სამუშაოს მეთოდოლოგია და ამოცანები:



1. მინაშენის საპროექტო დოკუმენტაციის მოძიება, გაცნობა, ანალიზი;
2. მინაშენის ვიზუალურ-ტექნიკური გამოკვლევა;
3. მინაშენის გეომეტრიული პარამეტრების დადგენა;
4. ლითონის სივრცითი კარკასის მზიდი კონსტრუქციების შემაერთებელი ელემენტების (შედულების ნაკერების და ა.შ.) ტექნიკური გამოკვლევა;
5. მინაშენის და ძირითადი შენობის საძირკვლების პირობების და ფუძის მექანიკური მახასიათებლების დადგენა;
6. კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით მინაშენის სივრცითი კარკასის გაანგარიშება სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებზე;
7. კვლევის და გაანგარიშების შედეგების ანალიზი და დასკვნა, რეკომენდაციების შემუშავება;

**4.2.2. ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე  
ხუთსართულიანი საცხოვრებელი სახლის მინაშენის მზიდი  
კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის დადგენა**

**4.2.2.1 შესავალი**

მინაშენის ვიზუალური გამოკვლევა ჩატარდა ნორმატიული დოკუმენტის СП-13-102-2003 მე-7 პარაგრაფის (წინასწარი ვიზუალური გამოკვლევა) მოთხოვნების შესაბამისად. ვიზუალური გამოკვლევის მიზანია: მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების და მათი შემაერთებელი კვანძების წინასწარი ტექნიკური მდგომარეობის დადგენა და კონსტრუქციების დეტალურ-ინსტრუმენტალური გამოკვლევის ჩატარების აუცილებლობის განსაზღვრა.

წინასწარი ვიზუალური გამოკვლევის დროს მზიდი კონსტრუქციების დათვალიერებისას გამოყენებული იყო გამზომი ხელსაწყოები: ბინოკლი, სახაზავი, რულეტი, შტანგერფარგალი, ციფრული ფოტოაპარატი და სხვა.



ვიზუალური გამოკვლევის დროს განხორციელდა: მზიდი კონსტრუქციების ხილული დეფექტების გამოვლენა; საკონტროლო აზომვები და ჩანაწერები; დეფექტების დაფიქსირება ფოტოსურათებზე; მთლიანად მინაშენის და მისი ცალკეული ელემენტების დეფორმაციების დაფიქსირება; მზიდი კონსტრუქციების ავარიული უბნების დადგენა; მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის დადგენა; კონსტრუქციების დეტალურ-ინსტრუმენტალური გამოკვლევის ჩატარების აუცილებლობა.

#### 4.2.2.2. მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების ვიზუალური შესწავლა

დამკვეთმა სახლისა და მინაშენის შესახებ საპროექტო დოკუმენტაცია ვერ წარმოადგინა. ჩვენს მიერ გატარებული სხვადასხვა ღონისძიებების მიუხედავად სახლისა და მინაშენის შესახებ ტექნიკური დოკუმენტაციის მოძიება ვერ მოხერხდა. საჭირო გახდა ადგილზე გასვლა და ვიზუალური, აზომვითი და სხვა სახის სამუშაოების ჩატარება.



სურ. 4.16



სურ. 4.17

ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე ნაგებობა გეგმაში მართკუთხა ფორმისაა. იგი ხუთსართულიანია, აგებულია გასული საუკუნის 70-იან წლებში (სურ. 4.16). გააჩნია სარდაფი, შენობა ორსადარბაზოიანია, სართულის სიმაღლე 2.65 მ-ია. მის მზიდ კონსტრუქციებს წარმოადგენს გრძივი და განივი კედლების სისტემა განხორციელებული აგურით, სისქით 38 სმ, სართულთშორისი

გადახურვები კონსტრუირებულია ანაკრები ღრუტანიანი ფილებით, სისქით 0,22 მ. შენობის ზეპირკველი ბეტონისაა. სართულებს შორის კავშირი ხორციელდება ანაკრები რკინაბეტონის კიბეებით, ბაქნები რკინაბეტონისაა. სახურავი ორქანობიანია, რომელიც დაფარულია თუნუქის ბურულით (სურ. 4.17).

აღნიშნულ შენობაზე 1989 წელს უკანა ფასადზე, პირველ და მეორე სადარბაზოებს შორის განხორციელდა მიშენება, რომელსაც გეგმაში მართკუთხედის ფორმა აქვს მაქსიმალური ზომებით 3×12 მ. (სურ. 4.18). მინაშენის მზიდ კონსტრუქციებს წარმოადგენს ლითონის ერთმალიანი ხუთსართულიანი კარკასი (H=2,65მ.) გრძივი მიმართულებით სვეტების ბიჯით 3 მ.



სურ. 4.18



სურ. 4.19



სურ. 4.20

მინაშენის საძიკველი წერტილოვანია (სურ. 4.19), რომლებიც გაერთიანებულია ლენტური რკინაბეტონის მონოლითური რანდკოჭებით, რომლებზეც დამონტაჟებულია 8 მმ-ის სისქის ლითონის ფურცლები ზომებით 30×30 სმ, რომელიც ჩამაგრებულია რკინაბეტონის

საპირკველში. ლითონის ფურცელზე, სიხისტის სამკუთხა ფურცლების შედუღებით დამონტაჟებულია ლითონის სივრცითი კარკასის ორტოტა სვეტები. აღნიშნული სვეტების ბაზის ჰორიზონტალურ ფურცლიდან მინაშენის სართულშორისი გადახურვის კონსტრუქციის ზედაპირამდე მანძილი 0.2 მ-ია.

მინაშენის სივრცითი კარკასის სვეტები წარმოადგენს შედგენილ ლითონის კონსტრუქციას, რომელიც განხორციელებულია ორი ცალი [№16 ლითონის შველერისაგან რომლებიც ერთმანეთის მიმართ თაროებით არიან ორიენტირებული (სურ. 4.20).



სურ. 4.21

აღნიშნული შველერები ორივე მხრიდან შეკრულია ერთმანეთის მიმართ 0.531, 1.54, 1.6, 0.6 მ-ით (სიმაღლეში) დაშორებული ლითონის ფურცლების საშუალებით. პირველ სართულზე ფურცლების ზომები –  $0.5 \times 0.6 \times 0.08$  მმ-ის ტოლია, ხოლო მეორე და დანარჩენ სართულებზე –  $0.5 \times 1.0 \times 0.8 \times 0.3$  მ (სურ. 4.21).

მინაშენის გრძივი მიმართულებით, გადახურვის კონსტრუქციის ქვედა ზედაპირის ნიშნულზე, მოწყობილია გრძივი რიგელები, რომელიც კონსტრუირებულია, [№16 შველერისაგან (სურ. 4.22). გრძივი რიგელები ჰორიზონტალური და ვერტიკალური შედუღების ნაკერით უკავშირდება სვეტების შემაკავშირებელ ფურცლებს და ერთ-ერთ ტოტის ზედაპირს. სვეტების გადაბმის პირაპირები განხორციელებულია ორმხრივად ფურცლებით. განივ რიგელებს გააჩნია 0.85 მ კონსოლი. განივი რიგელები შესრულებულია [№16 შველერებისგან. სართულშორისი გადახურვები განხორციელებულია მონოლითური  $\delta = 0.16$  მ-ის სისქის რკინაბეტონის ფილის სახით (სურ. 4.23).





სურ. 4.22



სურ. 4.23



სურ. 4.24

რკინაბეტონის ფილა მოწყობილია, ერთმანეთის მიმართ დაახლოებით 3 მ ბიჯით, (მინაშენის გრძივად) სივრცითი ჩარჩოს გრძივ რიგელებზე ელექტრო შედუღებით მიმაგრებული [16 შველერებისგან განსორციელებულ კოჭებზე. შუა კოჭზე გაკეთებულია ხვრელები, ბიჯით 0.30-0.35 მ, რომელშიც გაყრილია  $\Phi 16$  არმატურა (სურ. 4.24). ეს არმატურა განთავსებულია ლითონის კოჭების ქვედა თაროსთან და ის რკინაბეტონის ფილის მუშა არმატურას წარმოადგენს.



სურ. 4.25

უნდა აღინიშნოს, რომ მინაშენში არსებული სათავსოების გარემოსაგან და ერთმანეთთან შემომზღუდავ კონსტრუქციებს წარმოადგენს ცემენტ-ქვიშის ხსნარზე აგურით განხორციელებული კედლები, რაც შესრულებულია მხოლოდ მეორე სართულზე. სხვა სართულებზე, კედლები ამოშენებული არ არის (სურ. 4.25).

აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ მინაშენს გრძივად კონსოლებზე აქვს განხორციელებული ღია აივნები.

#### **4.2.2.4. მინაშენის, სივრცითი კარკასის მზიდი კონსტრუქციების და მათი შემაერთებელი კვანძების, გამოკვლევის შედეგად გამოვლენილი დეფექტები, კოროზიის ხარისხის დადგენა**

ჩატარდა მინაშენის სივრცითი კონსტრუქციების და მათი ელემენტების ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევა. ნორმატიული დოკუმენტის CII-13-102-2003-ის შესაბამისად.

განსაზღვრული იყო ლითონის ნაგლინი ელემენტების კოროზიის ხარისხი. კოროზიის პროცესის შესასწავლად გამოყენებული იყო: ულტრაბგერითი სისქის მზომი, ლითონის სახაზავი, შტანგენფარგალი, მიკრომეტრი, გამადიდებელი ლუპა, ბინოკლი.

მინაშენის მზიდი კონსტრუქციების გამოკვლევის საფუძველზე დადგინდა, რომ ლითონის სვეტების მიმაგრება, რკინაბეტონის ლენტურ საძიკველთან განხორციელებულია ხისტად „ბაზის“ საშუალებით. „ბაზის“ კონსტრუქცია წარმოადგენს სვეტის ღეროების (ტანის) გაფართოებულ ნაწილს, რომელზედაც სვეტებიდან მოსული ძაღვები, სამკუთხა ლითონის სიხისტის ფირფიტების საშუალებით თანაბრად ნაწილდება ყველა მიმართულებით (სურ. 4.26).



სურ. 4.26



სურ. 4.27

როგორც ცნობილია, პროექტირების დროს სვეტის ტიპის შერჩევა ხორციელდება: ეკონომიური თვალსაზრისით, მოსული დატვირთვების მიხედვით, სვეტებთან კონსტრუქციების შეუღლების კვანძების სიმარტივის მიხედვით, და სხვა. ცნობილია, რომ მაქსიმალური დატვირთვა გამჭოლი კვეთის მქონე, შველერებისაგან შედგენილ, სვეტებზე არ უნდა აღემატებოდეს 270-350 ტონას. (იხ. Чл. Копр. АН СССР Стрелецкий Н.С. и др. „Строительные Конструкций,, М.1972 с.290-291).

მინაშენის ლითონის სვეტები განხორციელებულია ორი ტოლი, ლითონის №16 შველერებისაგან, რომლებიც შეკრულია ჰორიზონტალური ფურცლებით და თაროების შეღულებით (სურ. 4.27).

ფურცლები ერთმანეთის მიმართ სიმაღლეში პირველ სართულზე დაშორებულია იატაკიდან 0.53, 1.54; 1.6, 0.6 მ. სართულებზე ფურცლების რაოდენობა შემოისაზღვრება ორი ან სამი ცალით, რომელიც გადახურვის, იატაკის დონეზე და სართულის სიმაღლის ნახევარზეა მოწყობილი. სვეტების ვიზუალური დათვალიერებით აღმოჩნდა, რომ მიწის ზედაპირიდან პირველი სართულის დონემდე, მდებარე სვეტს გააჩნია გადახრა, რომლის სიდიდე 10 სმ-ია, მეორე სართულზე – 15 სმ, მესამე სართულზე – 17 სმ, მეოთხე სართულზე – 24 სმ. სვეტების ტოტების შემაკავშირებელ ფურცლებზე ზოგ ადგილას არ არსებობს ვერტიკალური ნაკერი. პირველი და მეორე სართულის სვეტის შეერთება განხორციელებულია შემდეგნაირად: პირველი სართულის იატაკის ქვედა დონეზე სვეტზე დადებულია ფირფიტა 20×20 სმ სისქით 0.08 სმ, რომელზედაც შემდეგ დამონტაჟებულია განივი რიგელი, შველერები №16, რომლის თაროს ზომა არის 6.5 სმ. იმავე

თაროზე დადუღებულია 20 სმ-ის სიგრძის ორტესებრი №16. აღნიშნულ კონსტრუქციაზე შემდეგ დადუღებულია ფირფიტა 20×20×0.8 სმ, რომელიც წარმოადგენს მეორე სართულის სვეტის ბაზისს. აღნიშნული კვანძი ძალიან სუსტია, ის შეიძლება ჩაითვალოს სახსრულ შეერთებად, რაც ყოველად დაუშვებელია. სვეტების შემაკავშირებელ ლითონის ფურცლებზე დამონტაჟებულია გრძივი რიგელები, რომლებიც განხორციელებულია [№16 სველერი. სართულშორისი გადახურვები განხორციელებულია მონოლითური  $\delta=1.6$  სმ. სიმაღლის რკინაბეტონის ფილით, რომელიც მოწყობილია ერთმანეთის მიმართ (შენობის განივი მიმართულებით), 3.0 მ-ით განთავსებულ [№16-სგან განხორციელებულ კოჭებზე. შუა სვეტების შემაერთებელი განივი რიგელი კი განხორციელებულია [№16 სველერებზე. მინაშენი არსებულ შენობასთან დაკავშირებული არ არის (სურ. 4.28).



სურ. 4.28

მინაშენის მზიდი კონსტრუქციები და მათი შემაერთებელი კვანძები განხორციელებულია კუთხური შედუღებებით, ასევე სივრცეში მათი განლაგების და შესრულების მხრივ, გამოყენებულია ქვედა, ჰორიზონტალური, ვერტიკალური და ჭერის შედუღებები. შედუღების ნორმატიული წინაღობა  $0,7 R^{\sigma}$ -ის ტოლია, სადაც  $R^{\sigma}$  შესადუღებელი ლითონის ელემენტების ნორმატიული წინაღობაა. საანგარიშო წინაღობის მისაღებად ეს მნიშვნელობა მრავლდება შედუღების ერთგვაროვნების კოეფიციენტზე. ერთგვაროვნების კოეფიციენტი დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე, რომლებიც ზეგავლენას ახდენენ შესადუღებელი ელემენტის სიმტკიცეზე. ეს ფაქტორებია: შედუღების

ხარისხი, შესაბამისობა ელექტროდის და შესადუღებელი ლითონების მარკა და სხვა.

მინაშენის ლითონის მზიდ კონსტრუქციებში და მათ შემაერთებელ კვანძებში ლითონის შედუღების გამოკვლევამ გვაჩვენა, რომ შედუღების შესრულების ხარისხი დაბალია. არ არის დაცული შედუღების სიმაღლის სტანდარტი, რომელიც დამოკიდებულია შესადუღებელი ლითონის სისქეზე. განსაკუთრებით ეს აისახება ჰორიზონტალურ, ვერტიკალურ და ე.წ. „ჭერის“ შედუღებებზე.

## **ლითონის ნაგლინი ელემენტების კოროზიის ხარისხის შესწავლა**

ლითონის ნაგლინი ელემენტების კოროზიის შესწავლა ხდებოდა ნორმატიული დოკუმენტის СП-13-102-2003-ის პ. 8.4.3-ის და პ.8.4.4-ის მოთხოვნების შესაბამისად. დადგენილია: ლითონის კონსტრუქციები არ არის დაფარული ანტიკოროზიული საღებავით და 15 წელზე მეტია განიცდიან კოროზიას; ძირითად ლითონის ელემენტებში კოროზია არ აღემატება განიკვეთის ფართის 8-10%-ს. მინაშენის სახურავის ქვეშ არსებულ ლითონის კონსტრუქციებში და მათი შეერთების კვანძებში კოროზია უფრო ინტენსიურია და აღწევს ელემენტების განიკვეთის 12-15%-ს. ყველა შემთხვევაში მინაშენის მზიდი კარკასის კოროზიული ცვეთა განიკვეთის ფართის 25%-ზე ნაკლებია. ნორმატიული დოკუმენტის СП-13-102-2003-ის პ.8.4.4-ის თანახმად ლითონის ელემენტების საანგარიშო წინაღობებში ცვლილებების შეტანა საჭირო არ არის. შესწორების კოეფიციენტი 1-ის ტოლია. აუცილებელია სივრცითი ლითონის კარკასის კოროზიული ზედაპირების გაწმენდა ქანგისაგან, ზედაპირების ანტიკოროზიული ხსნარით დამუშავება და შეღებვა.

როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ მინაშენის მზიდი ლითონის კონსტრუქციები და მათი შემაერთებელი კვანძები არ არის დაფარული ანტიკოროზიული საღებავით. წლების განმავლობაში ლითონის კონსტრუქციები იმყოფებოდა ატმოსფერული ნალექების აქტიური



ზემოქმედების ქვეშ, ამის გამო ლითონის ელემენტები და შედუღების ნაკერები კოროზირებულია (ნახ. 4.27-4.31, 4.33, 4.34). ცნობილია, რომ ასეთ პირობებში კოროზიის სიჩქარე წელიწადში 0,05-0,1 მმ-ია, რაც თხუთმეტი წლის განმავლობაში შეადგენს 0,75-1,5 მმ. აღსანიშნავია, რომ ლითონის მზიდი კონსტრუქციების და შეერთების კვანძებში კოროზიის პროცესი ასეთი ინტენსივობის არ არის. ძირითად ლითონის ელემენტებში კოროზია არ აღემატება განიგვეთის 8-10%.

შედარებით მასიურად არის დაფარული ჟანგით სასხვენო გადახურვასთან შეთავსებული, სახურავის ქვეშ არსებული ლითონის მზიდი კონსტრუქციები და მათი შეერთების კვანძები. გაზომვებმა გვაჩვენა, რომ ამ ელემენტების კოროზია აღწევს განიგვეთის 12-15%-ს.

უნდა შევნიშნოთ, რომ მინაშენი განიცდის არათანაბარ ჯდომით დეფორმაციებს. ჯდომის მაქსიმალური სიდიდე აღწევს 117 სმ. იატაკი დახრილია, დახრილობა აღწევს  $8 \div 10$  სმ-ს.

### **4.2.3. მინაშენის და ძირითადი შენობის საძირკვლის და ფუძის რეალური ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენა**

საძირკვლების კონსტრუქციისა და ფუძე-გრუნტების შესწავლის მიზნით გაითხარა შურფი და გაშიშვლდა საძიკველი (სურ. 4.29, 4.30). შურფის სიღრმეა მიწის ზედაპირიდან 1.90 მ. შემდეგ სიღრმეში გრუნტული პირობების შესწავლის მიზნით გაყვანილი იქნა ჭაბურღილი 5.50 მ სიღრმემდე, რაც განპირობებულია აქტიური ზონის გავრცელების სიღრმით. აღებული იქნა გრუნტის ნიმუშები მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენის მიზნით.

ჭაბურღელში გრუნტის წყალი დაფიქსირებული იქნა 5.0 მეტრზე მიწის ზედაპირიდან.

ფუძის გრუნტული პირობები შემდეგი: მიწის ზედაპირიდან 1.3 მ სიღრმემდე გრუნტი წარმოადგენს ნაყარს – თიხნარს მასში ჩართული საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით და სამშენებლო ნაგვით.



სურ. 4.29



სურ. 4.30

მის ქვემოთ გავრცელებულია თიხნარი სისქით 0.6 მეტრი, რომლისფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემდეგია  $\rho=1.98$  ტ/მ<sup>3</sup>;  $\rho_s=2.71$  ტ/მ<sup>3</sup>;  $W=37\%$ ;  $I_L=0.56<0.75$  – თიხნარი რბილპლასტიკურ მდგომარეობაშია;  $R_0=1.65$  კგ/სმ<sup>2</sup>;  $C=0.26$  კგ/სმ<sup>2</sup>;  $\varphi=12^\circ$ ;  $E=80$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

შემდეგი ფენა გამოკვლეულ სიღრმემდე 5.5 მ წარმოდგენილია ასევე თიხნარით, რომლის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემდეგია:  $\rho=1.89$  ტ/მ<sup>3</sup>;  $W=42\%$ ;  $I_L=0.82$  – გრუნტი დენადპლასტიკურია;  $S_r=0.92$  – წყლით გაჟღენთილია  $R_0=0.62$  კგ/სმ<sup>2</sup>;  $C=0.16$  კგ/სმ<sup>2</sup>;  $\varphi=9^\circ$ ;  $E=60$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

აღნიშნული მონაცემების საფუძველზე მოდელირებული იქნა საძირკვლის ფუძე-გრუნტი მიშენების კონსტრუქციის კომპიუტერული გაანგარიშებისათვის.

#### 4.2.4. მინაშენის მზიდი კონსტრუქციული სისტემის კომპიუტერული გაანგარიშება სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებზე.

##### მინაშენის კონსტრუქციული და საანგარიშო სქემის აღწერა

ქ. თბილისში, შირაქის ქ. №11-ში მდებარე ხუთსართულიანი მინაშენი გეგმაში მართკუთხა ფორმისაა, გაბარიტული ზომებით (ღერძებში). I სართულის სიმაღლე – 3.5 მ, დანარჩენის კი 2.65 მ-ია. შენობის საძირკველი წერტილოვანი რკინაბეტონის.

მიწისზედა ნაწილის მზიდ კონსტრუქციას წარმოადგენს ლითონის სივრცითი კარკასი, რომელიც შედგენილია ნაგლინი პროფილის სვეტების და კოჭებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან კვანძებში შედუღებით არის შეერთებული. მთელი შენობის სიმაღლეზე სვეტების კვეთები. შველერები ერთმანეთის მიმართ კედლებით არიან ორიენტირებული. სვეტების ელემენტები ერთმანეთთან შედუღებულია. გრძივი და განივი რიგელები კონსტრუირებულია ნაგლინი ელემენტებით.

რადგან მინაშენი სართულთშორისი გადახურვის დონეზე არ არის დაკავშირებული არსებულ შენობის მზიდ კონსტრუქციებთან, ამიტომ მინაშენის სივრცითი ლითონის ჩარჩოს გაანგარიშება მოხდა როგორც ცალკე მდგომი შენობისა.

მინაშენის სივრცითი ლითონის ჩარჩოს გაანგარიშება განხორციელდა გამოთვლითი კომპლექს „ლირა 9.6“-ის საშუალებით. შენობის კარკასის მზიდი ელემენტების (სვეტების და რიგელების) მოდელირება განხორციელდა დეროვანი სასრულო ელემენტებით. სართულთშორისი რკინაბეტონის ფილების და კედლების – მართკუთხა, ოთხ კვანძიანი ფილის ელემენტებით. მზიდი ელემენტების მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და გეომეტრიული ზომები აღებულია მზიდი კონსტრუქციების მასალების ლაბორატორიული კვლევების და ჩატარებული აზომვების შედეგად მიღებული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე.

გაანგარიშებაში განხილულია შემდეგი სახის დატვირთვები:

სტატიკური მუდმივი, სტატიკური დროებითი ხანგრძლივი და ხანმოკლე. რადგან მინაშენი შემოფარგლულია არსებული შენობით, ქარის დატვირთვა ანაგრიშში არ იქნა მიღებული. სეისმური ზემოქმედება განხილულია გრძივი და განივი მიმართულებით გათვალისწინებული საკუთარი რხევის 6 ფორმა.

ანგარიშის შედეგად მიღებული იქნა, ძალების მნიშვნელობა სტატიკურ და სეისმური დატვირთვის ხუთი თანწყობისათვის (სტატიკური დატვირთვები, სტატიკა+სეისმიკა  $X$  ღერძის მიმართულებით, სტატიკა+სეისმიკა  $Y$  ღერძის მიმართულებით, სტატიკა-სეისმიკა  $X$  ღერძის მიმართულებით, სტატიკა – სეისმიკა  $Y$  ღერძის

მიმართულებით).  $X$  ღერძის მიმართულება ორიენტირებულია მინაშენის გრძივად, ხოლო  $y$  ღერძის მიმართულება – განივად.

კომპიუტერული ანგარიშის გრაფიკული ნაწილი მოცემულია დანართში.

## **მიშენების არსებული ლითონის სივრცითი ჩარჩოს, როგორც ცალკე მდგომი კონსტრუქციის გაანგარიშების შედეგები**

მინაშენის ლითონის ჩარჩო განხილული იქნა დღეს არსებული მდგომარეობის მიხედვით. ჩარჩოს ელემენტების გეომეტრიული ზომები და მასალების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები მიღებული იქნა ჩატარებული აზომვების და მასალების კვლევის საფუძველზე. კომპიუტერულ ანგარიშში გათვალისწინებულ იქნა ფუძე-გრუნტის გავლენა კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე. გაანგარიშებით მიღებული იქნა შემდეგი პარამეტრები:

1. მინაშენის მაქსიმალური ვერტიკალური გადაადგილებები ძირითადი თანაწყოების დატვირთვებისაგან – 17 სმ.

2. მინაშენის საკუთარი რხევების ფორმების შესაბამისად

I ფორმა –  $T_1=2.41$ ; II ფორმა –  $T_2=1.82$ ; III ფორმა –  $T_3=1.46$ ;

IV ფორმა –  $T_4=1.34$ ; V ფორმა –  $T_5=1.09$ ; VI ფორმა –  $T_6=1.02$ ;

3. მინაშენის მაქსიმალური გადაადგილება გრძივი მიმართულებით განსაკუთრებული თანაწყოების დატვირთვების გრძივი მიმართულებით მოქმედებისას

$$\Delta y = 22.5 \text{ სმ}$$

4. მაქსიმალური გადაადგილება განივი მიმართულებით განსაკუთრებული თანაწყოების დატვირთვების განივი მიმართულებით მოქმედებისას

$$\Delta x = 41.7 \text{ სმ}$$

გაანგარიშებით მიღებული მინაშენის კონსტრუქციის მაქსიმალური გადაადგილებები მიუთითებს იმაზე, რომ კონსტრუქცია ძალიან მოქნილია. სეისმური ზემოქმედების დროს ასეთი

გადაადგილებებისას მოსალოდნელია ნაგებობის მდგრადობის დაკარგავა.

შედგად, არსებული სახით მინაშენის ექსპლუატაცია დაუშვებელია და საჭიროებს დემონტაჟს ან სათანადო გაძლიერებას.

ჩვენი აზრით მინაშენის გაძლიერება არა რენტაბელურია, რადგან მისი გაძლიერება ძალიან ძვირი დაჯდება, ვიდრე დემონტაჟი და იგივე კონსტრუქციების გამოყენებით ახალი მიშენების აგება შესაბამისი პროექტის მიხედვით.

#### **4.2.5. კვლევისა და გაანგარიშების შედეგების ანალიზი, დასკვნა-რეკომენდაციები**

საცხოვრებელი სახლის მინაშენების ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევის შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მის ლითონის მზიდ კონსტრუქციებში განვითარებული დეფექტები, გამოწვეულია არასრულყოფილი პროექტირებით, სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების არაკვალიფიციურად განხორციელების და ნაგებობის არასწორი ექსპლუატაციის შედეგად.

გამოკვლევის შედეგად დადგინდა შემდეგი დეფექტები და დაზიანებები:

1. დღეისათვის სხვადასხვა სართულებზე არ არის დამთავრებული კედლების მოწყობა.

2. მინაშენის ლითონის მზიდ კონსტრუქციებში და მათ შემაერთებელ კვანძებში ლითონის შეღულების გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ შეღულების შესრულების ხარისხი დაბალია. არ არის დაცული შეღულების სიმაღლის სტანდარტი, რომელიც დამოკიდებულია შესაღულებელი ლითონის სისქეზე. განსაკუთრებით ეს აისახება ჰორიზონტალურ, ვერტიკალურ და ე.წ. „ჭერის“ შეღულებებზე.

3. მინაშენის როგორც ცალკე მდგომი სივრცითი სისტემის, ანგარიშმა (სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებზე) გვიჩვენა, რომ სასხვენო გადახურვის დონეზე მაქსიმალური გადაადგილება  $\delta=41.7$  სმ-ის ტოლია, ხოლო თავისუფალი საკუთარი რხევის პირველი პერიოდი

$T_1=2.41$  წმ-ის ტოლია. ეს სიდიდეები მეტია (ამ ტიპის შენობებისათვის) დასაშვებზე. ანგარიშის საფუძველზე დადგინდა, რომ ასეთი გადაადგილებების დროს სივრცითი ჩარჩოს სვეტები კარგავს მდგრადობას.

4. მინაშენის სივრცითი ლითონის ჩარჩოს სტატიკური და დინამიკური დატვირთვების შედეგად მიღებული მონაცემების (ძაღვების) საფუძველზე გაანგარიშებული იქნა შედუღების სიგრძეები, აღმოჩნდა, რომ შედუღების ნაკერების სიგრძეების თეორიული მნიშვნელობები ტოლია ან ნაკლებია კვანძებში არსებულ შედუღების სიგრძეებზე. გამოკვლევით დადგინდა, რომ „ჭერის“ და ვერტიკალური შედუღებები არ არის განხორციელებული სათანადო დონეზე, იგი უხარისხოა. მინაშენი წლების განმავლობაში იმყოფებოდა ატმოსფერული ნალექების აქტიური ზემოქმედების ქვეშ, ამიტომ შედუღებები და ლითონის ელემენტების ზედაპირები დაფარულია ქანვის ფენით. ზოგ შემთხვევაში ნაკერის სიმაღლე არ შეესაბამება ნორმარტიულ მნიშვნელობებს.

5. მინაშენის ვერტიკალიდან გადახრის სიდიდე ორივე მიმართულებით აღწევს 20 სმ-ს, რაც გაცილებით დიდია დასაშვებზე  $\frac{H}{500} = \frac{13.25}{500} = 2.65$  სმ.

6. მიშენება ამჟამად განიცდის ჯდომას. ჯდომის სიდიდე აღწევს 20 სმ-ს და ჯდომის პროცესი ატარებს პროგრესირებად ხასიათს. საპირკვლისა და ფუძე-გრუნტის გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ სვეტების ქვეშ საძირკვლებს აქვს უჩვეულო ფორმა და იგი ჩაღრმავებულია იმ ფენაში, რომელსაც აქვს ყველაზე დაბალი მექანიკური მახასიათებლები.

7. იატაკი დახრილია, რომლის სიდიდე აღწევს  $8 \div 10$  სმ-ს.

8. მინაშენის სართულშუა გადახურვის ფილები განიცდიან ვიბრაციას, რაც თანდათანობით მატულობს სართულის სიმაღლის ცვლილებასთან ერთად.

9. მინაშენის არსებულ მდგომარეობაში დატოვება ყოვლად დაუშვებელია.

10. მინაშენის აღდგენა-გაძლიერებისათვის და შენარჩუნებისათვის გამოიკვეთა ორი ვარიანტი.

- ა) მინაშენს უნდა მოეხსნას I სართულის ზემოთ ოთხი სართული, გაძლიერდეს საძირკვლები, I სართულის სვეტები, გახისტდეს ჩარჩოები გრიფი და განივი მიმართულებით, შემდეგ მოხდეს ზედა სართულების ხელახლა დაშენება;
- ბ) განხორციელდეს მინაშენის დემონტაჟი. არსებული ლითონის კონსტრუქციების გამოყენებით შესაძლებელია ახალი მიშენების აგება შესაბამისი პროექტის მიხედვით.

## დასკვნა

ჩატარებული გამოკვლების შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ მინაშენის ტექნიკური მდგომარეობა არ შეესაბამება: სეისმომდებლობის და მდგრადობის ნორმატიული დოკუმენტების – СНиП II-23-81\* (ლითონის კონსტრუქციები); СНиП II-7-81\* (მშენებლობა სეისმურ რაიონებში) და საქართველოს სახმშენის მიერ №82-5\* 1991 წელს დამტკიცებული „შენობების რეკონსტრუქციის (მიშენება-დაშენება) პროექტირების დროებითი რეკომენდაციების“ მოთხოვნებს. იგი მწვავე ავრიულ მდგომარეობაშია, მინაშენის ექსპლუატაცია დაუშვებელია, საჭიროებს დაუყოვნებლივ დემონტაჟს, მთალიანად ან პირველი სართულის გადახურვის დონეზე. შესაძლებელია არსებული ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება, საძირკვლების ახლიდან მოწყობა და შესაბამისი პროექტის მიხედვით ახალი მიშენების აგება (ძირითადი შენობის როგორც საძირკვლები, ასევე მზიდი კონსტრუქციები დამაკმაყოფილებელ მდგომარეობაშია).

## დასკვნა

1. ჩატარებული სამუშაოების ანალიზმა გამოავლინა, რომ ფუძე გრუნტების არათანაბარი დეფორმაციების ნაგებობების მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკურ მდგომარეობაზე გავლენის გათვალისწინების, შენობა-ნაგებობების დეგრადაციის და ავარიის პროგნოზირების არსებული მეთოდოლოგია არასაკმარისადაა დამუშავებული და არ არსებობს სამშენებლო ობიექტების მონიტორინგის სფეროში ნორმატიული ბაზა, რომელიც უზრუნველყოფს ავარიული სიტუაციების გაჩენის აღკვეთას;
2. დამუშავებულია დაზიანებათა გათვალისწინებით შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის და ნარჩენი რესურსის მონიტორინგის მეთოდოლოგია ნარჩენი რესურსის შეფასების ზოგადი სქემის და მონიტორინგის და აღდგენის რეკომენდაციების ორგანიზაციული სქემის დამუშავება;
3. დაზიანებების დაგროვების და ბზარების გაბვითარების პირობებში რესურსის გახანგრძლივების შესაძლებლობა დასაბუთებული იქნა იმით, რომ შექმნილია წინაპირობების ტექნიკური დიაგნოსტიკის საშუალებებით და ბზარების მექანიკის თეორიული საფუძვლებით რეგლამენტირებული დეფექტოსკოპიური კონტროლი, რომლებიც საშუალებას იძლევიან საკმარისად ზუსტად განისაზღვროს ბზარის მაგვარი დეფექტების ზეგავლენით კონსტრუქციაში ავარიის დაწყების წინაპირობები;
4. ნაგებობის ფუძე-საძირკვლების დეფორმაციული პროცესების ძირითად განსაკუთრებულობებს წარმოადგენს მათი უთანაბრობა, რომელიც თავის მხრივ იწვევს მთელი ნაგებობის სივრცით დეფორმაციებს, რაც აუცილებელია გათვალისწინებული იქნას მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკურ მდგომარეობაზე მათი გავლენის ობიექტური სურათის მიღებისათვის;
5. შემუშავებულია ნაგებობების მზიდი კონსტრუქციების ტექნიკურ მდგომარეობაზე საძირკვლის არათანაბარი დეფორმაციის გავლენის შეფასების ეფექტური მეთოდოლოგია, რომელიც შეიცავს კონსტრუქციების



ტექნიკური მდგომარეობის საინჟინრო გამოკვლევის პროცედურებს, ნაგებობის სახასიათო წერტილების მასივის სივრცითი გადაადგილების მონიტორინგს, სივრცითი გეოდეზიური აზომების გამოყენებით, აგრეთვე კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ცვლილების სასრულ ელემენტთა მეთოდით ანალიზს (სემ-ანალიზს) მონიტორინგის პროცესში დარეგისტრირებული გადაადგილებების ბაზაზე;

6. მონიტორინგის პროცესში შემუშავებული ნაგებობის მზიდი კონსტრუქციების დამ შეფასების მეთოდიკა საშუალებას იძლევა დადგენილი იქნას მიმდინარე სარემონტო ღონისძიებების აუცილებლობა კონსტრუქციის ნორმატიული ტექნიკური მდგომარეობის შენარჩუნების ან აღდგენისათვის იმ მომენტამდე, როდესაც ავარიული მტყუნების ალბათობა გადააჭარბებს მათი საიმედოობის მაჩვენებელს, რაც გამოიწვევს მოცემული სამუშაოების ღირებულების და შრომისხარჯის საერთო შემცირებას.

დისერტაციის სამუშაოების შედეგები დანერგილია პრაქტიკულ საინჟინრო სამუშაოებში ქ. თბილისში შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის მსვლელობისას.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. კ. ბაბილოძე, პ. ქონიაშვილი, ა. წაქაძე, ი. დარიბაშვილი მეთოდური მიდგომები შენობა-ნაგებობების ავარიების ანალიზის და რისკის მართვისათვის, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №2, თბილისი, 2006, გვ. 82-87;
2. თ. მაღრაძე, რ. იმედაძე, მ. წიქარიშვილი, ა. წაქაძე, ლ. დარბაიძე ნაგებობის კედლებში და მათ მოპირკეთებაში წარმოშობილი ბზარების მიზეზების თავიდან აცილების გზები, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №2(13), თბილისი, 2009, გვ. 20-24;
3. რ. იმედაძე, თ. დარიბაშვილი, ა. წაქაძე თბოსაიზოლაციო საშუალებები, მასალები და მათი გამოყენების მეთოდები, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №1(20), თბილისი, 2011, გვ. 35-40;
4. ა. წაქაძე შენობა-ნაგებობების ზღვრული მდგომარეობის შესწავლა დაზიანებების გათვალისწინებით, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №2(21), თბილისი, 2011, გვ. 80-88;
5. ა. წაქაძე ბზარებით დაზიანებული კონსტრუქციების დეტერმინირებული ანალიზი, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №4(15), თბილისი, 2009, გვ. 47-52;
6. ა. წაქაძე, ა. კაცაძე, კ. ბაბილოძე, მ. წიქარიშვილი შენობა-ნაგებობების დეფორმაციების მონიტორინგის სისტემების დამუშავება, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №2(21), თბილისი, 2011, გვ. 73-79;
7. მ. წიქარიშვილი, ა. წაქაძე, ა. ჭიპაშვილი, პ. ქონიაშვილი ექსტრემალურ პირობებში შენობა-ნაგებობების მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და ავარიის პროგნოზირება, სტუ-ს შრომები, №2(460), თბილისი, 2006, გვ. 19-23;
8. მ. წიქარიშვილი, ა. წაქაძე, თ. მაღრაძე, გ. ერაგია დაზიანებული (ბზარებიანი) შენობა-ნაგებობების უსაფრთხოება, ბზარმდეგობის და მარაგის დადგენა, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი

- „მშენებლობა“ №2(17), საერთაშორისო-სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენციის „სამშენებლო მექანიკის პრობლემები“ შრომების კრებული, თბილისი, 2010, გვ. 160-166;
9. მ. წიქარიშვილი, გ. ლალუნდარიძე, ა. წაქაძე, პ. ქონიაშვილი, თ. ქონიაშვილი ექსტრემალურ პირობებში ავარიების პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის სისტემების დამუშავება, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“ №1(37), 2006, გვ. 53-56;
  10. მ. წიქარიშვილი, კ. ბაბილოძე, პ. ქონიაშვილი, ა. წაქაძე პოტენციურად საშიში ობიექტების მოსალოდნელი ავარიების განვითარების შეფასება და რისკის დონის შერჩევა, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“ №4(40), 2006, გვ. 98-101;
  11. მ. წიქარიშვილი, მ. მანჯავიძე, მ. ვარდიაშვილი, ა. წაქაძე, თ. მაღრაძე ბაგირის ტესტირება და მონიტორინგი ბოჭკოვან-ოპტიკური სენსორებით, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №3(14), თბილისი, 2009, გვ. 16-20;
  12. Gordon S.J. Metric Performance of a High-Resolution Laser Scanner [text] / S.J. Gordon, D.D. Lichti, M.P. Stewart, M. Tsakiri // Proceedings of SPIE Electronic Imaging 2001 Conference. San Jose, California, USA, 2001. – P.11.
  13. Korguine A. Calcul des stracrures sur micro-ordinateur en basic [text] / A. Korguine. – Tunis, 1988. 72p;
  14. Kraus K. Photogrammetry – Advanced Methods and Applications [Electronic resource] / K. Kraus, J. Jansa, H. Kager. - Dummler / Bonn 1997. – Volume 2, 4th edition;
  15. Stathas D. New monitoring techniques on the determination of structure deformations [Electronic resource] / D. Stathas, O. Arabatzi, S. Dogouris, G. Piniotis, D. Tsini, D. Tsinis // Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements. – Santorini, Greece, 2003;
  16. Streilein A. Towards Automation in Atchitectural Photogrammetry: CAD-based 3D Feature Extraction [text] / A. Streilein // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1994. №49(5) – P.4-15;
  17. T. Nareklshvili, M. Tsikarishvili, L. Zambakhidze, T. Magradze, A. Tsakadze, D. Kupatadze Experimental Research of fiber-Optical System of

- Concrete Constructions Monitoring,” Problems of mechanics” international scientific journal №1(34), 2009, p. 84-89;
18. Агапов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций [Текст] / В.П. Агапов. - М; АСВ, 2004. - 248 с;
  19. Айме К.А. Мониторинг зданий и котлованов, ч.2 [Текст] / К.А. Айме // Строительные материалы, оборудование, технологии века. - М; 2005. - №11. – С.37-39;
  20. Аникушкин М.Н. Наземные системы лазерного сканирования. Опыт работ [Электронный ресурс] / М.Н. Аникушкин // Геопрофи. – М; 2005. – №1. Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru/geoprofi>;
  21. Ассане А.А. Геодезические методы анализа высотных и плановых деформаций инженерных сооружений и земной поверхности [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.32 / Ассане Антонио Алфредо. М; 2007. - 127с.: ил. – Библиогр.: с.95-102;
  22. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов [Текст] / К. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 446с;
  23. Безопасность России, Функционирование и развитие сложных народнохозяйственных, технических, энергетических, транспортных систем, систем связи и коммуникаций. – Т.1. – 444 с. Т.2. – 410 с;
  24. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М,: Машиностроение, 1990. – 448 с;
  25. Большаков В.Д. Теория математической обработки геодезических измерений [Текст]: учебник / В.Д. Большаков, П.А. Гайдаев. – М.: Недра, 1977. 367с;
  26. Варвак П.М. Метод конечных элементов [Текст] / П.М. Варвак, А.С. Городецкий и др. – Киев: Высша школа, 1982. – 176с;
  27. Геофизические системы контроля информации [Электронный ресурс]: сайт компании ООО "Геофизические системы контроля информации" – "ГРІКО" – Режим доступа: <http://www.gpiko.ru/ru/Main/ContentPage/Monitoring>;
  28. Гетман А.Ф. Концепция безопасности "течь перед разрушением" для сосудов и трубопроводов давления АЭС. – М,: Энегатоиздат, 1999. – 258 с;

29. Гетман А.Ф. Ресурс эксплуатации сосудов и трубопроводов давления АЭС. – М.: Энегоатомиздат, 2000. – 427 с;
30. Городецкий А.С. Компьютерное моделирование [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров; Рецензия. А.О. Рассказова. – К.: Факт, 2005. – 340 с;
31. Горпинченко В.М. Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений [Электронный ресурс] / В.М. Горпинченко, М.И. Егоров // Промышленное и гражданское строительство. – М.; 2004. – №10. Режим доступа: <http://pgs.newmail.ru>;
32. Гост 24846-81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений [Текст]. - Введ. 1982-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. – 26с;
33. Гост 27751-88. Надежность стротельных конструкций и оснований. Основные положения по расчету [Текст]. – Введ. 1988-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2001;
34. Гурьев В.В. Мониторинг технического состояния зданий и сооружений [Электронный ресурс] / В.В. Гурьев, В.М. Дорофеев // Стройпрофил – М., 2005. – №4. Режим доступа: <http://www.stroinauka.ru/detailview>;
35. Гурьев В.В. Обеспечение безопасности работы несущих конструкций высотных зданий [Электронный ресурс] / В.В. Гурьев, В.М. Дорофеев // Промышленное и гражданское строительство – М., 2004. – №12. Режим доступа: <http://pgs.newmail.ru>;
36. Дашевский Е.М. Итерационный метод подконструкций для решения больших задач механики деформированного твердого тела [Текст] / Е.М. Дашевский // Проблемы прочности. – 1997. №2. С. 12-15;
37. Донец А.М. Геодезический мониторинг высотных зданий и сооружений с помощью высокоточных спутниковых методов [Электронный ресурс] / А.М. Донец // Геопрофи. – М; 2005. – №5. – С. 17-19. Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru/geoprofi>;
38. Дорофеев В.М. Опыт проектирования автоматизированных систем мониторинга технического состояния зданий и сооружений с большепролетными конструкциями [Электронный ресурс] / В.М. Дорофеев В.В. Гурьев, Д.А. Лысов // Строительная наукаю – М., 2008. Режим доступа: <http://www.stroinauka.ru>;

39. Егоров М.И. Мониторинг технического состояния конструкций социфльно значимых большепролетных сооружений Москвы [Электронный ресурс] / М.И. Егоров // Промышленное и гражданское строительство – М., 2006. – №6. Режим доступа: <http://pgs.newmail.ru>;
40. Егоров Ф.А. Волоконно-оптическая система мониторинга в Москве: опыт, результаты и перспективы [Электронный ресурс] / Ф.А. Егоров, В.В. Жданов, А.П. Неугодников, В.И. Пospelов, А.М. Шахраманьян, Е.В. Чурдалев, А.И. Уваров // Технология строительство – М., 2007. – №6. Режим доступа: <http://www.mocent.ru/articles>;
41. Р.И. Имедадзе, Ал. В. Цакадзе Упрощенный способ статического расчета комбинированных ферм, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №1, თბილისი, 2006, გვ. 22-27;
42. Испитание сооружений [Текст]: спавочное пособие; Под ред. Золотухина Ю.Д. – Минск: Высша школа, 1992. – 272с;
43. Калинин А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений [Текст] / А.А. Калинин. Москва; АСВ, 2004. – 160с;
44. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство [Текст] / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева // Москва; УРСС, 2003;
45. Каталог геодезической продукции [Электронный ресурс]: сайт компании ЗАО "Геостройизискания" – Режим доступа: <http://www.gsi2000.ru>;
46. Кацарский И.С. О цифровой фотограмметрии и перспективах ее применения [Текст] / И.С. Кацарский // Геопрофи. – М., 2006. – №12;
47. Кашеварова Г.Г. Математические модели деформирования и разрушения системы "здание – фундамент – основание" [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18, 01.02.06 / Кашеварева Галина Геннадьевна. Пермь; 2005. – 282с.: ил. – Библиогр.: с.256-278;
48. Ключин Е.Б. Инженерная геодезия [Текст]: учебник / Е.Б. Ключин, М.И. Киселев, Д.Ш. Фельдман; Под редю Д.Ш. Михелева. – М.: Высша школа, 2002. – 464с.: ил;
49. Коргин А.В. Мониторинг измерения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций зданий и сооружений на основе МКЭ-анализа пространственно-координатных моделей [Текст] / А.В. Коргин,

- И.И. Ранов, М.А. Коргина, Д.А. Поляков // Вест. Моск. гос. строит. ун-та. – 2007. – №4. – С. 83-87;
50. Коргин А.В. МКЭ-анализ напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений по результатам геодезического мониторинга пространственного положения объектов [Текст] / А.В. Коргин, М.А. Коргина, И.И. Ранов, Д.А. Поляков, Г.М. Тихомиров // Сборник материалов международной научно-технической конференции "Интерстроймех 2006" М. – 2006. – С. 36-37;
51. Коргина М.А. МКЭ-анализ напряженно-деформированного состояния строительных конструкций на основе пространственно-координатных моделей сооружений, полученных в ходе геодезического мониторинга [Текст] / М.А. Коргина, А.В. Коргин // Научные труды международной научно-практической конференция молодых ученых, аспирантов и докторантов "Строительство – формирование среды жизнедеятельности" / Моск. гос. строит. ун-та. – 2007. – С. 126-130;
52. Костенко Н.А. Прогнозирование надежности транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с;
53. Ламперти Р. Мониторинг строительного объекта в деталях [Текст] / Р. Ламперти, В.В. Сухин // Строительные материалы, оборудование, технологии века IXX. – М., 2005. – №10;
54. Леонтьев Н.Н. Основы строительной механики стержневых систем [Текст] / Н.Н. Леонтьев. М.: АСВ, 1996. – 541с;
55. Лужин О.В. Современные методы диагностики и мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений – памятников архитектуры [Электронный ресурс] / О.В. Лужин, Ю.С. Кунин // Промышленное и гражданское строительство – М., 2001. – №9. Режим доступа: <http://pgs.newmail.ru>;
56. Матвиенко Ю.Г. Детерминированный анализ безопасности живучести и остаточного ресурса по критериям механики трещин // Заводская лаборатория. – 1997. – №6. – С. 52-58;

57. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии трещиностойкости в проблемах безопасности и живучести // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2001. – №5. – С. 117-126;
58. Махутов Н.А., Котоусов А.Г., Матвиенко Ю.Г. Механика катастроф // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1992. – №7. – С. 29-44;
59. Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г. Подходы механики разрушения в концепции инженерной безопасности // Физико-химическая механика материалов. – 1996. – №2. – С. 35-42;
60. Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г. Теория Гриффитса и развитие критериев механики разрушения // Физико-химическая механика материалов. – 1993. – №3. – С. 140-145;
61. Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г. Этапы развития методов механических испытаний // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2002. – Т. 68 №1. – С. 80-83;
62. Неугодииков А.П. Мониторинг технического состояния строительных сооружений на базе волоконно-оптических датчиков [Электронный ресурс] / Ф.А. Егоров, В.И. Поспелов, А.П. Неугодииков, И.В. Рубцов, В.А. Быковский // М., 2006. Режим доступа: <http://www.mocent.ru/articles>;
63. Николаев С.В. Опыт проектирования и эксплуатации схем мониторинга конструкций и оснований высотных зданий [Электронный ресурс] / С.В. Николаев, В.М. Дорофеев, Л.Б. Гендельман, А.Б. Вознюк, Капустян, В.В. Сухин и др. // Строительная наука – М., 2005. Режим доступа: <http://www.stroinauka.ru>;
64. С.Н. Блядзе, В.Н. Балавадзе, Г.А. Гогуадзе, А.т. Кацадзе, М. В. Цакадзе, Вопросы обработки новых неавтоматических моделей для оценки работоспособности геометрически сложных систем, международный научный журнал "Проблемы механики" №1(18), Тбилиси, 2005, ст. 49-52;
65. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительство. Основные положения [Текст]. – Введ. 1996-11-01 / Министрой России – М.: ПНИ-ИС, 1997;



66. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия [Текст]. – Введ. 1987-01-01. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 44с;
67. СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 1985-01-01. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 48с;
68. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и Железобетонные конструкций [Текст]. – Введ. 1986-01-01 / Министрой России – М.: ФГУП ЦПП, 1995;
69. СНиП II-22-81\*. Каменные и армокаменные конструкций [Текст]. – Введ. 1983-01-01. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004;
70. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкций [Текст]. – Введ. 1982-01-01 / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 90с;
71. СНиП II-25-80\*. Деревянные конструкций [Текст]. – Введ. 1982-01-01 / Министрой России – М.: ГУП ЦПП, 1995;
72. Современные технологии геодезического обеспечения строительства, монтажа и геотехнического мониторинга зданий и сооружений [Текст]: сб. тр. / Моск. гос. строит. ун-т. – М.: МГСУ, 2006. 142с;
73. СП 13-102-2003. правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 2003-08-21 – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003;
74. Статические закономерности малоциклового разрушения / Н.А. Махутов, В.В. Зацаринный, Ж.Л. Базарас и др. – М.: Наука, 1989. – 252 с;
75. Сухин В.В. Многоликий мониторинг [Электронный ресурс] / В.В. Сухин // Строительная орбита. – М., 2005. – №7. Режим доступа: <http://www.stroyorbита.ru/arhiv/iyule2005/monitoring/htm>;
76. Цикаришвили М.А, Цакадзе А.В, Кониашвили П.О, Балавадзе Л.Н. Обеспечение безопасности зданий-сооружений методами строительного и неразрушающего контроля, международный научный журнал "Проблемы Механики" №2(23), 2006, ст. 101-105;
77. Сухин В.В. Система мониторинга зданий и сооружений [Электронный ресурс] / В.В. Сухин // Технологии безопасности и инженерные системы. – М., 2005. – №2. Режим доступа: [http://www.tb-is.ru/2\\_2005](http://www.tb-is.ru/2_2005).