

ბორის ჭიღვარია

ავტოსაბზავო ხიდების პროექტირების ნორმებისადმი სისტემური მიდგომის მეთოდოლოგია და ნატურული გამოკვლევის ზოგიერთი საკითხები

**წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად**

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
აპრილი, 2012**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ბორის ჭიღვარიას მიერ შესრულებულ სამაგისტრო ნაშრომს დასახელებით: ავტოსაგზაო ხიდების პროექტირების ნორმებისადმი სისტემური მიდგომის მეთოდოლოგია და ნატურული გამოკვლევის ზოგიერთი საკითხი და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის საგამოცდო კომისიაში მის განხილვას მაგისტრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

აპრილი 2012 წელი

ხელმძღვანელი:

თამაზ ჭურაძე

რეცენზენტი:

1. ასლან ჯანჯღავა
აკადემიური დოქტორი
2. თამაზ ცვარიანი
აკადემიური დოქტორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012 წელი

ავტორი: ბორის ჭიღვარია

დასახელება: ავტოსაგზაო ხიდების პროექტირების ნორმებისადმი სისტემური მიდგომის მეთოდოლოგია და ნატურული გამოკვლევის ზოგიერთი საკითხი

ფაკულტეტი: სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობა

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების ნაშრომის 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 სპეციფიკურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

საავტომობილო ტრანსპორტის თანამედროვე მდგომარეობა ხასიათდება ავტოსატრანსპორტო საშუალებების სწრაფი განვითარებით, გადაზიდვის მოცულობის განუხრელი ზრდით, სულ უფრო მძიმე ავტომობილებისა და ავტომატარებლების მოძრაობით ქვეყნის შიგნითა და საერთაშორისო საავტომობილო გზებზე. ასეთი მდგომარეობა დამახასიათებელია როგორც საქართველოსთვის, ისე დანარჩენი მსოფლიოსათვის.

საქართველოს მიერ დამოუკიდებლობის მოპოვების შემდეგ ქვეყანა გადაიქცა ევროპა-აზიის დამაკავშირებელი სატრანსპორტო დერეფნის მნიშვნელოვან რგოლად. შეიძინა რა სატრანზიტო ფუნქცია. ამ გარემოებამ კიდევ უფრო გაამძაფრა ზოგადად მსოფლიო საავტომობილო ტრანსპორტის განვითარებისათვის დამახასიათებელი პრობლემები.

ამასთან ერთად, საქართველოს ხიდების პარკის მდგომარეობის გათვალისწინებით, აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ საქართველოს საავტომობილო გზებზე განლაგებული და ამჟამად ექსპლუატაციაში მყოფი ხიდები და სხვა ხიდური ნაგებობები დაპროექტებული ან რეკონსტრუირებულია ყოფილი საბჭოთა კავშირის ნორმების СН 200-62 და СНиП 2.05.03-84 მიხედვით და გათვლილია ამ ნორმებით გათვალისწინებულ სატრანსპორტო დატვირთვაზე, მაშინ როდესაც, როგორც მსოფლიო პრაქტიკა მოწმობს, თითქმის ყოველ 20-25 წელიწადში ხდება ნორმების გადახედვა სატრანსპორტო საშუალებების ტვირთამწეობის გაზრდის კუთხით.

იმის გათვალისწინებით, რომ ხიდები წარმოადგენს ძვირადღირებულ ნაგებობებს, მნიშვნელოვანია მათი საექსპლუატაციო ვადის შეძლებისდაგვარად გახანგრძლივება. სადღეისოდ ეს ვადა რკინაბეტონის ხიდებისათვის, რომლებიც საავტომობილო გზებზე ხიდების უდიდეს ნაწილს შეადგენს, ფაქტობრივად შემოიფარგლება 30-40 წლით, ანუ სადღეისოდ საქართველოს გზებზე ექსპლუატაციაში მყოფი ხიდების 90%-ზე მეტი თავისი ექსპლუატაციის ფაქტობრივი ვადის ამოწურვის დონეზეა მისული, რასაც ადასტურებს საქართველოში ბოლო ათწლეულის განმავლობაში ჩატარებული ხიდების გამოკვლევა-გამოცდის შედეგები.

ხიდების ხანმედგობის საკითხისათვის ერთ-ერთი გადამწყვეტი ფაქტორია ნაგებობების მზიდი კონსტრუქციების დაპროექტება რეალურ დატვირთვაზე, მათ შორის დროებით მოძრავ დატვირთვაზე, რომლებიც მოძრაობენ შესაბამის სატრანსპორტო მაგისტრალზე, ამასთან, გათვალისწინებული უნდა იყოს ამ დატვირთვის პერსპექტიული ზრდა.

ყოველივე აღნიშნულიდან გამომდინარეობს საქართველოში ამჟამად გავრცელებული სამშენებლო ნორმების მიხედვით განსაზღვრული დროებითი მოძრავი დატვირთვის გადახედვის

საჭიროება და შესაბამისი პარამეტრების მართებული განსაზღვრის აუცილებლობა საავტომობილო ტრანსპორტის განვითარების პერსპექტივების გათვალისწინებით.

ნაშრომში განხილულია საკითხები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ მიღებული გადაწყვეტილებების საიმედოობის დონე, მათი რეალიზაციის ალბათობა, გავაკეთოთ გაანგარიშებული პროგნოზი ხიდური რკინაბეტონის კონსტრუქციების მუშაობის ხანგრძლივობაზე მათი ფიზიკური მდგომარეობის გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომში:

- დასაბუთებულია ხიდური ნაგებობების ნორმების სრულყოფის სტრატეგია საზღვარგარეთის ქვეყნების გამოცდილების გათვალისწინებით;

- შესრულებულია რკინაბეტონის ხიდური კონსტრუქციების დამახასიათებელი დეფექტებისა და დაზიანებების ანალიზი, რაც შეიძლება გამოვიყენოთ, როგორც კონკრეტული ხიდების ნატურული კვლევისა და შემდგომი ექსპლუატაციის პროცესში ამ დაზიანებების იდენტიფიკაციისა და შეფასებისათვის, ისე ხიდური ნაგებობების ნორმირებისა და პროექტირებისათვის.

ჩატარებული კვლევის მეთოდოლოგია დაფუძნებულია მათემატიკური მოდელირებისა და ნატურული დაკვირვებების მონაცემთა რაციონალურ შეთავსებაზე.

SUMMARY

The current state of motor transport is characterized by rapid development of vehicles, consistent growth of cargo transportation volume, traffic of more heavy trucks and trailers in domestic and international motor transport roads. Such state is typical for Georgia as well as for the rest of world.

After attainment of independence building Georgia, the country has turned into the basic link in connecting Europe - Asia transport corridor due achieving the transit function. This circumstance was further exacerbated the generally characterizing for worldwide motor transport development problems.

At the same time by taking into account the state of bridges in Georgia, would be mentioned the circumstance that located on the Georgia motor roads and currently being in operation bridges and other structures are designed or reconstructed in accordance with former Soviet Union norms SN 200-62 and SNiP 2.05.03-84 and are calculated on stipulated by these norms transport loading, whereas as is testified by the worldwide practice, almost every 20-25 years would be revised the rules to satisfy the increasing capacities of transportation vehicles facilities.

Due the taking into account that bridges represents the expensive structures, it is important to prolong the period of their operation. At present, this term for reinforced concrete bridges, that makes up the most part of bridge on motor roads, in fact, is limited as 30-40 years, i.e., more than 90% of currently being in operation on Georgia motor roads bridges achieved the edge of operation term's termination that is confirmed building results of carried out in Georgia in the last decades bridges investigations and tests.

For durability of bridges as one of the crucial factor represents the designing of loading bearing structure of bridge on actual load, including the temporary moving load that are moving on accordingly motor roads, however, should be taken into account the long-term growth of this loading.

Preceding from the all above mentioned follows the necessity of revising determining accordingly of recently acting in Georgia construction standards the temporary moving load and the necessity of selection of the relevant parameters with taking into account the proper development of road transport perspectives.

In the work are considered the issues that gives the possibility to evaluate the level of reliability of decisions making, the probability of their realization, made the calculated forecasting of reinforced concrete bridge structures service life by taking into account their physical condition.

In the dissertation work:

- Is grounded the strategy of bridge structures standards perfection with taking into account the experience of foreign countries;
- Is carried out the analysis of reinforced concrete bridge structures characterized defects and damages that would be applied in specific bridges full-scale investigation and its further operation for evaluation and identification of these damages as well as in the process of bridge structures standardization and design.

The methodology of carried out research is based on rational matching of mathematical modeling and full-scale observations data.

შინაარსი

შესავალი	11
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	16
1.1. სამამულო და საზღვარგარეთის ხიდმშენებლობის თანამედროვე მდგომარეობა	16
1.2. რკინაბეტონის ხიდების დაპროექტების ნორმატიული ბაზის ანალიზი	19
1.2.1. ძირითადი დებულებები	19
1.2.2. სააგარიშო დატვირთვები	24
1.2.3. ფოლადის, რკინაბეტონისა და ბეტონის კონსტრუქციები	25
1.3. ხიდმშენებლობაში საიმედოობის თეორიის ამოცანათა გამოყენების კორექტულობა	30
1.4. ხიდური ნაგებობების მონიტორინგის საკითხების ანალიზი.	32
2. შედეგები და მათი განსჯა	35
2.1. კვლევის წარმოების ძირითადი მეთოდოლოგია სისტემური პრინციპების მეთოდის გამოყენებით	35
2.2. ხიდმშენებლობაში საიმედოობის თეორიის ძირითადი ამოცანები	40
2.3. ხიდის კონსტრუქციების ფაქტიური რესურსები და მათი პროგნოზირება	42
2.4. საქართველოს პირობებისათვის რკინაბეტონის ხიდების პროექტირების ნორმების დამუშავების ასპექტები	49
2.5. ნატურული გამოკვლევების მონაცემების გამოყენებით რკინაბეტონის ხიდების ნარჩენი რესურსის შეფასების მეთოდიკა	54
2.5.1. გამოყენებული დეგრადაციული მოდელები	54
2.5.2. დამცავი ფენის ბეტონის კარბონიზაციის მექანიზმი	60
2.5.3. ბეტონში არმატურის კოროზიის განვითარების ანალიზი	63
2.6. რკინაბეტონის ხიდების დამახასიათებელი დაზიანების ანალიზი ავტორის მიერ სისტემური მიდგომის გამოკვლევის მეთოდოლოგიით	76

2.7. ხიდური კონსტრუქციების ნატურული გამოცდა.	93
დასკვნები	98
ლიტერატურა	100
დანართი	104

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. კუმშვაზე ბეტონის წინააღმდეგობისა და დრეკადობის მოდულის საანგარიშო მნიშვნელობები	27
ცხრილი 2. B40 კლასის ბეტონისა და მასთან ახლოს მდგომი დასაველური ნორმების მარკების ბეტონის ნორმატიული და საანგარიშო წინააღმდეგობები	50
ცხრილი 3. B-11 (d=5მმ) ტიპის მაღალი სიმტკიცის მავთულის ნორმატიული და საანგარიშო წინააღმდეგობები	51
ცხრილი 4. მაღალი სიმტკიცის ფოლადი რუსეთისა და აშშ-ს ავტოსაგზაო ხიდების კოჭებში	53
ცხრილი 5. (5) ფორმულაში A (სმ/წელი ^{0.5}) კოეფიციენტის მნიშვნელობა	63

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. E-60 და E-70 ავტომაგისტრალის სქემა	16
ნახ. 2. კოროზიის პროცესის გრაფიკი	59
ნახ. 3. კვეთში მუშა არმატურის რიგების განლაგება.	59
ნახ. 4. არმატურის ღეროს კვეთის ცვლილება კოროზიის შედგად.	68
ნახ. 5. კოროზირებული არმატურის დამცავი ფენის გამოწურვა.	68
ნახ. 6. არმატურის კოროზიის დროს დამცავი ფენის დაშლის სქემა.	69
ნახ. 7. ხელსაწყო კხგ. სქემა კოროზიის შესაფასებლად.	72
ნახ. 8. ბეტონის დამცავი ფენის ფართობისა და ელექტრო- პოტენციალის გაზომვის რიცხვთა ველი	73
ნახ. 9. კოროზიული პროცესების ალბათობა მაღლის ნაშენში	74
ნახ. 10. ბზარები ხიდურ კონსტრუქციებში	77
ნახ. 11. რაიონების მიხედვით გამოკვლეული ხიდების ხნოვანების მაჩვენებლები	87
ნახ. 12. ხიდის საგზაო ფენილის დეფექტები და დაზიანებანი	88
ნახ. 13. მაღლის ნაშენის დეფექტები და დაზიანებანი	89
ნახ. 14. ბურჯებისა და საყრდენი ნაწილების დეფექტები და დაზიანებანი.	90
ნახ. 15. ნაგებობასთან მისასვლელების დეფექტები და დაზიანებანი	91
ნახ. 16. კონსტრუქციის მდგომარეობის შეფასების გრაფიკი . .	92
ნახ. 17. გავლენის წირი	97

შესავალი

სატრანსპორტო კომუნიკაციები, ხიდური ნაგებობების ჩათვლით, განსაზღვრავს სახელმწიფოს ეკონომიკის მდგომარეობას და მის შემდგომ განვითარებას.

საავტომობილო გადაზიდვებს, განსაკუთრებით მოკლე მანძილზე, სახელმწიფოსათვის მნიშვნელოვანი შემოსავლები მოაქვს, ამიტომ უკანასკნელ პერიოდში მსოფლიო პრაქტიკაში დიდი ყურადღება ეთმობა ავტოგზების მშენებლობასა და ქალაქებში სატრანსპორტო კომუნიკაციების განვითარებას. ავტოსაგზაო მშენებლობაში მნიშვნელოვანი ადგილი ეკუთვნის ხიდებსა და სატრანსპორტო გადაკვეთებს, რომლებიც ყველაზე ძვირადღირებული ნაგებობებია და თხოულობენ პროექტირებისა და მშენებლობის გარკვეულ ტექნიკურ დონესა და სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხანგრძლივ ვადას.

სამეცნიერო-ტექნიკური განვითარების თანამედროვე ეტაპზე გაჩნდა შესაძლებლობა, დავაპროექტოთ დიდი და უნიკალური ხიდები, რომლებიც მაღალი ხარისხით აკმაყოფილებენ ტრანსპორტის სხვადასხვა სახეობათა მოძრაობის უსაფრთხოების პირობებს, მგზავრობის კომფორტულობას, აგრეთვე გაზრდილ არქიტექტურულ და საექსპლუატაციო მოთხოვნებს.

პრაქტიკულად მსოფლიოს ყველა კონტინენტზე პროექტდება ან შენდება ხიდური გადასასვლელები უმსხვილეს საწყლოსნო დაბრკოლებებზე, ვიადუკები, საქალაქო ხიდები და მნიშვნელოვანი სიგრძის ესტაკადები.

გამოყენებული კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები საკმაოდ მრავალფეროვანია, ხოლო უშუალოდ ხიდური გადასასვლელების სიგრძე და გადამფარავი სანაოსნო მალების სიდიდე მკვეთრად გაიზარდა ვანტური (საერთო რაოდენობის დაახლოებით 40%) და კიდული სისტემის უპირატესად გამოყენების გამო.

ხიდებისა და ქალაქებში სატრანსპორტო გადაკვეთების პროექტირება და მშენებლობა მთელი რიგი თავისებურებებით ხასიათდება, რომელიც მოითხოვს ისტორიულად ჩამოყალიბებული არსებული არქიტექტურულ-დაგეგმარებითი პირობების, სამრეწველო და

მასობრივი საცხოვრებელი განაშენიანების ზონებში ნაგებობათა განლაგების, გარემოს მაქსიმალური დაცვისა და მშენებლობის მთელი პერიოდის განმავლობაში ფეხით მოსიარულეთა და ტრანსპორტის მოძრაობის შენარჩუნებით ჩქაროსნული მშენებლობის ასპექტების ყველაზე სრულად გათვალისწინებას.

გაზრდილ არქიტექტურულ მოთხოვნებს მივყავართ სუფთა სამშენებლო ამოცანებთან დაკავშირებულ მთელი რიგი ტრადიციული გადაწყვეტილებების უარყოფამდე. მაგალითად, გვიხდება უარი ვთქვათ ქარხნებში ტიპური კოჭების მასობრივ დამზადებაზე, გავართულოთ გზაგამტარებისა და ესტაკადების სტატიკური სქემები, მნიშვნელოვნად შევამციროთ სამშენებლო პროცესების ეკოლოგიაზე გავლენა.

ხიდების ექსპლუატაციის პერიოდში წარმოიქმნება ბეტონზე გარემოს არახელსაყრელ ზემოქმედებასთან დაკავშირებული ბევრი პრობლემა. მარილები კონსტრუქციის ზედაპირზე, ნახშირბადის ოქსიდები, ქანგბადი და ტენიანობა, ქლორიდები და ტემპერატურის ცვალებადობა, ასეთია არასრული ჩამონათვალი იმ ფაქტორებისა, რომლებსაც მივყავართ რკინაბეტონის კონსტრუქციის დაშლამდე და ბზარების წარმოქმნამდე, რაც იწვევს ჩვეულებრივი და განსაკუთრებით წინასწარ დაძაბული არმატურის კოროზიას.

საექსპლუატაციო საიმედოობის ამალღებისათვის საქართველოს ხიდებისა და სატრანსპორტო ნაგებობების მნიშვნელოვან რაოდენობას ესაჭიროება კაპიტალური რემონტი ან რეკონსტრუქცია.

სარემონტო ხიდური ნაგებობების მაღალი პროცენტი დაკავშირებულია როგორც მეცნიერულად არასაკმარისად დასაბუთებულ საპროექტო გადაწყვეტილებებთან, ისე ექსპლუატაციის ნაკლოვანებებთანაც.

ნაგებობათა ტექნიკური დათვალიერება, რომელთა საფუძველზეც ხდება რემონტის ან რეკონსტრუქციის ჩასატარებელი საწყისი დოკუმენტაციის შედგენა, სისტემატურად არ ტარდება, არ არსებობს ხარისხობრივი დიაგნოსტიკა.

საბაზრო ეკონომიკაზე გადასვლასთან ერთად პრინციპულად იცვლება მშენებლობის ფუძემდებლური ფაქტორების შეფასებისადმი მიდგომა, რომლის მთავარ მოთხოვნას წარმოადგენს შედარებით დაბალი ღირებულების კონსტრუქციის მუშაობის მთელი პერიოდის (50-

100 წელი) განმავლობაში საიმედო ექსპლუატაციისა და სწრაფი გამოსყიდვის უზრუნველყოფა.

მშენებლობისა და ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში ნაგებობა მინიმალურად უნდა ზემოქმედებდეს გარემოზე.

ხიდმშენებლობაში მოწინავე გამოცდილებისა და სამეცნიერო-ტექნიკური მიღწევების შემდგომ დანერგვაში არანაკლებ როლს თამაშობს ნორმატიული დოკუმენტები მშენებლობისა და პროექტირებისათვის.

დღეისათვის მსოფლიო პრაქტიკაში არ არსებობს ხიდური ნაგებობების პროექტირებისათვის ნორმატიული დოკუმენტების ერთიანი სისტემა. მზიდუნარიანობისა და საექსპლუატაციო საიმედოობის კომპლექსური შეფასებისადმი სხვადასხვა მიდგომა უარყოფითად მოქმედებს სხვადასხვა ქვეყნებს შორის დაუბრკოლებელ სატრანსპორტო კავშირზე. ამიტომ ევროპაში მიმდინარეობს სამუშაოები დატვირთვისა და ზემოქმედების, ფუნდამენტებისა და გეოტექნიკის, რკინაბეტონის, ფოლადრკინაბეტონისა და ფოლადის, ალუმინისა და სხვა კონსტრუქციების პროექტირებისათვის (სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებით) ნორმატიული დოკუმენტების დამუშავებისადმი ერთიანი მიდგომის ჩამოსაყალიბებლად (ევროკოდები).

ევროკოდების ძირითად მოთხოვნებს წარმოადგენს სხვადასხვა ქვეყნების თავისებურებათა გათვალისწინებით ინდივიდუალური მიდგომის შემთხვევაში ძირითადი პრინციპების აუცილებელი დაცვა.

აქტუალურობა

საავტომობილო ტრანსპორტის თანამედროვე მდგომარეობა ხასიათდება ავტოსატრანსპორტო საშუალებების სწრაფი განვითარებით, გადაზიდვის მოცულობის გაზრდით, მათ შორის საერთაშორისო გადაზიდვისაც, დიდი ტვირთამწეობის ავტომობილებისა და ავტომატარებლების სულ უფრო მეტად გამოყენებით. ეს გამოწვეულია, პირველ რიგში, ბაზრისა და საერთაშორისო ეკონომიკური ინტეგრაციის განვითარებით.

ამავე დროს საქართველოს საავტომობილო გზებზე ხიდური ნაგებობების დიდი რაოდენობა არადაამაკმაყოფილებელ მდგომარეობაშია, აქვთ არასაკმარისი ტვირთამწეობა და აფერხებენ სატრანსპორტო ნაკადებს. ამ ხიდების ნაწილი გასულ წლებში

აგებული იყო უფრო დაბალ სატრანსპორტო დატვირთვაზე, ხოლო ზოგიერთმა ხიდმა განიცადა სერიოზული ფიზიკური ცვეთა. ბევრი რკინაბეტონის ხიდის მუშაობის ვადა ნაცვლად მოსალოდნელი 80-100 წლისა, 30-40 წელს შეადგენს. ეს, თავის მხრივ, მოითხოვს ექსპლუატაციაში მყოფი ხიდების მდგომარეობის სერიოზულ, დასაბუთებულ შეფასებას მათი რემონტისა და შენახვისათვის რაციონალური გადაწყვეტილების მისაღებად.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია, უზრუნველყოთ ახალი ხიდების ხანმედევობა. ხიდებზე ავტომობილების ნორმატიული დატვირთვა, რომელიც დაფუძნებული იყო 60-70-იან წლებში საავტომობილო მოძრაობის ანალიზსა და განვითარების პროგნოზზე, დღეისათვის პრაქტიკულად რეალიზებულია. აქედან გამომდინარეობს დატვირთვის ნორმების გადახედვის აუცილებლობა მომავალი პერსპექტივების გათვალისწინებით.

ამრიგად, ახალი ხიდების ნორმირებისა და ექსპლუატაციაში მყოფი ხიდების მდგომარეობის ღრმა ანალიზის ამოცანები სულ უფრო მეტად აქტუალური ხდება.

დაგროვილი პრაქტიკული გამოცდილება, გაზომვის თანამედროვე საშუალებათა განვითარება, კომპიუტერიზაციის მაღალი დონე, გვაძლევს საშუალებას, მიღებული შედეგები გამოვიყენოთ სისტემური მიდგომის პრინციპების სრულყოფისათვის.

სამუშაოს მიზანია:

რკინაბეტონის ხიდური ნაგებობების პროექტირების ნორმებისადმი ექსპლუატაციის პერიოდში მათი მდგომარეობის რაოდენობრივი შეფასებისადმი და ნატურული გამოკვლევებისადმი სისტემური მიდგომა.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლე:

- დამუშავებულია რკინაბეტონის ხიდური კონსტრუქციების საიმედოობის ერთ-ერთი ასპექტი, დაკავშირებული პროექტირების ნორმებთან;
- ბეტონსა და არმატურაში დეგრადაციული მოდელების საფუძველზე დამუშავებულია რკინაბეტონის ხიდური კონსტრუქციების ნარჩენი რესურსის ალბათური შეფასება, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციაზე გარემოს სხვადასხვა ფაქტორების კომპლექსურ ზემოქმედებას;

- სისტემური მიდგომის საფუძველზე სრულყოფილია ხიდების ნატურული გამოკვლევის მეთოდოლოგია;
- შესრულებულია რკინაბეტონის ხიდური კონსტრუქციების დამახასიათებელი დეფექტებისა და დაზიანებების ანალიზი, რომლის შედეგებიც შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც კონკრეტული ხიდების შემდგომი ექსპლუატაციისა და ნატურული კვლევის პროცესში, ამ დაზიანებათა შეფასებისა და იდენტიფიკაციისათვის, ისე ხიდური ნაგებობების ნორმირებისა და პროექტირებისათვის.

სამუშაოს პრაქტიკული გამოყენება:

- ინჟინერს საშუალება ეძლევა შეაფასოს მიღებული გადაწყვეტილების საიმედოობა;
- დარგობრივი დეტერმინირებული ნორმების შემდგენლებს აწვდის აუცილებელ ალბათურ-სტატისტიკურ ინფორმაციას, რაც საშუალებას გვაძლევს, უფრო რეალისტურად შევაფასოთ კონსტრუქციისა და მისი შემადგენელი ნაწილების ძალოვანი ზემოქმედებები და სიმტკიცის შესაძლებლობები.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავლის, ორი თავის, დასკვნის, გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისა და დანართისაგან. მოიცავს: ტექსტის 104 გვერდს, მათ შორის 17 ნახაზს და 5 ცხრილს.

ნაშრომის აპრობაცია

დისერტაციის მასალები მოხსენებული იქნა:

- საქართველოს საავტომობილო-საგზაო ინსტიტუტის საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, ქ. თბილისი, 2009 წელი;
- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს ორ სემინარზე.

ლიტერატურის მიმოხილვა

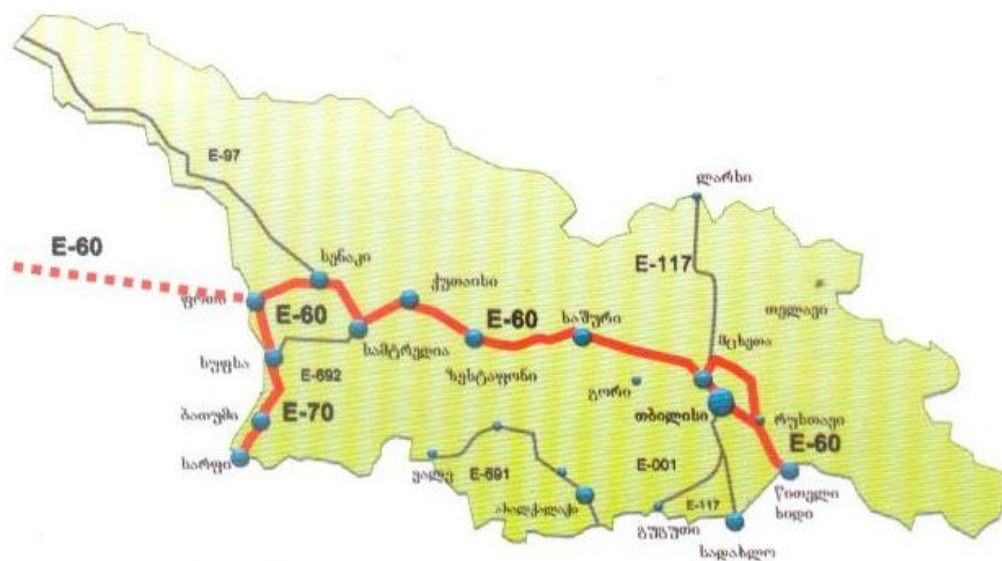
1.1. სამამულო და საზღვარგარეთის ხიდმშენებლობის თანამედროვე მდგომარეობა

სატრანსპორტო კომუნიკაციები და მათ შორის ხიდური ნაგებობები განსაზღვრავენ ქვეყნის ეკონომიკურ მდგომარეობას და მის შემდგომ განვითარებას.

საქართველოს სატრანსპორტო ქსელი ჩამორჩება საზღვარგარეთის დონეს. ამავე დროს გადაზიდვის მოცულობა, განსაკუთრებით საავტომობილო ტრანსპორტით უმნიშვნელოდ მცირე ანალოგიური ტერიტორიის მქონე საზღვარგარეთის განვითარებულ ქვეყნებთან შედარებით.

საავტომობილო ტრანსპორტით გადაზიდვას ქვეყნისთვის მოაქვს მნიშვნელოვანი შემოსავალი, ამიტომ ბოლო წლებში მსოფლიოში დიდი ყურადღება ექცევა საავტომობილო გზების მშენებლობას, სადაც ხიდებს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია.

ხიდმშენებლობის დიდ მნიშვნელობაზე მოწმობს საქართველოში გამავალი E-60 ავტომაგისტრალზე (E-70 ავტომაგისტრალთან ერთად) შესრულებული სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოები:



ნახ.1. E-60 და E-70 ავტომაგისტრალების სქემა

ნატახტარი-ალაიანის 16 კმ-იანი მონაკვეთი. სახელმწიფო ბიუჯეტის დაფინანსებით, ჩქაროსნული გზატკეცილის პირველი მონაკვეთის მშენებლობა 2006 წლის გაზაფხულზე დაიწყო, მასზე აშენდა:

- 200 მეტრიანი ხიდი მდინარე ქსანზე;
- 5 გზაგამტარი.

ალაიანი-იგოეთის 12 კმ-იანი მონაკვეთის მშენებლობა მსოფლიო ბანკის დაფინანსებით დაიწყო 2007 წელს მასზე აშენდა სატრანსპორტო კვანძები, მოწისქვეშა გადასასვლელები.

იგოეთი-სვენეთის 25 კმ-იანი მონაკვეთი. ამ მონაკვეთზე სოფელ იგოეთში აშენდა ორი პარალელური ხიდი-ვიადუკი. ხიდების პარამეტრები:

- მალეების რაოდენობა – 7;
- თითოეული ხიდის საერთო სიგრძე – 195 მეტრი;
- ხიდის სავალი გზის ნაწილის გაბარიტი – 11.5 მეტრი.

ასევე აშენდა ორი პარალელური ხიდი მდინარე ლეხურაზე. პარამეტრები:

- მალეების რაოდენობა – 4;
- თითოეული ხიდის საერთო სიგრძე – 115 მეტრი;
- ხიდის სავალი გზის ნაწილის გაბარიტი – 11.5 მეტრი.

სვენეთი-რუისი 15 კმ-იან მონაკვეთზე აშენდა ორი პარალელური ესტაკადა სიგრძით 877მ.

E-60 მაგისტრალის რუისი-რიკოთის 48 კმ-იან მონაკვეთზე, რიკოთი-ზესტაფონის 50 კმ-იან მონაკვეთზე და სამტრედია-გრიგოლეთის 55 კმ-იან მონაკვეთზე გათვალისწინებულია მრავალი ხიდის, მიღების და სხვა საგზაო-საინჟინრო ნაგებობის აგება.

გათვალისწინებულია აგრეთვე აჭარის შემოვლითი გზის (E-70), თბილისი-რუსთავის საავტომობილო გზის 17 კმ-იანი მონაკვეთის და რუსთავი-წითელი ხიდის 35 კმ-იანი მონაკვეთის გზების მშენებლობა მრავალი სახის საინჟინრო ნაგებობის აგებით.

ქ. თბილისში უსაფრთხო მოძრაობის და გზაში ყოფნის დროის შემცირების მიზნით გაიზარდა ხიდებისა და სატრანსპორტო გადაკვეთების მშენებლობის მოთხოვნილება.

საავტომობილო გზებზე და ქალაქში ხიდების მშენებლობასთან ერთად გათვალისწინებულია რკინიგზის ხიდების აშენება:

- ქალაქ თბილისის შემოვლით გზაზე;
- თბილისი-ბათუმის მაგისტრალურ გზაზე;

მსოფლიო პრაქტიკაში შეიმჩნევა რკინაბეტონის ხიდების მშენებლობა ლითონის ხიდებთან შედარებით. იგივე ტენდენცია დამახასიათებელია საქართველოსთვის.

სამეცნიერო-ტექნიკური განვითარების თანამედროვე ეტაპზე შესაძლებელი გახდა დიდმალიანი უნივერსალური ხიდების პროექტირება, რომლებიც საკმარისად აკმაყოფილებენ სხვადასხვა სახის ტრანსპორტის უსაფრთხო მოძრაობის, კომფორტულობის, არქიტექტურულ და საექსპლუატაციო მოთხოვნებს.

პრაქტიკულად მსოფლიოს ყველა კონტინენტზე პროექტირდება ან შენდება ხიდური გადასასვლელები წყლის წინაღობის გადასაღებად, როგორცაა: წყალსაცავები, ზღვის ყურეები ან სრუტეები, ვიადუკები, საქალაქო ხიდები და ესტაკადები.

ამჟამად მიმდინარეობს სამეცნიერო-ტექნიკური, საცდელ-ექსპერიმენტული და საპროექტო სამუშაოები შემდეგი სახიდე გადასასვლელების ასაგებად:

- გიბრალტარის სრუტე (ესპანეთი-მაროკო);
- მესინის სრუტე (იტალია-კუნძული სიცილია);
- ბერინგის სრუტე (აღიასკა-რუსეთი);
- ლაპერუზას და ტატარსკის სრუტე (რუსეთი-იაპონია).

ხიდმშენებლობაში მაღალი სამეცნიერო-ტექნიკური მიღწევების საქმეებში დიდი როლი ეკუთვნის ხიდების პროექტირების და მშენებლობის ნორმატიულ დოკუმენტაციას.

ამჟამად მსოფლიო პრაქტიკაში არ არსებობს ხიდების პროექტირების ნორმატიული დოკუმენტაციის ერთიანი სისტემა. საექსპლუატაციო საიმედოობის კომპლექსური შეფასებისადმი სხვადასხვა მიდგომა უარყოფითად მოქმედებს ქვეყნებს შორის შეუფერხებელი სატრანსპორტო კავშირის დამყარებაზე, ამიტომ ევროპაში მიმდინარეობს მუშაობა ნორმატიული დოკუმენტებისადმი ერთიანი მიდგომის შექმნისათვის. ძირითადად შემდეგი მიმართულებით:

დატვირთვა და ზემოქმედება, საძირკვლები და გეოტექნიკა, რკინაბეტონის, ლითონის და სხვა კონსტრუქციების დაპროექტება სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებით (ევროკოდები).

ევროკოდების მოთხოვნაა მისი ძირითადი პრინციპების აუცილებელი დაცვა, ცალკეულ შემთხვევაში კი მისი განმარტებისადმი მიდგომა ქვეყნების თავისებურებების გათვალისწინებით.

12. რკინაბეტონის ხიდების დაპროექტების ნორმატიული ბაზის ანალიზი

12.1. ძირითადი დებულებები

დღეისათვის მოქმედი პროექტირების სისტემა, როგორც წესი, შეიცავს ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების, პროექტისა (მუშა პროექტი) და მუშა დოკუმენტაციის დამუშავებას. პროექტირების მითითებული სტადიები სრულდება ერთი (სათავო) საპროექტო ორგანიზაციის მიერ. ძირითადი კონსტრუქციების დამუშავებასთან ერთად პროექტდება რთული დამხმარე მოწყობილობები, განისაზღვრება სამუშაოთა წარმოების ხერხები და წყდება მშენებლობის ორგანიზაციის საკითხები. ამ სისტემის უპირატესობად უნდა მივიჩნიოთ შემოთავაზებული კონსტრუქციული გადაწყვეტილებების, მათი დამზადების ტექნოლოგიებსა და მონტაჟთან სრულყოფილი კავშირი საპროექტო სამუშაოების შესრულების ყველა სტადიაზე [22, 23].

საზღვარგარეთ ექსპლუატაციისათვის საჭირო ძირითადი კონსტრუქციების საკმაოდ დაწვრილებით დამუშავებული სატენდერო დოკუმენტაციის საფუძველზე ჩატარებული ვაჭრობის შემდეგ, ტენდერში გამარჯვებული ფირმა თვითონ ასრულებს სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ჩასატარებლად საჭირო მუშა დოკუმენტაციის დამუშავებას. ამასთან, დამხმარე კონსტრუქციების დამზადებისა და მონტაჟის ტექნოლოგიის შერჩევაში მიღებული გარკვეული ეკონომიკური უპირატესობის გამო სამშენებლო ორგანიზაციას, როგორც წესი, არ აქვს შესაძლებლობა, გავლენა მოახდინოს ძირითად

კონსტრუქციებზე ან შეიტანოს მათში რამდენადმე მნიშვნელოვანი ცვლილებები. დამოუკიდებელი ექსპერტიზის მიერ მშენებლობაზე ჩატარებული კონტროლი მიმართულია ძირითადი კონსტრუქციების ნორმალური ექსპლუატაციისათვის საჭირო პირობების დაცვისაკენ და პრაქტიკულად გაეგნას არ ახდენს კონსტრუქციის დამზადებისა და მონტაჟის ხერხებზე, თუ ისინი შემდგომში არ აისახება ექსპლუატაციაზე.

ხიდური გადასასვლელების, ხიდების, გზაგამტარების, ესტაკადებისა და სხვა სატრანსპორტო ნაგებობების საპროექტო დოკუმენტაციის დამუშავება ხდება СНиП 2.05.03-84-ის მიხედვით („ხიდები და მასალები“, დამატებები შეტანილია 1991 წელს). ნორმები ვრცელდება ახალი და მუდმივი ხიდური ნაგებობების რეკონსტრუქციის დაპროექტებაზე (ავტოსაგზაო, საქალაქო, სარკინიგზო და ფეხით მოსიარულეებისათვის). მშენებლობაზე დოკუმენტაციის დამუშავებისათვის საფუძვლად აღებულია СНиП 3.06.04-91 [29].

აუცილებელია აღვნიშნოთ ნორმატიული დოკუმენტების ფორმირებისადმი სრულიად განსხვავებულია მიდგომა, რასაც ადგილი აქვს მსოფლიო პრაქტიკაში. მაგალითად, აშშ-სა და ჩინეთში ნორმები ცალ-ცალკეა დამუშავებული ავტოსაგზაო (საქალაქო) და სარკინიგზო ხიდებისათვის. აშშ-ის ნორმებში (AASHTO მე-14 გამოცემა) რეკონსტრუქციის, პროექტირებისა და მშენებლობის მოთხოვნები შეთავსებულია. დიდი ბრიტანეთის ნორმები (BS-5400), რომელიც შეიცავს ათ დამოუკიდებელ განყოფილებას, ვრცელდება სხვადასხვა დანიშნულების ტრანსპორტის ხიდური ნაგებობების პროექტირებაზე.

ზოგიერთ ქვეყანაში არ არსებობს ხიდების დაპროექტების სპეციალური ნორმები, ამიტომ პროექტების დამუშავებისას გამოიყენება საერთო სამშენებლო ნორმები, რომლებშიც მოცემულია დამატებითი, სპეციალური მოთხოვნები ხიდური კონსტრუქციებისათვის.

ცალკეულ ქვეყნებში ხიდური ნაგებობების პროექტირება ხდება სხვა ისეთი ქვეყნის (ქვეყნების) ნორმებით, რომლებიც ასრულებენ სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოებს და არიან კონსტრუქციების დამამზადებელნი ან მომწოდებლები.

თუ ხიდის მშენებლობა ხდება სხვადასხვა ქვეყნის ფორმებისა და ორგანიზაციების მიერ, მაშინ მიღებულია პროექტირების სპეციალური კრიტერიუმების დამუშავება, რომლებიც ითვალისწინებს ამ ქვეყნების ნორმებს.

ხიდების რეკონსტრუქციის ან კაპიტალური რემონტის საპროექტო სამუშაოების შესრულებისას, შეიძლება გავითვალისწინოთ დღეისათვის არსებული ნორმების შეხამება ნაგებობის მშენებლობის პერიოდში მიღებულ ნორმებთან.

საზღვარგარეთ მოქმედი ნორმების ცალკეული საანგარიშო და კონსტრუქციული დებულებებისა და მეთოდის გათვალისწინება საშუალებას გვაძლევს ავამაღლოთ კონსტრუქციული ტექნოლოგიური პროექტირების ნორმატიული ბაზით უზრუნველყოფის დონე. საზღვარგარეთული სტანდარტებისა და ნორმების შესწავლა მიმართულია აგრეთვე სამამულო ნორმატიული დოკუმენტების შემდგომი სრულყოფისაკენ, რაც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ხიდმშენებლობის სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესს.

სხვადასხვა ქვეყნების ნორმატიული დოკუმენტების შემადგენლობა დაახლოებით ერთნაირია. მასში შედის:

- ძირითადი დებულებები, რომლებიც შეიცავს ნაგებობის განლაგების, გეგმისა და ტრასის პროფილის მოთხოვნებს, გაბარიტების, გაანგარიშებისა და კონსტრუქციებისთვის ზოგად მოთხოვნებს;
- დატვირთვა და ზემოქმედება;
- ბეტონისა და ჩვეულებრივი წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები;
- ფოლადის კონსტრუქციები;
- კომპოზიციური (ფოლადრკინაბეტონის) კონსტრუქციები;
- ფუძეები და ფუნდამენტები.

ზოგიერთ ქვეყანაში ნორმატიულ დოკუმენტებში გვხვდება აგრეთვე სპეციალური ნაწილები ქვის ხიდების, ალუმინის კონსტრუქციებისა და სხვათა პროექტირებისათვის. სხვადასხვა ქვეყანაში მათი გეოგრაფიული მდებარეობის გათვალისწინებით ხიდური ნაგებობების სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშებისა და

კონსტრუირების მოთხოვნები ხშირად კეთდება საყოველთაოდ მიღებული ნორმატიული დოკუმენტის საფუძველზე, სადაც მოცემულია სპეციალური ტექნიკური პირობები კონკრეტული ტერიტორიისათვის.

ზოგიერთ ნორმატიულ დოკუმენტში გამოყოფილია უშუალოდ კონსტრუქციულ ელემენტებს მიკუთვნებული ნაწილები.

გაანგარიშებისა და კონსტრუირების მოთხოვნების საგრძნობი განსხვავებანი მოითხოვს მათი ცალკეული ნაწილების უფრო დაწვრილებით შედარებას. მათგან ყველაზე მნიშვნელოვანია საანგარიშო დატვირთვა, რკინაბეტონისა და ფოლადის კონსტრუქციები და მათი დაშვება დამზადებისა და მონტაჟის დროს, აგრეთვე ფუძეები და ფუნდამენტები.

საქართველოს საავტომობილო გზებზე არსებობს ხიდური ნაგებობების ბევრი სახეობა, რომლებიც დაპროექტებულია და აშენებულია სხვადასხვა დროს, სხვადასხვა საპროექტო დატვირთვით, მართლაც უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში საავტომობილო გზებზე მოძრაობის დატვირთვის ნორმები 6-ჯერ შეიცვალა [16]:

- 1931 წელს ყველაზე დიდი საავტომობილო დატვირთვა იყო H10, ხოლო სატრაქტორო – T-20;
- 1938 წელს H13 და T-60;
- 1943 წელს H10 და T-60;
- 1948 წელს H13 და HF-60;
- 1953 წელს H18 და HK-80;
- 1962 წელს H30 და HF-80;
- 1984 წელს A11 და HF-80.

ნორმატიული დატვირთვის ასეთი მრავალფეროვნების გარდა, ბევრ ამჟამად არსებულ ხიდურ ნაგებობას აქვს შემცირებული ტვირთამწეობა ფიზიკური და, პირველ რიგში, კოროზიული ცვეთის გამო.

ეს გარემოება განაპირობებს ხიდების სხვადასხვა ტვირთამწეობას, ამასთან ხშირად ეს ხიდები განლაგებული არიან ავტოგზის ერთ უბანზე.

მეორეს მხრივ, უკანასკნელი ათწლეულების მანძილზე ჩვენს გზებზე გამოჩნდა მნიშვნელოვანი რაოდენობის მძიმე, მრავალდერძიანი ავტომატარებელი, რომელთა ხიდებზე გატარება სასურველ დონეზე არც რეგლამენტირებულია და არც კონტროლდება.

უნდა აღინიშნოს, რომ ხიდებზე დატვირთვის ნორმების ცვლილება კანონზომიერია, რადგან საექსპლუატაციო დატვირთვის ზრდის ტენდენცია შენარჩუნებულია, აქედან გამომდინარე, 2010 წლამდე დაპროექტებულმა ხიდებმა უნდა უზრუნველყონ სატრანსპორტო საშუალებების შეუფერხებელი გატარება 2090 წლამდე, ხოლო 2030 წლამდე დაპროექტებულმა ხიდებმა, შესაბამისად, 2110 წლამდე.

დატვირთვის ნორმების პერიოდული ცვლილება ბევრ ქვეყანაში ხდება, მაგალითად:

- 2000 წელს აშშ-ში ასეთი ნორმები 1.5-ჯერ გაიზარდა (BSS30 HS20-ის ნაცვლად);
- რუსეთში:
 - 1992 წელს მიიღეს A14, HK-80 და ზემდომე დატვირთვა (176ტ) მოსკოვისა და სანკტ-პეტერბურგის წრიული ავტოგზისათვის;
 - დამტკიცებულია СНиП 32.05.2002-ის („ხიდები და მიწები“) პროექტი, რომელშიც სატრანსპორტო საშუალებებისაგან გამოწვეული ნორმატიული დატვირთვა მიღებულია A14, H14 (HK-100) სქემების სახით.

დასასრულს უნდა აღვნიშნოთ, რომ ჩვენს ქვეყანაში მოქმედი ნორმატიული ბაზა სრულად ვერ პასუხობს კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური პროექტირების თანამედროვე მოთხოვნებს, რაც ხელს უშლის სამამულო მშენებლობის მსოფლიო ბაზარზე გასვლას. ამიტომ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ხიდებისა და გვირაბების“ კათედრაზე მიმდინარეობს სამუშაოები დატვირთვისა და ზემოქმედების საერთო ნორმატიული დოკუმენტების შესაქმნელად, სადაც აუცილებლად დაცულია ევროკოდების ძირითადი პრინციპები და ცალკეულ შემთხვევაში შენარჩუნებულია ინდივიდუალური მიდგომა ჩვენი ქვეყნის თავისებურებათა გათვალისწინებით.

1.2.2. საანგარიშო დატვირთვები

აუცილებელია აღინიშნოს სხვადასხვა ქვეყნის ნორმებში გაანგარიშების მეთოდებისა და კონსტრუქციული მოთხოვნებისადმი განსხვავებული მიდგომა.

სამამულო პრაქტიკაში მიღებული ზღვრული მდგომარეობის მეთოდი ზოგიერთ ქვეყანაში (აშშ) შეთავსებულია ერთი და იგივე ნაგებობის პროექტირებისას მისი ცალკეული ელემენტების დასაშვებ ძაბვებზე გაანგარიშებებთან. დასაშვები ძაბვების მეთოდი დომინირებს ჩინეთსა და ზოგიერთ სხვა ქვეყანაშიც [16, 22, 23].

ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშება სრულდება ორ ჯგუფად, რომელიც მოიცავს: ა) გაანგარიშება სიმტკიცეზე, მდგრადობასა და გამძლეობაზე (პირველადი ზღვრული მდგომარეობა); ბ) გაანგარიშება ბზარმდებლობასა და დეფორმაციაზე (მეორე ზღვრული მდგომარეობა). გაანგარიშების ჩატარებისათვის საწყის ფორმულას წარმოადგენს უტოლობა, რომლის მარცხენა ნაწილს წარმოადგენს მოქმედი (საანგარიშო) ძალვა, ხოლო მარჯვენა ნაწილს – კონსტრუქციის, ელემენტის, კვეთის მზიდუნარიანობა. კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობის განსაზღვრისადმი საერთო მიდგომის შემთხვევაში სხვადასხვა ქვეყნების ნორმებით გაანგარიშებაში შემოაქვთ რიგი კოეფიციენტებისა, რომლებიც ითვალისწინებენ საიმედოობის ამაღლებას, კონსტრუქციის მუშაობის პირობებს, მოქმედი დატვირთვის სხვადასხვა თანხვედრას და სხვა.

ნორმატიული მოთხოვნების შედარება კონკრეტული კონსტრუქციისათვის უნდა მოვახდინოთ მზიდუნარიანობის შეფასებისადმი კომპლექსური მიდგომის საფუძველზე.

სხვადასხვა ქვეყნის ნორმატიული დოკუმენტების შედარებისას შეინიშნება ექსპლუატაციის პროცესში საიმედოობის ამაღლების, მიმდინარე და პერიოდული რემონტის ვადის გადიდების, ეკოლოგიური მოთხოვნების მკაცრი დაცვისა და კონსტრუქციულ გადაწყვეტლებათა ხარისხის ამაღლების მიმართ შეინიშნება მათი „გამკაცრების“ მყარი

ტენდენცია. განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა უსაფრთხო გაბარიტებს სხვადასხვა დანიშნულების ტრანსპორტის მოძრაობისთვის, ერთდროულად დატვირთვას, პერსონალური კომპიუტერების გამოყენებით გაანგარიშებასა და კონსტრუირების ახალ მეთოდებს, პირველადი და მეორე ზღვრული მდგომარეობისადმი მოთხოვნების ამადლებას (დრეკადი და ნარჩენი დეფორმაციები, გამძლეობა და მდგრადობა, ბზარმედგობა, გადაადგილებები და რხევები და ა.შ.).

საანგარიშო დატვირთვის განსაზღვრისას, კონსტრუქციის ან ცალკეული ელემენტის ყველაზე არახელსაყრელი დატვირთვის დადგენის მიზნით СНиП 2.05.03-84 რეკომენდაციას იძლევა გაავითვალისწინოთ მუდმივი, დროებითი და სხვა დატვირთვის სხვადასხვა ვარიაცია. ფოლადისა და ფოლადბეტონის კონსტრუქციების საპროექტო ნორმატიულ დოკუმენტებში დადგენილია ვერტიკალური ტემპერატურული გრადიენტი. ქარის დატვირთვაზე გაანგარიშებისას აიღება ქარის მაქსიმალური სიჩქარე, რომელიც განსაზღვრავს კონსტრუქციის მუშა ზედაპირზე წნევას.

სეისმური ძალები, როგორც წესი, გაიანგარიშება კონკრეტული ადგილობრივი პირობებიდან გამომდინარე და დაფუძნებულია სხვადასხვა მეთოდებზე. (სპექტრალური ან დინამიკური) და დამოკიდებულია ნაგებობის სქემაზე, მალეების სიგრძეთა დაბალანსებაზე, ბურჯის სიმაღლეზე და ა.შ.

1.2.3. ფოლადის, რკინაბეტონისა და ბეტონის კონსტრუქციები

ბეტონისა და რკინაბეტონის ხიდების, მათ შორის წინასწარ დაძაბული ხიდების დაპროექტება უნდა მოხდეს ისეთი მასალების და კონსტრუქციების საფუძველზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ მათ მაღალ ხარისხს დამზადებისა და მონტაჟის გათვალისწინებით და დასაბუთებული უნდა იყოს შესაბამისი გაანგარიშებებით.

СНиП 2.05.03-84-ის მე-3 თავისა და 1991 წელს მიღებული დამატებების შესაბამისად ხიდების მზიდი კონსტრუქციებისათვის უნდა გამოვიყენოთ კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით შემდეგი კლასის მძიმე

ბეტონი: B20, B25, B30, B40, B45, B50, B55, და B60. უკანასკნელი ორი კლასის ბეტონი იშვიათად გამოიყენება. დასაშვებია შუალედური კლასის ბეტონის (B22.5 და B27.5) გამოყენება სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების შემთხვევაში. საზღვარგარეთულ ნორმებში, როგორც წესი, სიმტკიცის მიხედვით კლასების გრადაციის დიფერენცირება ნაკლებია.

ბეტონის კლასის ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს სიმტკიცე კუმშვაზე B ან C. ამ სიდიდეებს შორის არსებობს გარკვეული დამოკიდებულება. მაგალითად, B22.5 შეესაბამება C18-ს, B30 - C25-ს, B45 – C40-ს.

სხვა საკონტროლებელ მახასიათებლებს (კონსტრუქციის დანიშნულების მიხედვით) წარმოადგენს სიმტკიცე გაჭიმვაზე, დრეკადობის მოდული, ყინვაგამძლეობა და წყალგაუმტარობა.

ცხრილში 1 მოყვანილია კუმშვაზე ბეტონის წინააღმდეგობისა და დრეკადობის მოდულის საანგარიშო მნიშვნელობები.

რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას არმატურის ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს გაჭიმვაზე სიმტკიცე. საკონტროლო მახასიათებელია აგრეთვე წაგრძელება გაწყვეტის დროს, ზედაპირის სახე, შედუღების უნარი და მსხვრევადობა.

მსოფლიო პრაქტიკაში სულ უფრო მეტად გამოიყენება მაღალი სიმტკიცის ბეტონიანი რკინაბეტონის კონსტრუქციები.

წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებში დამძაბავ არმატურად გამოიყენება 1×7 ფოლადის სპირალური ბაგირები, რომელთა პირობითი დიამეტრია 5 მმ.

ბეტონისა და საარმატურე ფოლადის საანგარიშო წინააღმდეგობის შედარება გვიჩვენებს, რომ მეორე ზღვრული მდგომარეობისა (СНП 2.05.03-84) და დასაშვები ძაბვების (AASHTO) პროექტირებისათვის ეს მნიშვნელობები ერთმანეთთან საკმაოდ ახლოა, თუმცა კერძო კოეფიციენტების მოქმედი სისტემა, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვების ხანგრძლივობასა და ციკლურობას, პლასტიკურ დეფორმაციებსა და რელაქსაციას, განსაკუთრებით წინასწარ დაძაბვასა და კლიმატურ პირობებს, საშუალებას არ გვაძლევს

ერთმნიშვნელოვნად განესაზღვროთ სხვადასხვა ქვეყნების ნორმებით დაპროექტებული კონსტრუქციის ერთნაირი მზიდუნარიანობა.

ცხრილი 1

კუმშვაზე ბეტონის წინააღმდეგობისა და დრეკადობის მოდულის საანგარიშო მნიშვნელობები

მაჩვენებელი	ბეტონის კლასი		
	B22.5	B30	B45
კუმშვაზე ბეტონის გარანტირებული სიმტკიცე, რომელიც კონტროლდება კუბებზე (ზომა 150×150×150მმ, ხნოვანება 28 დღე-ღამე) МПа	22.5	30.0	45.0
ნორმატიული სიმტკიცე კუმშვაზე, რომელიც კონტროლდება ცილინდრებზე (ხნოვანება 28 დღე-ღამე) МПа	15.5	23.0	34.0
დრეკადობის მოდული	2680	29600	32900

გარკვეული განსხვავება არსებობს რკინაბეტონის ელემენტების კვეთის მზიდუნარიანობის გაანგარიშების დროს (ბეტონის შეკუმშული ზონის ფორმები, ჩვეულებრივ და დაძაბულ არმატურაში გამჭიმავი და შემკუმშავი ძაბვების მნიშვნელობები). ზოგიერთ საზღვარგარეთულ ქვეყანაში გაანგარიშებები წარმოებს ბეტონისა და არმატურის მუშა დიაგრამების მიხედვით. თუ შეკუმშული რკინაბეტონის ელემენტების არმირება ერთ პროცენტზე ნაკლებია, შემოყავთ შემამცირებელი კოეფიციენტები.

მსოფლიო პრაქტიკაში ჩვეულებრივი და წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მათ ბზარმედგობას.

AASHTO ნორმები მოითხოვს ასაწყო კონსტრუქციების პირობებში წიბოვანი შეერთებების აუცილებელ თანაბრად მოჭიმვას. დაუშვებელია პირაპირებში გამჭიმავი ძაბვების არსებობა. აშშ-ის ნორმებით ბზარწარმოქმნა რეგლამენტირებულია დაძაბული მდგომარეობით არმატურის ტიპის გათვალისწინებით.

СНиП 2.05.03-84 ნორმებით კონსტრუქციის ტიპის, მისი დანიშნულებისა და არმირების თავისებურებების მიხედვით დადგენილია ბზარების გახსნის სიდიდეები (მაქსიმალური ზღვრული გახსნა 0.30 მმ). ბრიტანეთის ნორმებში (BS 5400) ბზარების გახსნა რეგლამენტირებულია ექსპლუატაციის გარემო პირობებით და ბეტონში გამჭიმავი ძაბვებით. შეზღუდვა შეადგენს 0.25 მმ-ს) [15].

რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას ხდება დამცავი ფენის მინიმალური სისქის, არმატურის ელემენტებს შორის მინიმალური მანძილის, პირაპირებში ღეროების გადაშვებისა და ა.შ. ნორმირება.

არმატურის ელემენტებს შორის მინიმალური მანძილი დგინდება ღეროს დიამეტრისა და ბეტონის მსხვილი შემავსებლების ზომების გათვალისწინებით, აგრეთვე მნიშვნელოვანია, სად მზადდება კონსტრუქცია: ქარხანაში თუ მონტაჟით AASHTO-ს მიერ რეგლამენტირებული მინიმალური მანძილი ნაკლებია, ვიდრე СНиП 2.05.03-84-ისა. თურქეთში მშენებარე ხიდებზე პერიოდული პროფილის 5420 არმატურისათვის გადაშვება გაჭიმული ღეროსათვის შეადგენს 36d-ს, ხოლო შეკუმშულისათვის – 24d-ს.

მაქსიმალური ძაბვების ადგილებში შეპირაპირების დროს არმატურის ელემენტების გადაშვება უნდა გავადიდოთ 33%-მდე. პერიოდულად პროფილის დიდი დიამეტრის (მაგალითად, 36მმ) არმატურისათვის შეერთება ხდება ქუროვებში (არაუმეტეს 50%-ისა ერთ კვეთაში). სამამულო ნორმებში AIII კლასის პერიოდული პროფილის გაჭიმული ღეროების დაანკერების სიგრძე განისაზღვრება ბეტონის მარკის მიხედვით, B30 და მეტი მარკისათვის შეადგენს 27მმ-ს, ხოლო B27.5-ზე დაბალისათვის – 30მმ-ს.

უნდა აღინიშნოს რუსეთის ნორმებთან შედარებით ზემოთ მოყვანილ კონსტრუქციულ მოთხოვნებზე დასავლეთის ნორმების მოთხოვნათა უფრო მაღალი დეტალიზირება. მაგალითად განიხილება ექსპლუატაციის პროცესში ყველაზე მძიმე პირობებში მომუშავე სავალი ნაწილის რკინაბეტონის ფილის მინიმალური სისქე.

ამ თავში განხილული საკითხების საფუძველზე შეიძლება გაგვაკეთოს შემდეგი დასკვნები:

1. ხიდების დაპროექტების ნორმები (СНиП 2.05.03-84 1991 წლის დამატებებით) დამყარებულია ზღვრული მდგომარეობის მეთოდზე და შეესაბამება პროექტირების თანამედროვე დონეს, ეს მეთოდი ფართოდაა გამოყენებული ბევრ საზღვარგარეთულ ქვეყანაშიც.

მეთოდის შემდგომი განვითარება უნდა დაფუძნდეს ყველა კონსტრუქციისა და ნაგებობაში შემაჯავალი ელემენტებისათვის უსაფრთხოების ერთნაირი ფაქტორის მიღწევაზე.

2. არსებული ნორმატიული ბაზა სრულად არ პასუხობს პროექტირების თანამედროვე კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიურ მოთხოვნებს და ხელს უშლის სამამულო ხიდმშენებლობის მსოფლიო ბაზარზე გასვლას.

ნორმების სრულყოფა უნდა მოხდეს პროექტირების პროცესის მაქსიმალური ავტომატიზების საფუძველზე მის ყველა სტადიაზე.

კონსტრუქციებსა და ტექნოლოგიებს შორის ერთიერთკავშირის ამადლება;

მაღალი არქიტექტორული, ეკოლოგიური და საექსპლუატაციო მოთხოვნების უზრუნველყოფა და მშენებლობის ვადის დაცვა.

3. დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად დღეისათვის აუცილებელია რიგი ძირითადი დებულებების გადახედვა:

- შეიზღუდოს ხიდებზე ისეთი კომუნიკაციების გატარება, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებს მათ საექსპლუატაციო საიმედოობაზე.

- ავტოსატრანსპორტო საშუალებებისაგან დროებითი დატვირთვის სიდიდე (AK) ავიყვანოთ ევროკოდების პროექტით რეკომენდებულ ევროპის რიგ ქვეყნებში ხიდების დაპროექტებისათვის მიღებული ნორმების დონემდე.

4. ნორმატიული ბაზის გაზრდილი დონის საფუძველზე საჭიროა დაენერგოთ ახალი კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებები.

5. აუცილებელია დავაჩქაროთ სამეცნიერო-კვლევითი და საცდელ-ექსპერიმენტალური სამუშაოების ჩატარება წინასწარ დადაბული ავტოსაგზაო და საქალაქო მაღის ნაშენების მაღალი

დეფორმირებულობის მიზეზის დასადგენად ექსპლუატაციის მოელი პერიოდის განმავლობაში.

6. ერთიანი მიდგომის საფუძველზე უნდა დამუშავდეს სხვადასხვა სახის ტრანსპორტის სამოძრაო ხიდების ექსპლუატაციის წესები.

7. ნორმებში შეიძლება რეგლამენტირებული იყოს პროექტირების ზოგიერთი ძირითადი საწყისი მონაცემი, გამოირიცხოს ადგილობრივი ხასიათის მოთხოვნები, შევიტანოთ საინფორმაციო განყოფილებაში, რაც შეამსუბუქებს დამპროექტებლების მუშაობას.

8. აუცილებელია შესაბამისი სამსახურები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ხიდების დაპროექტებისა და მშენებლობის სამამულო და საზღვარგარეთული გამოცდილების დაგროვებასა და განზოგადობას.

1.3. ხიდმშენებლობაში საიმედოობის თეორიის ამოცანათა გამოყენების კორექტულობა

სისტემური ანალიზის ეფექტურ ინსტრუმენტს წარმოადგენს ალბათობის თეორიის, მათემატიკური სტატისტიკისა და საიმედოობის თეორიის მეთოდების გამოყენება.

რადგანაც ხიდურ ნაგებობებზე პრაქტიკულად ყველა შემოქმედება, კონსტრუქციებში მიმდინარე დეგრადაციული პროცესები შემთხვევითი ბუნების მატარებლები არიან, ხიდური კონსტრუქციების გამოკვლევის ალბათური მეთოდები და საიმედოობის თეორიის პოზიციებიდან ნორმირება სრულიად აუცილებელია. ამ მეთოდების განვითარება როგორც ჩვენს ქვეყანაში, ისე საზღვარგარეთ განსაკუთრებით XX საუკუნეში მიმდინარეობდა. სამამულო მეცნიერებიდან აღსანიშნავია მ.კობახიძის, კ.ზაფრიევის, გ.ქარცივაძის, გ.კიზირიას და ი.ბიუსის შრომები. რუსეთის მეცნიერებიდან აღსანიშნავია ვ.ბოლოტინის, ა.რუხანიცკის, ნ.სტრელეცკი, ვ.ოსიპოვის, ს.ცერნატისა და სხვათა გამოკვლევები. ევროპელი მეცნიერებიდან პირველ რიგში უნდა აღვნიშნოთ ჯონსონის, რეინდენტალის, ჰენრის, ვეზიკარის, მორის, შპეტისა და იაპონელი შინოზის შრომები.

ნებისმიერი ნაგებობების დაპროექტების მთავარი ამოცანაა მისი სიმტკიცისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის საკითხების გადაწყვეტა.

კონსტრუქციის სიმტკიცე და სიხისტე წარმოადგენს საიმედოობის ერთ-ერთ ასპექტს.

საიმედოობის თეორია, როგორც მეცნიერების დამოუკიდებელი მიმართულება ჩამოყალიბდა გასული საუკუნის 50-იან წლებში გამოთვლითი ტექნიკის, რადიოელექტრონიკისა და რაკეტმშენებლობის განვითარებასთან ერთად, მაგრამ პირველი შრომები საიმედოობის თეორიაში ნ. სოციალოვიჩმა და ნ. სტრელიუკმა გამოაქვეყნეს სამშენებლო მექანიკის დარგში, როდესაც წამოაყენეს პრინციპულად ახალი კონცეფცია ნაგებობის საიმედოობის შეფასებისადმი, რომელიც მოითხოვდა კონსტრუქციის მარაგის შესახებ მეთოდის ძირფესვიან გადახედვას.

ინჟინრისათვის მეტად მნიშვნელოვანია მოვლენის რაოდენობრივი მაჩვენებელი, მაგრამ როგორც კი შევეცდებით საიმედოობის რაოდენობრივად შეფასებას, მაშინვე აუცილებელი ხდება მისი ალბათური პოზიციებიდან შეფასება.

მიემართოთ სიმტკიცის შეფასების კარგად ცნობილ, დასაშვები ძაბვების მეთოდს, რომლის თანახმადაც მყიფე მასალებისათვის [13, 14, 22, 23]:

$$[\sigma] \leq \sigma_{\text{მოქ}} \quad (1)$$

სადაც $[\sigma]$ დასაშვები ძაბვაა;

$\sigma_{\text{მოქ}}$ – სიმტკიცის ზღვარი;

n – მარაგის კოეფიციენტი.

მარაგის კოეფიციენტის შემოყვანა დასაბუთებულია ექსპერიმენტულად განსაზღვრული სიმტკიცის ზღვრების გაფანტულობით, მოქმედი დატვირთვის ზუსტად დადგენის შეუძლებლობით, წარმოების დეფექტებით, მიღებული საანგარიშო სქემის უზუსტობით და ა.შ.

ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორები ალბათური, შემთხვევითი ხასიათისაა, ცხადია ანალოგიური სიტუაციაა სხვადასხვა მეთოდებშიც.

საიმედოობის თეორიაში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია მტყუნების ცნება, ანუ ხარისხის ნაწილობრივი ან სრული დაკარგვა. სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის ამ ცნებას შეესაბამება ზღვრული მდგომარეობა.

მტყუნების გამომწვევი მიზეზების უბრალო ანალიზითაც შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თითქმის ყველა მათგანი შემთხვევითი ფაქტორებითაა გამოწვეული. სწორედ ეს მოვლენა არის საიმედოობის თეორიის საფუძველი. ე.ბოლოტინის მიხედვით „სისტემის საიმედოობის ზომად მიღებულია შემთხვევითი ცდომილების ალბათობა, რაც გამოიხატება იმაში, რომ ექსპლუატაციის მთელი დადგენილი ვადის განმავლობაში არცერთი მტყუნება არ მოხდება“ [22, 23]. პროფესორი ე.ბოლოტინი მითითებულ წიგნში წერს: „ვღებულობთ შეკრულ წრეს, ინფორმაციის გარეშე არ შეიძლება თეორიის განვითარება, ხოლო თეორიის გარეშე შეუძლებელია ინფორმაციის დაგროვება“. ამ პრობლემის გადაწყვეტა არის თეორიის განვითარებისათვის პირველი რიგის ამოცანა.

ალბათური განსჯის საწინააღმდეგო მეორე დასკვნას სხვა ხასიათი აქვს და კონსერვატიულ მსჯელობაზეა აგებული. ამ დასკვნის მომხრეები ამტკიცებენ, რომ ალბათური დასკვნები მისაღებია მხოლოდ მასობრივი მოვლენებისადმი და ისეთი კონსტრუქციებისადმი, რომლებიც ერთნაირ პირობებში მუშაობენ. ამავე დროს შეფარულად ამტკიცებენ, რომ არ შეიძლება დავუშვათ კონსტრუქციის დანგრევის ალბათობა. სინამდვილეში, ერთ ეგზემპლარად დამზადებული კონსტრუქციისათვისაც კი არსებობს ექსპლუატაციის პერიოდში მისი მტყუნების ალბათობა.

ამრიგად, კონსტრუქციის სიმტკიცის უზრუნველყოფის ამოცანა არის საიმედოობის თეორიის ამოცანა და მხოლოდ ამ შემთხვევაში შეიძლება მისი კორექტულად, მეცნიერულად დასაბუთებული გადაწყვეტა.

1.4 ხიდური ნაგებობების მონიტორინგის საკითხების

ანალიზი

ხელოვნური ნაგებობების სფეროში, ცნება მონიტორინგი მოიაზრება, როგორც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში

განხორციელებული დაკვირვების პროცესი სპეციალური პროგრამით ხიდური კონსტრუქციების ფიზიკური და დაძაბული მდგომარეობის დამახასიათებელი პარამეტრების განუწყვეტელი ან პერიოდული გაზომვით.

მონიტორინგი მეტად ძვირი ღონისძიებაა, ამიტომ მისი გამოყენების გადაწყვეტილება და ჩატარების პროგრამა საფუძვლიანად უნდა იყოს დასაბუთებული და შეიცავდეს ყველაზე საჭირო მომენტებს.

განასხვავებენ მონიტორინგის ორ ძირითად სახეობას: მშენებლობის პროცესში და ექსპლუატაციის პერიოდში. მართალია, მათ სხვადასხვა მიზანი და ხასიათი აქვთ, მაგრამ იდეალურ შემთხვევაში სამშენებლო და ექსპლუატაციის მონიტორინგის პროგრამები ურთიერთდაკავშირებული უნდა იყოს.

ხიდური კონსტრუქციების უფრო ფართო და ღრმა გამოკვლევების აუცილებლობა მოითხოვს გამზომი ბაზის შესაბამის განვითარებას. ეს განვითარება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ხიდსაცდელ ლაბორატორიაში სამი მიმართულებით მიმდინარეობს:

პირველი მიმართულება, ნატურული და ლაბორატორიული კვლევების სპექტრის გაფართოება მასალებისა და კონსტრუქციების ფიზიკური მდგომარეობის გამოკვლევაში სისტემური მიდგომა გეთავაზობს სხვადასხვა პარამეტრების ურთიერთდამოკიდებულების შესწავლასა და განზოგადებას.

მეორე მიმართულება ორიენტირებულია გაზომვის ელექტრონულ საშუალებებზე გადასვლაზე, რაც საშუალებას მოგვცემს, მივიღოთ ინფორმაციის დიდი მოცულობა, ხოლო ეს ინფორმაცია დავაგროვოთ და დავაკავშიროთ კომპიუტერული ტექნიკის საშუალებით.

მესამე მიმართულებით შემოთავაზებულია გამომთვლელი მანქანების პროგრამული უზრუნველყოფა ნატურული გაზომვის შედეგების დამუშავებისათვის, დეფორმაციისა და ძაბვების გაზომილი და გამოთვლილი სიდიდეების შედარებისათვის, შედეგების მიხედვით დასკვნების გრაფიკულ ფორმატში წარმოდგენისათვის და ა.შ., ანუ კამერალური სამუშაოების მაქსიმალური მექანიზაცია და ავტომატიზაცია.

ხიდების ლაბორატორიაში მუშავდება კომპიუტერული გამზომი სისტემა, რომელსაც შემდეგი უპირატესობა ექნება:

1. გამოსაცდელი კონსტრუქციის დამახასიათებელი სიდიდეების გაზომვის მაღალი სიზუსტე ორიგინალური კონსტრუქციის სტაბილური ელექტრონული გადამწოდების გამოყენებით, რომელთა სხვადასხვა მოდიფიკაცია საშუალებას მოგვცემს საიმედოდ გაგზომოთ ძაბვები, ღუნვები და დავარეგისტრიროთ დინამიური დატვირთვისაგან გამოწვეული ხიდის ელემენტების რხევები;
2. დროის ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში გამოცდის პროცესში ინფორმაციის დიდი მოცულობის დაფიქსირების შესაძლებლობა;
3. დასახული ინტერვალებით კონსტრუქციის დეფორმაციისა და დამტვირთავი ძალების პრაქტიკულად სინქრონული ჩაწერა;
4. გაზომვის მონაცემთა ჩანაწერებით ნებისმიერ მომენტში კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობის ანალიზის შესაძლებლობა, როგორც სავსე პირობებში, ისე ექსპერიმენტის დამთავრების შემდეგაც.

ამ სტრატეგიის გამოყენებისას ოპტიმიზაციის ელემენტს წარმოადგენს მარშრუტზე დისპენერული ზემოქმედების პერიოდი.

მარშრუტის მუშაობის დისპენერული მართვის კონტურში იმიტაციური მოდელირების მეთოდის გამოყენებით ნათლად შეგვიძლია ვაჩვენოთ ასეთი კვლევების შემდგომი პერსპექტივებიც. ნატურული ექსპერიმენტის გამორიცხვით მიიღწევა არამარტო თეორიული დაშვების აპრობაცია, არამედ დროისა და მატერიალური რესურსების მნიშვნელოვანი ეკონომიაც.

2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. კვლევის წარმოების ძირითადი მეთოდოლოგია სისტემური პრინციპების მეთოდის გამოყენებით

სისტემური მიდგომის ან მისი ფორმალიზებული ინტერპრეტაციის სისტემურ ანალიზს აქვს ფილოსოფიური ფესვები. იგი გამომდინარეობს ადამიანის მიერ ბუნების წარმოდგენიდან (აღქმიდან), ადამიანისა და ბუნების ურთიერთდამოკიდებულებიდან, ადამიანის აზროვნებისა და მატერიალურ სამყაროს შორის კავშირიდან. დღეისათვის სისტემური ანალიზი არის მეცნიერების ერთ-ერთი დარგი, შეისწავლის კვლევის მეთოდოლოგიას, სხვადასხვა ობიექტის მართვისათვის, რომლებიც შეიძლება განვიხილოთ, როგორც სისტემები.

თეორიული დასაბუთებისა და სისტემური მიდგომის ანალიზზე არსებობს უამრავი ლიტერატურა, რომელთა ჩამოთვლაც ამ ეტაპზე არ მიგვაჩნია საჭიროდ, მოვიყვანო მხოლოდ ფ.ი.პერეგუდოვას [28], ფ.პ.ტარასენკოს და დ.ჟ. კლირას [24] მონოგრაფიებს, რომლებშიც, ჩვენი აზრით, საკმაოდ ფართოდ არის წარმოდგენილი სისტემური ანალიზის საფუძვლები და შედის მრავალრიცხოვანი ბიბლიოგრაფია. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ სისტემოლოგიის და სისტემოტექნიკის სფეროში არსებობს ტერმინთა მრავალი ვარიანტი, ამოვირჩიოთ მათგან უფრო მარტივი და ჩვენს სამუშაოს მიზანთან ადეკვატური. ამისთვის გამოვიყენებთ სამშენებლო ობიექტების და განსაკუთრებით სატრანსპორტო მშენებლობის ობიექტების კვლევას. ამ უკანასკნელის სისტემური მიდგომის ინტერპრეტაცია მოგვცა ტ.მ.დ. ა.ა.ცერნანტმა [37, 38]. ასე რომ [36] თანახმად სისტემად მიიჩნევა ორგანიზებული მიზანმიმართული სიმრავლე, რომელიც წარმოადგენს ერთ მთლიანს, შედგება ცალკეული, გარკვეულად ერთმანეთთან დაკავშირებული ელემენტებისაგან, რომელთაგან თითოეულს შეუძლია სხვაზე ზემოქმედება. სისტემის ელემენტებიც ასევე შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ცალკეული სისტემები, ანუ ქვესისტემები.

სისტემური მიდგომის პრინციპებში იგულისხმება როგორც სუფთა თეორიულ-სამეცნიერო საკითხები (მაგ. მათემატიკური ფიზიკის

ელემენტები), ასევე მატერიალურ სამყაროსთან დაკავშირებული საკითხები, საზოგადოებრივი ურთიერთობები, მართვის ამოცანები და სხვა.

სისტემების დამახასიათებელი ნიშნებია:

- მთლიანობა – მასში შემავალი ელემენტები ერთობლივად ფუნქციონირებენ და თითოეული მათგანი მის რომელიმე თვისებას ასახავს.

- ავტონომიურობა – გარესამყაროსთან სისტემის დამოკიდებულების მოდელირება, როგორც დისკრეტული, ისე დისპერსიული ზემოქმედება გარე სამყაროსი და შემდგომ მათი ავტონომიური ურთიერთქმედება.

- სტრუქტურული - კავშირი ანუ სისტემის ცალკეული ელემენტების ურთიერთკავშირი და ურთიერთზემოქმედების არსებობა.

- ცალკეული ელემენტების კანონზომიერი ურთიერთდამოკიდებულება, რითაც სისტემა აღიქმება, როგორც ერთი მთლიანი.

- სტადიურობა – სისტემის ფუნქციონირების სხვადასხვა სტადიაზე მისი მოქმედების ასახვა.

ა. ცერნანტის განსაზღვრებით ადამიანის ინჟინრულ-სამშენებლო საქმიანობაში გვაქვს ბუნებრივ-ტექნოლოგიური სისტემები (ბტს), რომელიც შედგება ანთროპოგენული და ბუნებრივი კომპონენტებისაგან.

ბუნებრივ-ტექნოლოგიური სისტემები შეიძლება გამოკვლეულ იქნეს სამი პოზიციიდან:

1. სტრუქტურულ-იერარქიული ანალიზი.

- სტადიური ანალიზი, ანუ ობიექტის დათვალიერება ინვესტიციურ და არსებობის ყველა სტადიის ციკლზე.

ხილური ნაგებობები მთლიანად შეესაბამება ზემოთ განხილულ ბუნებრივ-ტექნოლოგიურ სისტემებს, სხვა ბ.ტ.ს-ებთან ფუნქციონირებად და ურთიერთდამოკიდებულებად.

ჩვენი კვლევის ამოცანიდან გამომდინარე, ამ სისტემის შემდგომი ასპექტებია საინტერესო:

- სივრცულ-მატერიალური, რომელიც შეიცავს დაგეგმარებას, კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიურ გადაწყვეტილებებს და ინფრასტრუქტურას. ძირითად ელემენტს ამ მასივიდან

წარმოადგენს პროექტი; CAIP-ს [17] განვითარებით შესაძლებელი გახდა საპროექტო გადაწყვეტილებების ოპტიმიზაცია.

- ფიზიკური, რომელიც ახასიათებს ექსპლუატაციის პროცესში კონსტრუქციის მდგომარეობას, მისი შემადგენელი მასალის ცვეთის ხარისხს და დარჩენილი რესურსის რაოდენობას. ამ დროს სისტემის მართვა ხორციელდება საექსპლუატაციო ღონისძიებებით.
- ფუნქციონალური, რომელიც ასახავს სისტემის ფუნქციონირების ხარისხს მოცემულ რეჟიმში. აქ მთავარ როლს თამაშობს შესაბამისი პარამეტრები.

ეს ასპექტები სინამდვილეში მჭიდროდ არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული.

ძირითადად პროექტირებისა და მშენებლობის ნორმებით განისაზღვრება საპროექტო გადაწყვეტილებები და საექსპლუატაციო პირობები. ამავდროულად ექსპლუატაციის მონიტორინგის ანალიზს ეფუძნება ნორმების შემდგომი დახვეწა, შეცვლა.

ნაშრომის თემატიკის პოზიციიდან – ხიდების ნორმირებული და ნატურული გამოკვლევებიდან კვლევის საგანი ხდება, ხიდების ნაგებობების სისტემური მართვის ფუნქციონალური და ფიზიკური ასპექტები. ნაშრომში სისტემური მიდგომა გამოიყენება, როგორც კვლევების მეთოდოლოგია და მისი ძირითადი პრინციპები შეიძლება შემდეგნაირად დავაკონკრეტოთ:

1) კომპლექსურობა გამომდინარეობს სამი მიმართულებიდან: უპირველესად მრავალჯაჭვიანი ამოცანის გადაწყვეტა. ნორმირების სტადიაში ესაა რამოდენიმე პარამეტრის ერთდროული ოპტიმიზაცია. ნატურული კვლევისას ესაა კონსტრუქციის ძირითადი მახასიათებლების კომპლექსური შეფასება.

მეორე – ესაა კონსტრუქციის საერთო მდგომარეობისა და მისი დატვირთვის ქვეშ მუშაობის მრავალჯერადი ანალიზი.

მესამე – კვლევის მეთოდების კომპლექსის გამოყენება ნორმირების ტექნიკურ-ეკონომიური ანალიზი, ვიზუალური და

ინსტრუმენტალური მეთოდები, გამოცდა, ნატურაში გამოკვლევის შეფასება გამოთვლებით.

2) ავტონომიურობა, ხიდის ნაგებობებისათვის ნორმების შემუშავებისას ის განიხილება, როგორც ცალკე სისტემა და მისი დამოკიდებულება გზის და სატრანსპორტო საშუალებების სახეზე მთლიანად მოდელირდება გზის ტექნიკური მახასიათებლებისა და სატრანსპორტო ნაკადის პარამეტრებით, რომელიც ხიდის ნაგებობებისათვის არის შიდა ფაქტორი. ნატურული კვლევებისას ცალკე სისტემად გვევლინება უკვე კონკრეტული ხიდი.

3) ნორმირებაზე გავლენის მქონე ფაქტორთა ურთიერთდამოკიდებულება, საპროექტო პარამეტრები და ნაგებობის ფაქტიური მდგომარეობა.

4) ფაქტორების იერარქია, ანუ ყველაზე მნიშვნელოვანი სამომხმარებლო თვისების გამორჩევა, როგორც შეიძლება იყოს ნორმირების პარამეტრები, ხიდის ნაგებობების ფიზიკური და დაბაბული დეფორმაციული მდგომარეობა და მათ შორის არსებული კავშირი, მისი საწყისი კვლევა და ოპტიმიზაცია მეორეხარისხოვანი ფაქტორების გაუთვალისწინებლად.

5) სტადიურობა, ე.ი. ხიდური ნაგებობის განხილვა, მისი სიცოცხლის ციკლის ყველა ეტაპზე. ნორმირებისას ესაა შორეულ პერსპექტივაში ტრანსპორტის ზემოქმედების შეფასება და გამოყენების ვადის ოპტიმიზაცია, ნატურაში კვლევისას კი ხიდის დაბერების დინამიკის შეფასება და მისი ხანმედევობისათვის არსებული რესურსი.

სისტემური ანალიზის ეფექტური ინსტრუმენტი არის ალბათური თეორიის მათემატიკური სტატისტიკის და საიმედოობის თეორიის მეთოდები. რამდენადაც ხიდის კონსტრუქციაზე მოქმედი ყველა დატვირთვა, მასალის თვისებები, კონტრუქციაში მიმდინარე დეგრადაციული პროცესები არის შემთხვევითი ხასიათის, ალბათობის თეორიის მეთოდებით ხიდის კვლევები, დაფუძნებული ნორმირებულ მოთხოვნებზე, საიმედოობის თეორიის პოზიციებით არის აუცილებლად შესასრულებელი.

განხილული მეთოდების განვითარება სამშენებლო კონსტრუქციების მიმართ განსაკუთრებით, ხიდური ნაგებობებისათვის, XX საუკუნეში განსაკუთრებით სწრაფი ტემპებით ხდებოდა

საზღვარგარეთის ქვეყნებში. ამ საკითხების ბიბლიოგრაფია ფართოდ არის აღწერილი მრავალ სტატიასა თუ მონოგრაფიაში, რომელთა ჩამოთვლას აქ არ მივიჩნევთ საჭიროდ, აღვნიშნავთ მხოლოდ ზოგიერთ მათგანს.

პირველ რიგში აღნიშვნის ღირსია სტრუქტურა [31, 32], რომელმაც წინა ასწლეულის 30-40 წლებში გამოავლინა და შემოგვთავაზა მისი შეფასების მეთოდები, ამ კვლევის საფუძველზე მან შეიმუშავა სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების ზღვრული მდგომარეობის მეთოდი. ეს იყო საკმაოდ დიდი წინგადადგმული ნაბიჯი ნორმატიული მასალების დახვეწისათვის და ნაგებობების გაანგარიშებაში, დასაშვები ძაბვების მეთოდში გამოყენებული ერთიანი მარაგის კოეფიციენტი დაშალა საიმედოობის დიფერენცირებულ კოეფიციენტებად დატვირთვებისათვის და მასალათა გამძლეობისათვის, რამაც საშუალება მოგვცა სტატისტიკური ანგარიშებით უფრო მეტად დასაბუთებული ყოფილიყო ამ კოეფიციენტების სიდიდე და კონსტრუქციის სიმტკიცის მარაგი.

ხიდმშენებლობაში ზღვრული მდგომარეობის მეთოდი ოფიციალურად სსრკ-ში მიღებული იქნა 1962 წ. (CH-200-62).

აქ უნდა აღინიშნოს ამ საქმეში გ.კ. ევგრაფოვისა და ნ.ბ. ლიალინის მნიშვნელოვანი წვლილი. სამშენებლო კონსტრუქციების საიმედოობის თეორიის განვითარებაში ასევე მნიშვნელოვანი წვლილი აქვთ შეტანილი ვ.ვ. ბოლოტინს და ა.პ. რუანიცინს. ვ. ბოლოტინმა შეიმუშავა ნაგებობათა საიმედოობის თეორიის საფუძველები, შემოგვთავაზა შემთხვევით დაზიანებათა დაგროვების პროცესების სტატისტიკური მოდელები, დაამუშავა სიმყიფით რღვევის თეორიის საფუძველები, ასევე გამოიკვლია სამშენებლო მექანიკის სხვა ბევრი ამოცანის გადაჭრის ხერხები და ნაგებობების ანგარიშის ძირითადი პრინციპები.

ერთ-ერთმა პირველმა ა.პ. რუანიცინმა საიმედოობის თეორიის პოზიციებიდან გააანალიზა დატვირთვის და მასალის გამძლეობის შემთხვევითი ხასიათი და შემოგვთავაზა მარაგის შეფასების კოეფიციენტის გამოთვლა შემდეგი ფორმულით:

$$\gamma = \frac{R - S}{\sigma \frac{2}{R} + \sigma \frac{2}{S}} \quad (2)$$

სადაც R და S არის სიმტკიცის და დატვირთვის საშუალო მნიშვნელობები.

$\sigma \frac{2}{R}$ და $\sigma \frac{2}{S}$ კი სიმტკიცისა და დატვირთვის საშუალო კვადრატული გადახრა.

γ - სიდიდე ტოლია სიმტკიცის რეზერვის $(R - S)$ -ის სტანდარტების სხვაობისა, მის საშუალო და საწყის სიდიდეებს შორის.

სწორედ ვ.ვ. ბოლოტინმა და ა.პ. რუნიცინმა მისცეს საიმედოობის თეორიის განვითარებას მძლავრი ბიძგი.

საზღვარგარეთის ქვეყნებში ამ მიმართულებით ხიდების მშენებლობაში ასევე მრავალი მეცნიერული ნაშრომი შეიქმნა.

ასე, მაგალითად, რუსეთში ლ.ი. იოსილევსკი, ა.ვ. ნოსარევა და ვ.ი. ჩირკოვა შექმნეს მრავალი სამეცნიერო შრომა ხიდების საიმედოობისა და ხანმედევობის განსაზღვრისათვის, მათ საკმაოდ ფართოდ განიხილეს მასალის გამძლეობის საკითხები, ბზარწარმოშობისა და ხანმედევობის შეფასება ამ პოზიციებიდან.

ჩვენ ნაშრომში ვცადეთ გამოგვეყენებინა ალბათობის თეორიის, მათემატიკური სტატისტიკის და საიმედოობის თეორიები.

2.2. ხიდმშენებლობაში საიმედოობის თეორიის ძირითადი ამოცანები

რაც უნდა დახვეწილი და მრავალი საჭირო საკითხის მომცველი იყოს ნორმატიული მასალა, ხიდის კონსტრუქციების პროექტირება არის პროცესი, რომელიც, თავის მხრივ, ეყრდნობა მასალის თვისებების ამოუწურავ შესაძლებლობებს და მეორეს მხრივ, მოქმედი დატვირთვის სიდიდეების სინამდვილესთან მიახლოებულ განსაზღვრას.

მხოლოდ სტატისტიკური თეორიის ალბათური პრინციპები გვაძლევს საშუალებას უმოკლესი გზით შევაფასოთ სინამდვილესთან მიახლოებული ობიექტების მდგომარეობა, ანალიზისათვის საჭირო

პარამეტრების მინიმალური რაოდენობით, ასევე რეალური ძალოვანი დატვირთვის სიდიდე და ობიექტის მასალების სავარაუდო სიმტკიცე (ა.დ. ლანდაუ, ე.მ. ლიფშიცი), რაც ასევე შეიძლება გამოვიყენოთ ხიდის კონსტრუირებისათვისაც.

ჩვენი ნაშრომის 1.3. თავში აღნიშნული გვაქვს, რომ ალბათობის თეორიის პრინციპების გამოყენებას ხიდმშენებლობის საიმედოობის თეორიაში ჰყავს როგორც მომხრეები, ისე მოწინააღმდეგეები. ამის გათვალისწინებით ჩვენს ნაშრომში შევეცადეთ კიდევ ერთხელ გაგვეანალიზებინა ალბათობის თეორიის პრინციპების საიმედოობის თეორიაში გამოყენების აუცილებლობა, ისეთ მცირესერიული და უნიკალური ნაგებობებისთვის, როგორცაა ხიდმშენებლობა.

თუკი ვლავარაკობთ მასიურად დამზადებულ ნაკეთობებზე, რომლებიც სტატიკურად საწინააღმდეგო პირობებში მუშაობენ, საიმედოობის თეორიის გამოყენება პრინციპულ სიძნელეებს არ გვიქმნის. საიმედოობის ინტერპრეტაცია შეიძლება დიდი ციფრების კანონის პრინციპიდან, მაგრამ მონაცემების შესაძლო სიდიდეები შეიძლება შევაფასოთ ექსპერიმენტალური გზით. საიმედოობის ნორმატიული მნიშვნელობა ასევე შეიძლება მივიღოთ მსჯელობით. მცირე სერიული კონსტრუქციისათვის ასეთი გზა მიუღებელია. მსჯელობა ალბათურ ხასიათზე მისაღებია მხოლოდ მასიურ მოვლენებისა და ნაკეთობებისათვის, რომლებიც მასიურად მზადდება კარგად პროგნოზირებულ ერთიან გარემოში და კარგად პროგნოზირებულ ერთიან გარემოში უხდებათ მუშაობა.

ზოგიერთი მეცნიერის აზრით მცირე სერიული ნაკეთობისათვის საიმედოობის თეორია მიუღებელია. ეს აზრი დამაჯერებლადაა უარყოფილი ბ. ბოლოტინის, პ. რუანიცკის და სხვა მეცნიერების ნაშრომებში.

დაპროექტებული კონსტრუქციის, მისი სამსახურის დადგენილ ვადაში საიმედო მუშაობა რჩება საიმედოობის განმსაზღვრელ ობიექტურ დონედ. იმ შემთხვევაში, თუ კონსტრუქციის რეალიზაცია ხდება ერთ ეგზემპლარად.

ეს საიმედოობა (U_T) შეიძლება შევადაროთ საიმედოობის ნორმატიულ სიდიდეს (U_n)-ს, რომელიც მიღებულია (ან

დასაბუთებულია) დაპროექტების პრაქტიკით და ექსპლუატაციაში გამოცდით.

$$U_T \geq U_n \quad (3)$$

მოსალოდნელი უარის ალბათური შეფასების მეორე დანიშნულებაა პროექტირებისას სხვადასხვა კონსტრუქციული ვარიანტის შედარება ხარისხის სხვადასხვა მაჩვენებლების მიხედვით.

მეორე მთავარი საკითხია – საიმედოობის ნორმატიული მნიშვნელობის U_n (მინიმალური დასაშვები მნიშვნელობის) შერჩევა და დასაბუთება. საერთოდ კონსტრუქციის საიმედოობა ეს არის დროის ფუნქცია. საიმედოობის მიმართ მოთხოვნები დროთა განმავლობაში შეიძლება შეიცვალოს. დღეისათვის მეცნიერულად ძნელია საიმედოობის ნორმატიული სიდიდე პერსპექტივის გათვალისწინებით დასაბუთებულად განისაზღვროს.

ამ თავში გვაქვს მცდელობა, შევიმუშაოთ კონსტრუქციაში დეფორმაციების დაგროვებისა და დაზიანებათა საანგარიშო პროგნოზირების მეთოდი და მისი სიმტკიცის რესურსის შემცირება, როგორც დროის ფუნქცია.

საკმაოდ დამარწმუნებელი შედეგი შეიძლება მივიღოთ, თუკი საიმედოობის პირობები შეიძლება განისაზღვროს წინასწარ შერჩეული დროებისათვის $t_1, t_2 \dots t_n$. როგორც გამოცდილებამ გვიჩვენა, შეიძლება საიმედოობის ნორმატიულ სიდიდედ მივიჩნიოთ ექსპლუატაცია $U_{n(0)}$ და ექსპლუატაციის ბოლოს $U_{n(T)}$.

2.3. ხიდის კონსტრუქციების ფაქტიური რესურსები და მათი პროგნოზირება

ამა თუ იმ ნაგებობათა მახასიათებლები განისაზღვრება იმ მოთხოვნათა დონით, რომლებსაც იგი უნდა აკმაყოფილებდეს სამსახურის ხანგრძლივობისა და ექსპლუატაციური თვისებების მხრივ. ხიდის სამსახურის ხანგრძლივობა არის ერთ-ერთი უნივერსალური მახასიათებელი ნაგებობისათვის. ამისათვის საჭიროა ხიდის მასალის სწორი შერჩევა, გარეთა ზედაპირების ყინვამედეგობის უზრუნველყოფა.

მოითხოვება აგრეთვე ხიდის შენახვისა და მომსახურების სიადვილე-საექსპლუატაციო პირობების დაცვა და მისი სამსახურის ხანგრძლივობა დღევანდლამდე არსებულ ნორმატიულ მასალებში არ არის ნორმირებული.

არსებულ ნორმებში რკინაბეტონის კონსტრუქციების რესურსის დასათვლელი საანგარიშო ფორმულები არ არის რეგლამენტირებული.

პროექტირების სტადიაში კონსტრუქციის სამსახურის რესურსი ჩადებულია უტოლობაში, სადაც კონსტრუქციაში დატვირთვით მიღებული შიდა ძალები ნაკლებია იმ ძალებზე, რომლებიც იწვევენ კონსტრუქციის ზღვრულ მდგომარეობაში გადასვლას.

რუსეთის ახალ ნორმებში СНиП, ნორმირებულია ხიდის ზოგიერთი კონსტრუქციისათვის სამსახურის რესურსი. ნაგულისხმევია ხიდის ძირითადი კონსტრუქციები. გაანგარიშებაში ჩადებულია ისეთი მარაგი, რომ მისი სამსახურის ვადა არ იყოს 80-100 წელზე ნაკლები.

ამ მოსაზრებას ადასტურებს მრავალი არსებული ხიდი, რომლებიც აგებულია წინა საუკუნის 30-40-იან წლებში და დღესაც ფუნქციონირებს. თუმცა ბოლო პერიოდში დასავლეთის მთელ რიგ განვითარებულ ქვეყნებში შეიმჩნევა ხიდების მალის ნაშენებში სახიფათო დაზიანებების მატება, რაც გამოწვეულია ძირითადად ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობისა და სატრანსპორტო საშუალებების ტვირთამწეობის სწრაფი ზრდით. მონაცემების [22, 23] მიხედვით, მაგ. აშშ-ში ხიდის რკინაბეტონის კონსტრუქციების სამსახურის ვადა შემცირებულია 35 წლამდე; არსებული ხიდების 80% მოითხოვს სხვადასხვა სახის შეკეთებას. სამწუხაროდ, ამ მხრივ ჩვენს ქვეყანაში მდგომარეობა გაცილებით უარესადაა.

მოვიყვანო პრესის პუბლიკაციიდან ზოგიერთ ამონარიდს საქართველოს ხიდების მდგომარეობის და მათი რესურსების შესახებ.

კვირის პალიტრა 4-10 დეკემბერი, 2006წ. - „განსაკუთრებით მძიმე მდგომარეობაშია დიდმურას, ბარათაშვილის და ვახუშტის ხიდები“.

გაზეთი 24 საათი, 7 მარტი 2008 წელი – ნინო ლალიძის პუბლიკაცია;

საქართველოს რესპუბლიკა 16 მარტი 2007 წ. - „ავადმყოფი ხიდები – ნებისმიერ ნაგებობას მანამდე უნდა მიხედვა, ვიდრე დაინგრევა“.

კვირის პალიტრა 12-18 მაისი 2008 წ. „თბილისი-სენაკი
ლესელიძის საავტომობილო გზაზე მდინარე ლიახვზე გადებული ხიდი
ჩაინგრა“.

არსებული მდგომარეობის გამოსასწორებლად საქართველოს
ტექნიკური უნივერსიტეტის ხიდსაცდელ სადგურს საჭიროდ მიაჩნია
არსებული ურთიერთგამომრიცხავი ჰიდრაულიკური გაანგარიშების
მეთოდის გადასინჯვა და ხიდების ექსპლუატაციაზე ოპერატიული
მართვის დაწესება მსოფლიოში არსებული ერთ-ერთი თანამედროვე
სისტემის მიხედვით. ამ საკითხის შესახებ ჩვენი ბოლო პუბლიკაცია
გახლდათ ჟურნალ მეცნიერება და ტექნოლოგიებში სათაურით –
თბილისის ხიდები მართვის სისტემის მოლოდინში (№1-3, 2009 წ.).

მაგრამ, ეს პუბლიკაციები დარჩა „ხმად მღალადებლისა უდაბნოსა
შინა“ და შედეგმაც არ დააყოვნა.

მდ. გლდანულას ხეობაში მოსულმა სეტყვამ და ინტენსიურმა
თავსხმა წვიმამ დაანგრია მდ. გლდანულაზე არსებული კუსტარული
ხიდები და სხვა ნაგებობები, მათი შემადგენელი ნაწილებით ჩაიხვეტა
(გადაკეტა) თბილისის შემოვლითი საავტომობილო გზის ხიდი-
ესტაკადის ქვეშ არსებული, საყოფაცხოვრებო ნაგვით ისედაც,
შევიწროებული ხვრეტი. რის გამოც, მოვარდნილი ნაკადი მლიანად
მიმართული იქნა 5-6 მ სიგანის კალაპოტში, ხვრეტის დავიწროვების
გამო ნაკადის სიჩქარე და ფსკერის წარეცხვის სიღრმე მნიშვნელოვნად
გაიზარდა და გასცდა ხიდის ბურჯების საძირკვლის ჩაღრმავებას.
ფსკერგამოცლილმა შუალედმა ბურჯმა დაკარგა მდგრადი
მდგომარეობა, გადაყირავდა და დაინგრა. ბურჯთან ერთად დაინგრა
მასზე მოთავსებული ორი 24 მ სიგრძის რკინაბეტონის მილის ნაშენიც.

ბუნებრივია, იბადება კითხვა: კიდევ რამდენი ხიდი უნდა
გამოგვეცალოს ფეხქვეშ, რომ ხიდების ცვენას მოჰყვეს ისეთი სწრაფი
რეაქცია, როგორც ეს მოხდა ამერიკაში, როცა 1967 წელს პიკის
საათებში დაინგრა დიდი ხიდი სილვა-ბრიჯი დასავლეთ ვირჯინიაში,
რის შედეგადაც დაიღუპა 46 ადამიანი. ამ კატასტროფის შედეგად
ამერიკის კონგრესმა მიმართა ტრანსპორტის მინისტრს მოთხოვნით
ხიდების ინსპექტირების ეროვნული სტანდარტის დამუშავებისა და
დანგრევის შესახებ (ლაპარაკია №1BIS სტანდარტზე). ეს საკანონმდებლო

ინიციატივა გახდა საფუძველი ხიდების მართვისა და ინსპექტირების ახალი სისტემის შექმნისა.

თუ, ამერიკის შეერთებულ შტატებში გათვითცნობიერებულია სახელმწიფოს კეთილდღეობის დამოკიდებულება გზების და სატრანსპორტო ნაგებობების, მათ შორის ხიდების მდგომარეობაზე, ჩვენს საზოგადოებაში (მხედველობაში არ გვყავს დარგის სპეციალისტები) დამკვიდრებულია მცდარი შეხედულება, რომ ხიდები, ტრანსპორტის „სამუდამოდ ჯანსაღი“ ობიექტებია, რომლებიც პრაქტიკულად არ საჭიროებს გამაჯანსაღებელ სარემონტო სამუშაოებს.

როგორ ავიცილოთ თავიდან ხიდების „ცვენა“

ქვეყანაში ხელოვნური ნაგებობების ნორმალური ექსპლუატაციის უზრუნველყოფის პრობლემის გათვალისწინებით მიზანშეწონილად და სასიცოცხლო მნიშვნელობის საკითხად მიგვაჩნია საგზაო სამსახურის მუშაობის ძირფესვიანი გარდაქმნა.

საქალაქო ხელოვნური ნაგებობების სავალალო მდგომარეობა გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ საბჭოთა პერიოდში ხიდების ზედამხედველობის სისტემა ვერ უზრუნველყოფდა ობიექტზე ორიენტირებული სარემონტო სამუშაოების ოპტიმალური დაგეგმვისათვის საჭირო ინფორმაციის დროულ შეგროვებასა და დამუშავებას. პოსტსაბჭოურ პერიოდში სიტუაცია კიდევ უფრო გართულდა ფინანსების კატასტროფული დეფიციტისა და საქალაქო სამსახურების მუშაობის დეზორგანიზაციის გამო.

საბჭოთა კავშირის დროს არსებული ზედამხედველობის სისტემა, რომელიც არაპრინციპული ცვლილებებით დღესაც ძალაშია. საჭიროებდა უმაღლესი კვალიფიკაციის სპეციალისტების ჩართვას და შრომატევადი გამოკვლევებისა და გამოცდების ჩატარებას. ამავდროულად აუცილებელი იყო დეფექტებისა და საექსპლუატაციო მახასიათებლების გაუარესების შესახებ ინფორმაციის დროული და მიზნობრივი მოპოვება, რაც მნიშვნელოვნად აძვირებდა ხიდების მოვლა-შენახვის ხარჯს, ხოლო ნაგებობების ავარიულობის შემცირების ამოცანის რეალიზაცია ნაკლებეფექტური იყო.

არსებული მდგომარეობის გამოსასწორებლად საჭიროა ხიდების მდგომარეობაზე სისტემატური ზედამხედველობა მსოფლიოში

არსებული სისტემების ანალოგიურად (Ponts, RAMBRO, BRIDGIT, MONSTR, CYM და ა.შ.), უნდა დამუშავდეს ამგვარი სისტემა რეგიონის თავისებურების გათვალისწინებით.

სტანდარტული ინსპექცია არის ტექნიკური მეთვალყურეობის ეფექტური განხორციელების, ნაგებობის მდგომარეობის წინასწარი განჭკერებისა და კონტროლის ხარისხის ამაღლების საშუალება.

კონკრეტული კონსტრუქციების საიმედოობისა და ხანგამძლეობის გამოკვლევა, ხიდისა და მისი ელემენტების მდგომარეობის ცვლილებების ანალიზი, ხიდების მართვის თანამედროვე საზღვარგარეთული გამოცდილების შესწავლა, ამ გამოცდილებისა და შესაბამისი კვლევის შედეგების გათვალისწინებით სათანადო კონცეფციის შემუშავება საჭიროებს შემდეგი ხუთი საპროგრამო ღონისძიების რეალიზაციას:

1. ხიდების მონაცემთა სათანადო ბაზის შექმნა და მოდერნიზაცია;
2. ინფორმაციის შეგროვებისა და დამუშავების ორგანიზაციისა და ტექნოლოგიის სრულყოფა;
3. ხიდებისა და სხვა ხელოვნური ნაგებობების მოვლა-შენახვისა და სარემონტო სამუშაოების სრულყოფა;
4. ხიდებისა და სხვა ხელოვნური ნაგებობების მშენებლობის, მოვლა-შენახვის, შეკეთების და რეკონსტრუქციის სამუშაოების ხარისხის კონტროლისა და სამუშაოთა ორგანიზაციის შემუშავება და პრაქტიკაში დანერგვა;
5. ხიდების მართვის სისტემის შესაბამისი ნორმატიული ბაზის შექმნა.

ხიდების მართვის სისტემის დამუშავებასთან ერთად სასწრაფოდ უნდა შეგროვდეს სტატისტიკური მონაცემები ქვეყანაში ხიდების ავარიების შესახებ, რათა გამოვლინდეს ხიდების ავარიების გავრცელებული მიზეზი და დაისახოს მისი აღმოფხვრის ღონისძიებები.

- ვინაიდან საქართველოში ასეთი მონაცემები არ არსებობს, საინტერესოდ მიგვაჩნია ამერიკის შეერთებული შტატების ტრანსპორტის სამინისტროს (NYSDOT) მონაცემები, რომელმაც 1950-1988 წლების პერიოდში დაარეგისტრირა ხიდების 823 აგარია, მათ შორის:

- 494 (60%) – ჰიდრაულიკური მიზეზით, ე.ი. საყრდენისა (ბურჯის) და მისასვლელი ყრილის კონუსის გამორეცხვის გამო;

- 108 (≈13%) – უბედური შემთხვევის გამო (მაგალითად, ხომალდის დაჯახება ხიდის ბურჯზე);

- 84 (10%) – ხიდის მასალის ბუნებრივი დაძველების შედეგად;

- 24 (≈3%) – ხანძრის შედეგად;

- 34 (≈3%) – ხიდის კონსტრუქციის მასალის ცვეთის გამო;

- 14 (≈2%) – მიწისძვრის შედეგად;

- 39 (≈5%) – სხვადასხვა მიზეზის გამო.

ამრიგად, ხიდების აგარიების უმეტესი პირველადი მიზეზია (60%) უკვე პროექტირების სტადიაზე ხიდის ქვეშ არსებული კალაპოტის დეფორმაციის გაუთვალისწინებლობა ან არასწორი შეცდომითი პროგნოზი, რაც განაპირობებს ბურჯების ფუნდამენტის გამორეცხვას, მათი მდგრადობის დაკარგვას (გადახრას) და შემდგომში ხიდის მალის ნაშენის ნგრევას.

როგორც მსოფლიო პრაქტიკა გვიჩვენებს, ხიდის ბურჯების საძირკვლების გამორეცხვისაგან ტრადიციული მეთოდებით დაცვა (ქვაყრილი, გაბიონები, ფილებით გამაგრება და სხვა) მხოლოდ ამცირებს ხიდის ბურჯების წარეცხვის ტემპს და არ იცავს მათ გამორეცხვისაგან.

ხიდური გადასასვლელების მრავალწლიანი ექსპლუატაცია გვიჩვენებს, რომ საერთო წარეცხვასთან ერთად ხიდის ქვეშ, ბურჯებთან ვითარდება კალაპოტის ლოკალური დეფორმაციები – იზრდება ადგილობრივი წარეცხვა.

შუალედურ ბურჯებთან ადგილობრივი ჩაღრმავებები, რომლებიც აღემატებიან ხიდქვეშა კალაპოტის გაანგარიშებულ წარეცხვას, ხშირად ამცირებენ ბურჯის ფუძის მზიდუნარიანობას, რაც განაპირობებს მისი მდგრადობის დაკარგვას.

ამ გარემოებას უნდა მიექცეს განსაკუთრებული ყურადღება და ხიდურ გადასასვლელებთან ადგილობრივი წარეცხვა-ჩაღრმავების არსებობასთან ბრძოლას გადამწყვეტი როლი უნდა მიენიჭოს ხიდის ნორმალური ექსპლუატაციისათვის.

ამ მიმართულებით საჭიროა სასწრაფოდ გადამოწმდეს და საჭიროების შემთხვევაში დამუშავდეს შუალედურ ბურჯებთან წარეცხვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია, ბოლო ხანებში კლიმატური პირობების მკვეთრი ცვალებადობის გათვალისწინებით. გარდა ამისა, საჭიროა წარეცხვისაგან დაცვის არსებული ტრადიციული მეთოდების ხელახალი გაანალიზება და უფრო ეფექტური მეთოდოლოგიის შემუშავება.

ასევე, ერთ-ერთ მთავარ პირობად მიგვაჩნია, გამკაცრდეს კონტროლი არსებული ხიდების სიახლოვეს ქვიშა-ხრემის მომპოვებელი კარიერების არსებობაზე, აგრეთვე ისეთ ნაგებობებზე, რომლებიც შეჭრილი არიან კალაპოტში ან ნაკადს უცვლიან მიმართულებას.

ჩვენს მიერ ჩატარებულ კვლევაში ხიდების სამსახურის ხანგრძლივობის დამოკიდებულებაზე, მისი მოვლა-შენახვის ხარჯთან, გვიჩვენა, რომ მოვლა-შენახვის რაციონალური ხარჯის შემთხვევაში ხიდის ფიზიკური სამსახურის ხანგრძლივობა დაახლოებით 60 წლის ფარგლებშია.

მოქმედ ნორმატიულ დოკუმენტებში [29, 30] ხიდის ძირითადი კონსტრუქციების პროგნოზირებული რესურსი არის გათვალისწინებული. ხიდების ხანმდეგობის ნორმატიული ვადა (80 წელი) მიღებულია ყოველგვარი კონკრეტული და რეალური საექსპლუატაციო პირობების გათვალისწინებლად. ამის გამო შეუძლებელია მისი მოვლა-შენახვისათვის დაიგეგმოს სარემონტო-პროფილაქტიკურ სამუშაოებზე გაწეული საჭირო დანახარჯები მისი ექსპლუატაციის პერიოდში.

დაპროექტების ნორმებში ხიდების სამსახურის ხანგრძლივობის ნორმის არარსებობა არ ავალდებულებს დამპროექტებელს და მშენებელს ხიდის კონსტრუქციების ხანმდეგობის დაცვის აუცილებლობას. ამას ადასტურებს ნორმებით დადგენილი რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის დამცავი ფენის 2-3 სმ-ის სისქის მოთხოვნა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ნორმებში არასაკმარისად გათვალისწინებულმა, კონსტრუქციისათვის მოსალოდნელმა მორალურმა დაძველებამ შეიძლება დიდი ფინანსური დანახარჯები გამოიწვიოს. ასე, მაგ. 1944 წელს აშშ-ში მიიღეს მრავალმილიარდიანი პროგრამა არსებული დაბალი ნორმატიული დატვირთვების შეცვლასთან დაკავშირებით მთელი რიგი მორალურად მოძველებული სატრანსპორტო ნაგებობების რეკონსტრუქციისათვის, რადგან მოხდა ნორმატიული დატვირთვების 1.5-ჯერ გაზრდა (HS-30 S20-ის ნაცვლად).

2.4. საქართველოს პირობებისათვის რკინაბეტონის ხიდების პროექტირების ნორმების დამუშავების ასპექტები

ჩვენს მიერ აშშ, დიდ ბრიტანეთში, ჩინეთსა და სხვა ქვეყნებში ხიდების დაპროექტების საზღვარგარეთული ნორმების, აგრეთვე რკინაბეტონის კოჭური, უმეტესად წინასწარდაბული მალის ნაშენების დაპროექტების პრაქტიკის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამ ქვეყნების ნორმებში მასალების „კოლექტიური“ (ერთობლივი) მუშაობის ეფექტი გაანგარიშებებში გათვალისწინებულია საექსპლუატაციო დატვირთვის ქვეშ. ასეთი დასკვნა ადვილად შეინიშნება ნორმებით დადგენილი საანგარიშო წინაღობების ანალიზის დროს. მათი მნიშვნელობა მეტია ჩვენი ნორმების შესაბამის მახასიათებლებზე, თუმცა დატვირთვების დონე ახლოსაა ჩვენს ნორმატიულ ნორმებთან. მაგალითისთვის ცხრილებში 2 და 3 შედარებულია B40 კლასის ბეტონისა და მასთან ახლოს მდგომი დასავლური ნორმების მარკების ბეტონის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები, მოყვანილია აგრეთვე ჩვენი ნორმების B-11 (d=5მმ) ტიპის მაღალი სიმტკიცის მაგთულის შესაბამისი წინაღობები.

B40 კლასის ბეტონისა და მასთან ახლოს მდგომი დასავლური ნორმების მარკების ბეტონის ნორმატიული და საანგარიშო წინააღობები

ქვეყნების ნორმები	СНиП 2.05.03-84	СНиП	დიდი ბრიტანეთი	ჩინეთი ⁴⁾	აშშ ⁴⁾
მაჩვენებლები	სიმტკიცის აღნიშვნები				
	B40	B40	M50 ¹⁾	M49 ¹⁾	$f_c=432$ ²⁾
დერძული კუმშვა ნორმატიული, კგ/სმ ²	296	266	291	233	-
დერძული კუმშვა საანგარიშო, კგ/სმ ²	234	205	200 ⁵⁾	271	259
დერძული გაჭიმვა	14.3/21.4 ³⁾	13.0/21.5 ³⁾	-	24.7	12.7

- 1) 20×20×20სმ კუბების საშუალო სიმტკიცე МПа;
- 2) СНиП 2.05.03-84-ის მიხედვით B40 ბეტონის შესაბამისი ცილინდრული ნიმუშების საშუალო სიმტკიცე, კგ/სმ²;
- 3) მრიცხველში – ზღვრული მდგომარეობის პირველ ჯგუფში, მნიშვნელში – ზღვრული მდგომარეობის მეორე ჯგუფში.
- 4) ავტოსაგზაო ხიდების ნორმების მიხედვით.
- 5) პირობითი სიდიდე – ზღვრულ მდგომარეობაში საშუალო სიმტკიცე მოღუნული კოჭის კვეთის მთელ შეკუმშულ ნახევარზე.

მითითებული გარემოებებიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ დასავლეთის ქვეყნების რკინაბეტონის კონსტრუქციებში წინასწარდაძაბული არმატურის ხარჯი გაცილებით ნაკლებია. თ.ღინისა და ფ.კულკის მონაცემებით ამერიკის ავტოსაგზაო ხიდების კოჭებში მაღალი სიმტკიცის ფოლადის ხარჯი 1.5-2-ჯერ ნაკლებია ანალოგიურ სამამულო კონსტრუქციებთან შედარებით (იხ. ცხრილი 4). სავალი ნაწილის ფილები კი პირიქით, გაცილებით ძლიერადაა არმირებული, ვიდრე სამამულო კონსტრუქციის ფილები.

B-11 (d=5მმ) ტიპის მაღალი სიმტკიცის მავთულის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები

ქვეყნების ნორმები მაჩვენებლები	СНиП	СНиП	დიდი ბრიტანეთი	ჩინეთი ²⁾	აშშ ²⁾
დროებითი წინაღობა, კგ/სმ ²	17 000	17 000	16 500	16 300	16 500
დენადობის პირობითი ზღვარი (დეფორმაციის 0.2%), კგ/სმ ²	14 285	14 285	$f^3)$ (14 900)		$f^3)$ (15 000)
ნორმატიული წინაღობა	13 600	12 800	13 400	13 060	
საანგარიშო წინაღობა	11 300	10 100	0.8 f	11 300	0.81 f
წინასწარი ძაბვა, კონტროლირებადი	12 450	11 100	-	-	0.95 f

- 1) ცხრილში მოყვანილია მონაცემები B-11 ტიპის მავთულისათვის (d=5მმ).
- 2) ჩინეთისა და აშშ-ის მონაცემები ეხება მხოლოდ ავტოსაგზაო ხიდებს.
- 3) f_m და f_g - სიმტკიცის მახასიათებელი მნიშვნელობებია ($\alpha=0.95$) შესაბამისი სტანდარტის მიხედვით.

აშშ-ის ნორმებით [27] სიმტკიცეზე ჩვენი გაანგარიშების ანალოგიური (დატვირთვების დონისა და აზრის მიხედვით) გაანგარიშება უნდა მოვახდინოთ დრეკადი სისტემების ცენტრიდანულ კუმშვაზე მასალათა გამძლეობის ფორმულებით. ამ რეკომენდაციის ანალიზიდან შეიძლება გავაკეთოთ ერთადერთი დასკვნა: უტყუარადაა მიჩნეული ის ფაქტი, რომ თვით საგანგებო დონის საექსპლუატაციო დატვირთვის ქვეშაც კი პრაქტიკულად არასოდეს ხერხდება ზღვრული წონასწორობის მოდელის რალიზაცია.

მაგრამ, ბრიტანულ და ამერიკულ ნორმებში რეკომენდებულია შევაფასოთ კონსტრუქციის კვეთის ზღვრული მზიდუნარიანობა, თანაც

აღნიშნულია, რომ ასეთი შემოწმება უნდა გაკეთდეს ცალკე არმატურისთვის და ცალკე ბეტონისათვის. ცხადია, აქ გათვალისწინებულია ის გარემოება, რომ ბეტონსა და არმატურას დანგრევის წინ პრაქტიკულად არასოდეს აქვთ კრიტიკული მდგომარეობა „კოლექტიური“ მუშაობის სხვადასხვა პირობებისა და ამ მასალების სტატისტიკური თვისებების გამო. ამავე დროს ბრიტანულ ნორმებში (BS5400) დასაშვებია ზღვრული მომენტის შეფასებაში გამოვიყენოთ მართკუთხა ფორმის ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე „უკიდურეს“ ზღვრულ მდგომარეობაში კოჭის მთლიანი სიმაღლის 0.5-მდე. ამერიკულ ნორმებში რეკომენდებულია რკინაბეტონის კონსტრუქცია დავაპროექტოთ ისე, რომ ზღვრული დატვირთვის მიღწევისას არმატურა იყოს პლასტიკურ დინებაში. ამავე დროს მნიშვნელოვნადაა გამკაცრებული (ჩვენს ნორმებთან შედარებით) მოთხოვნები სავალი ნაწილის ფილების პროექტირების მიმართ (ფილის სისქის მინიმალური ზომა შემოიფარგლება 18-20 სმ-ით), მნიშვნელოვნადაა დადაბლებული არმატურისა და ბეტონის საანგარიშო წინაღობები, შემოდებულია მკაცრი მოთხოვნები ფილების ბეტონის ხარისხზე.

დასავლეთის ქვეყნების ნორმებში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კონსტრუქციის ბეტონში ბზარწარმოქმნის საანგარიშო კონტროლს. ფაქტიურად, ყველგან მეცნიერების უდიდეს მიღწევადაა აღიარებული ე.წ. „ნაწილობრივი (ოპტიმალური) მოჭიმვის“ პრინციპი. კერძოდ, დიდ ბრიტანეთსა და ჩინეთში ბზარწარმოქმნა კონტროლდება ბეტონის დასაშვები პირობითი გაჭიმვის მიხედვით. ეს ანგარიში განსაზღვრავს არმატურის წინასწარი გაჭიმვის აუცილებელ დონეს, ხოლო ხშირად მის რაოდენობასაც. ყველა საზღვარგარეთული ქვეყნის ნორმებში ბზარმედევობა, როგორც ზღვრული მდგომარეობა, არ ნორმირდება. კონტროლდება მხოლოდ ბზარის გახსნა, რომელიც სახიფათოა არმატურის კოროზიის პოზიციიდან და ასევე ამ დროს ბეტონსა და არმატურას შორის ძაბვების გადანაწილებით.

ბრიტანეთის საპროექტო ნორმებში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ბეტონის ხარისხს - ბეტონის მარკის აუცილებელ და საიმედო უზრუნველყოფას. ეს მოთხოვნები მოცემულია BS5400 ნორმების ორ

სპეციალურ ნაწილში. ამ ნორმების ტექნოლოგიური მოთხოვნების პასუხისმგებლობა ისევე მაღალია, როგორც საანგარიშო საიმედოობის ყველა მოთხოვნა.

ცხრილი 4

მაღალი სიმტკიცის ფოლადი რუსეთისა და აშშ-ს ავტოსაგზაო ხიდების კოჭებში

რუსეთის კონსტრუქციები			აშშ-ის კონსტრუქციები		
კვეთის ტიპი	მაღლები, მ	არმატურა კგ/მ ²	კვეთის ტიპი	მაღლები, მ	არმატურა კგ/მ ²
□	15.0	12.0	ფილოვანი, ჩარჩოვანი და წიბოვანი ქვედა გაფართოებით	15.25 (50)	4.6-5.6
T	24.0	16.0		22.9 (75)	7.5-8.5
T	33.6	21.0		30.5 (100)	10.4-11.8
				38.2 (125)	14.6-16.0

ჩვენს მიერ ნორმატიული მოთხოვნების არასრულად ჩატარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ აუცილებელია სამამულო ნორმატიული დოკუმენტების კორექტირება, რათა ხიდური ნაგებობების საიმედოობის დონის შეფასების სამამულო პოზიციები დავაახლოვოთ საზღვარგარეთის ქვეყნების ნორმებს. ასეთი მიდგომა საშუალებას მოგვცემს, უზრუნველყოთ ჩვენი ქვეყნის გზებზე დასავლეთის ქვეყნების საავტომობილო დატვირთვის შეზღუდვის გარეშე უსაფრთხოდ გატარება და პირიქით – ჩვენი დატვირთვის დასავლეთის ავტოგზებზე გატარება.

წარმოდგენილი წინადადებები საჭიროებს დეტალურ განხილვას. მათი რეალიზაცია საკმარისად სარწმუნო ალბათურ-სტატისტიკური დასაბუთების შემთხვევაში მოგვცემს შესაძლებლობას, ავამაღლოთ საიმედოობა, ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები და, როგორც შედეგი, ავამაღლოთ რკინაბეტონის ხიდური კონსტრუქციების კონკურენტუნარიანობა ფოლადის და ფოლადრკინაბეტონის კონსტრუქციების მიმართ.

ამ თავში ჩვენს მიერ განხილულია რკინაბეტონის კონსტრუქციების საიმედოობის მხოლოდ ერთი ასპექტი, რომელიც

დაკავშირებულია მათი პროექტირებისა და ექსპლუატაციის ნორმებთან. აუცილებელია ამ კონსტრუქციების საიმედოობისა და ხანმედევობის სხვა მნიშვნელოვანი პრობლემების ანალიზი.

2.5. ნატურული გამოკვლევების მონაცემების გამოყენებით რკინაბეტონის ხიდების ნარჩენი რესურსის შეფასების მეთოდика

2.5.1. გამოყენებული დეგრადაციული მოდელები

XX საუკუნის მეორე ნახევარში ხიდების მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პრაქტიკამ ნათლად გვიჩვენა შეუსაბამობა დაპროექტებისას განსაზღვრულ საექსპლუატაციო ვადასა (100 წელი) და ფაქტიური ხანმედევობას (30-40 წელი) შორის.

წინა საუკუნის 60-70-იან წლებში აშენებული ხიდების მალის ნაშენების უმრავლესობა ექვემდებარება რეკონსტრუქციას ან შეცვლას. მათი საექსპლუატაციო ვადის გახანგრძლივებისათვის აუცილებელია მათი რეგულარული შემოწმება, სერიოზული ინსტრუმენტალური დიაგნოსტიკა, კონსტრუქციაში მიმდინარე დეგრადაციული პროცესების გამოაშკარავება და პროგნოზირება, მათი ტვირთამწეობისა და ნარჩენი რესურსის შეფასება.

აღსანიშნავია, რომ ხიდის კონსტრუქციების ცვეთის პროცესი და მათზე მოქმედი სხვა ფაქტორები ფართოდ არის განხილული [1-6]. შესწავლილი ელემენტის არმატურისა და ბეტონის კვთების შემცირებისას გამოთვლებით შეიძლება დავამყაროთ კავშირი მის მზიდუნარიანობასთან [1-3].

თითოეულ ნაგებობაში მზიდუნარიანობის დაკარგვის პროცესის სიჩქარე არის შემთხვევითი ხასიათის, დამახასიათებელი მხოლოდ ამ ნაგებობისათვის.

ამიტომაც კონკრეტული ხიდის გამოკვლევის მიზანი არის მისი მოსალოდნელი ტვირთამწეობის შემცირების პროცესის პროგნოზირება და იმ მომენტის წინასწარი განსაზღვრა, როცა ხიდის ექსპლუატაციის რეჟიმი რისკს დაექვემდებარება.

ამისათვის აუცილებელია თანმიმდევრულად გადაწყვეტილი იქნას შემდეგი ამოცანები:

- გაზომვებით დადგინდეს დეგრადაციის პროცესების მახასიათებელი პარამეტრები ბეტონსა და არმატურაში გამოკვლევის მომენტში;
- თეორიული გათვლებით ავაგოთ დეგრადაციული პროცესების რეგრესიის ფუნქციები $t=0$ და $t_{გამოკ.}$ წერტილები;
- შევაფასოთ დეგრადაციული პროცესების შემთხვევითი ხასიათი როგორც რეტროსპექტივაში, ისე პერსპექტივაში;
- შეფასდეს ამ გრაფიკებით ხიდის კონსტრუქციებში კრიტიკული მომენტის დადგომის ვადა;

ამ ამოცანების გადაწყვეტა უნდა მოხდეს სისტემური მიდგომის მეთოდოლოგიის საფუძველზე, რომელიც ითვალისწინებს ყველა იმ ფაქტორთა კომპლექსს, მათ ურთიერთდამოკიდებულებაში, რომლებიც განსაზღვრავენ გამოსაკვლევი ელემენტის მზიდუნარიანობას.

რკინაბეტონის ხიდების კონსტრუქციების დაზიანებების სახეობებია:

მექანიკური დაზიანებები, რომლებიც არ მოქმედებენ კონსტრუქციის ტვირთამწეობის შემცირებაზე (ძირითადად ბეტონის მცირე ანახლეჩი), უნდა იქნეს ლიკვიდირებული უახლოეს სარემონტო სამუშაოების პერიოდში.

დაზიანებები, რომლებიც კონსტრუქციის ტვირთამწეობაზე მოქმედებს (როგორცაა მნიშვნელოვანი ანატკეჩები ბეტონში, რომლებიც საშიშროებას უქმნის ბეტონის და არმატურის ერთობას, მუშა არმატურის ან სხვა არმატურის წყვეტა, ღრმა ბზარები ბეტონში) უნდა იქნეს ლიკვიდირებული უახლოეს პერიოდში, პრობლემის აღმოფხვრამდე უნდა შეიზღუდოს ტრანსპორტისა და ფეხით მოსაიარულებთა მოძრაობა, ეს დაზიანებები კონსტრუქციის ხანმედევობის შეფასებისას შეიძლება არ იქნეს გათვალისწინებული.

ძალეებით გამოწვეული დაზიანებები რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ძირითადად ვლინდება ბზარების გაჩენით ან

არმატურის გადაღლით. ბზარები, რომელთა გახსნის სიდიდე (0.3 მმ-მდე) ნორმებითაა დაშვებული, არსებითად არ მოქმედებს ხანმედგობაზე. მათი უმნიშვნელო წვლილი კონსტრუქციის დეგრადაციის პროცესში მხოლოდ არმატურის კოროზიის პროცესის დაჩქარებით შეიძლება განვიხილოთ.

ბზარები, რომლებიც ნორმებით გათვალისწინებულ სიდიდეზე მეტია, უნდა იქნეს ლიკვიდირებული უახლოესი სარემონტო სამუშაოების პროცესში.

არმატურის გადაღლის პროცესი, როგორც წესი, აღინიშნება ექსპლუატაციიდან 50 და უფრო მეტი წლის შემდეგ, ამიტომ ხიდებისათვის, რომლებსაც აქვთ ხანმედგობის ვადა 50 წელზე ნაკლები, ასეთი დაზიანებები არ არის აქტუალური.

როცა ექსპლუატაციის ვადა გათვლილია 50 წელზე მეტი ხნით, არმატურის გადაღლით ნარჩენი რესურსის შესაფასებლად შეიძლება სპეციალური მეთოდის გამოყენება.

ტემპერატურისა და მზის რადიაციის გავლენა. ტემპერატურის გავლენით და მზის რადიაციით გამოწვეული ძალების იდენტიფიცირება პრაქტიკულად ძალიან ძნელია, რადგანაც მათი სიდიდის განსაზღვრა დამოკიდებულია მზის სხივების მიმართ ხიდის საორიენტაციო მდებარეობაზე, მიკროკლიმატზე და კიდევ უამრავ ფაქტორზე.

ყინვით გამოწვეული რღვევა ბეტონში. ბეტონის რღვევას იწვევს გაყინვა-გაღვლის მრავალჯერადი პროცესები, რაც გამოიხატება ბეტონის სტრუქტურაში გაჩენილი მიკრობზარებით, რომელიც თავის მხრივ ხელს უწყობს რა წყლის შეღწევას კონსტრუქციაში, ამით აჩქარებს ბეტონის კარბონიზაციას. გარდა ამისა, ამ დროს ხდება ბეტონის ზედაპირული შრეების დაშლა და არმატურის გაშიშვლება.

ყინვით ბეტონის რღვევის პროცესის ინტენსივობა დიდწილად დამოკიდებულია ბეტონის შემადგენელი მასალის თვისებებზე: მათ ყინვამედგობაზე, ქლორიდების შემცველობაზე და სხვა. შესაბამისად, ყინვით გამოწვეული დაზიანების ხარისხის შეფასება ხდება ბეტონის ფაქტიური სიმტკიცის მიხედვით, ქლორის იონების შემცველობით, ზედაპირული ბზარების, დაზიანებების არსებობით.

ბეტონის გამოტუტვა არის ბეტონის დეგრადაციის სახე, რომელსაც იწვევს ბზარებსა და ნაპრალებიდან შეღწეული წყლის მეშვეობით კირის გამოტანა, რაც იწვევს სიმტკიცის შემცირებას. ბუნებრივია, ამას ხელს უწყობს უხვი ატმოსფერული ნალექი და ტექნოლოგიური პროცესების დროს ნესტის დიდი რაოდენობა.

არმატურის კოროზია მიმდინარეობს ლითონის ზედაპირის უანგვის ხარჯზე, რის დროსაც უანგვის პროდუქტები, რომელთა მოცულობა 2.5-ჯერ აღემატება საწყისი ლითონის მოცულობას, იწვევენ გარემომცველ ბეტონში გაუთვალისწინებელი გამჭიმავი ძაბვების წარმოქმნას, რასაც მოსდევს ბეტონის დაბზარვა, შემდგომში კი მისი განშრევა.

არმატურის კოროზია დამოკიდებულია ბეტონის ტენიანობის ხარისხზე, კარბონიზაციის სიღრმეზე და ქლორის იონების გაჯერების დონეზე.

დამცავი ფენის კარბონიზაცია ამცირებს მის ძირითად დამცავ ფუნქციას და ხელს უწყობს კოროზიის დაწყებას. ქლორიდებით გაჯერების კრიტიკული ზღვარი, რომლის დროსაც იწყება ინტენსიური კოროზიის პროცესი, კარბონიზაციის არ არსებობის დროს, თუ არის ცემენტის მასის 0.4%, კარბონიზაციის პირობებში ეს ზღვარი 0.2%-მდე ეცემა.

არმატურის კოროზია იწვევს რა მისი განიკვეთის შემცირებას, თავისთავად ამცირებს კონსტრუქციის ტვირთამწეობას. ამასთან ერთად, იწვევს ბეტონის განშრევას, რღვევას და ბზარების წარმოქმნას, რაც კიდევ უფრო ამცირებს მის სიმტკიცეს განივი ძალების მოქმედების მიმართ.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ დეგრადაციის გამომწვევ პროცესებს აქვთ ალბათური ხასიათი და შეიძლება იქნენ აღწერილი ალბათობის კატეგორიებით. მიახლოებით ისინი შეიძლება მიღებული იქნან დამოუკიდებლად და ნორმალური ან ლოგონორმალური კანონით განაწილებულად. შემდგომი ანალიზისათვის და ალგორითმიზაციისათვის ისინი შეიძლება დავაჯგუფოთ არმატურაზე და ბეტონზე მათი ზემოქმედების მიხედვით.

არმატურის ცვეთა.

- დამცავი ფენის სისქე;

- ბეტონის კარბონიზაცია;
- ბეტონში ქლორის იონების დიფუზია;
- ყინვით გამოწვეული რღვევა;
- არმატურის კოროზია.

ბეტონის ცვეთა.

- ბეტონის სიმტკიცე;
- ყინვით გამოწვეული რღვევა;
- ბეტონის გამოტუტვა;
- ბეტონში ქლორის იონების დიფუზია.

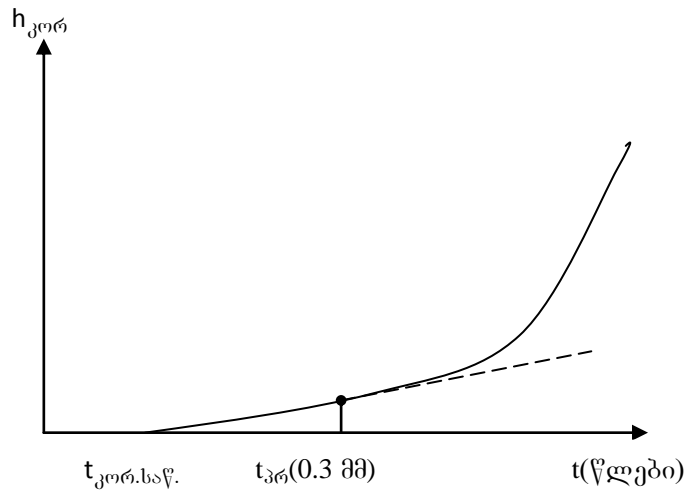
იმდენად, რამდენადაც ყველა ჩამოთვლილ ფაქტორს აქვს შემთხვევითი ხასიათი, მათი სტატისტიკური მახასიათებლების განსაზღვრა უნდა შესრულდეს გარე პირობების მიმართ კონსტრუქციის ერთგვაროვან უბნებზე. ამ პრინციპით რკინაბეტონის წიბოვანი ძალის ნაშენის კოჭებისათვის შეიძლება გამოვეყნოთ შემდეგი ზონები:

- კოჭების საყრდენი ზონები სადეფორმაციო ნაკერების მახლობლად, რომლებიც, როგორც წესი, უფრო ექვემდებარება წყლის ზემოქმედებას;
- განაპირა კოჭების ზედაპირები, რომლებიც უპირატესად ექვემდებარება ნალექების ზემოქმედებას;
- დანარჩენი უბნები.

დროში არმატურის კოროზიის განხილვისას შეიძლება გამოვეყნოთ სამი დამახასიათებელი უბანი (ნახ. 2.):

- პერიოდი კოროზიის დასაწყისიდან კოროზიული ბზარების გახსნით 0.3მმ და მეტი – კოროზიის სიჩქარე (მკმ/წელიწადში) მუდმივია;
- პერიოდი, როცა კოროზიული ბზარების გახსნა 0.3მმ-ზე მეტია – კოროზიის სიჩქარე პროგრესიულად იზრდება - მივიღეთ კოროზიის ზრდის სიჩქარე მეორე რიგის წირის მიხედვით;
- პერიოდი, როცა კარბონიზაციის სიღრმე ბეტონში h კარბ. ნაკლებია დამცავი ფენის სისქეზე $h_{დამ. ე.ი. h_{კარბ} < h_{დამ}$ და ქლორის იონების არმატურის განლაგება არ აღემატება

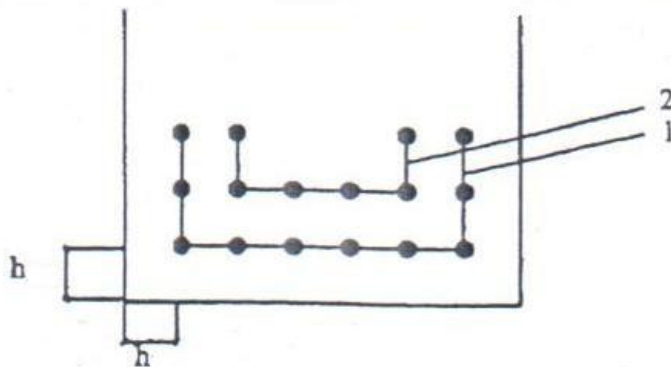
ცემენტის მასის 0.4%. ამ პერიოდში არმატურის კოროზიას ადგილი არ აქვს;



ნახ. 2. კოროზიის პროცესის გრაფიკი

$t_{kor.საწ.}$ – კოროზიის პროცესის დასაწყისი

$t_{კრ}$ – კოროზიის სიჩქარის პროგრესირებადი ზრდა (ბზარების გახსნა შეადგენს 0.3 მმ)



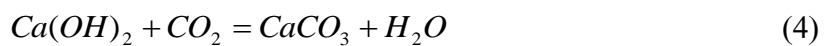
ნახ. 3. კვეთში მუშა არმატურის რიგების განლაგება.

ხაზი უნდა გაესვას იმ გარემოებას, რომ მუშა არმატურის შიგარის რიგის (ნახ. 3.) კოროზიის დაწყება იგივე კრიტერიუმის მიხედვით დროში წანაცვლებულია.

2.5.2. დამცავი ფენის ბეტონის კარბონიზაციის მექანიზმი

დამცავი ფენის ბეტონის კარბონიზაცია წარმოადგენს ყველაზე გავრცელებულ უნივერსალურ აგრესიულ ზემოქმედებას, რომელსაც განიცდის ბუნებრივ გარემოში ექსპლუატირებული რკინაბეტონის კონსტრუქცია [12]. ამ მოვლენის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ნახშიროჟანგი, რომლის საშუალო მოცულობითი კონცენტრაცია ატმოსფეროში $C=0.03\%$, ურთიერთქმედებს კალციუმის ჟანგის ჰიდრატთან და ბეტონის დამცავი ფენის ტუტეებთან. ამის გამო ბეტონის თხევადი ფაზეს pH მნიშვნელობა, რომელიც კარბონიზაციის არ არსებობისას 12.4-13.0-ის ფარგლებში, ეცემა 11.0 და უფრო ნაკლებ მნიშვნელობამდე. დამცავი ფენის, როგორც არმატურის ელექტროქიმიური დაცვის ფუნქცია იკარგება, ფოლადის პასიური მდგომარეობა ირღვევა და არმატურა განიცდის კოროზიას. ბეტონის ქიმიური შემადგენლობის ასეთი ცვალებადობის პროცესს ეწოდება კარბონიზაცია ან ნეიტრალიზაცია. მის მალიმიტირებელ ფაქტორს წარმოადგენს დამცავი ფენის ბეტონის თხელფოროვან სტრუქტურაში ნახშიროჟანგის დიფუზიის სიჩქარე, პროცესი ნელა ვითარდება კონსტრუქციის ზედაპირული ფენებიდან არმატურისაკენ.

კარბონიზაცია შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი ქიმიური რეაქციის სახით:



ამრიგად, რკინაბეტონის კონსტრუქციის ბეტონის დამცავი ფენის კარბონიზაცია ხდება ბეტონის თხევად ფაზაში არსებული კალციუმის ჟანგის ჰიდრატის ატმოსფეროში არსებულ ნახშიროჟანგთან კავშირის შედეგად. ნახშიროჟანგს უკავშირდება აგრეთვე ცემენტში არსებული მწვავე ტუტეები. ამის გამო თხევადი ფაზეს ტუტიანობა გადანაცვლდება ნეიტრალურ მხარეზე და ბეტონი კარგავს ფოლადის ელექტროქიმიურად დაცვის უნარს.

საქმე იმაშია, რომ ტუტიან გარემოში, როცა $pH \approx 12.4$, ფოლადზე წარმოიქმნება და აღდგება რკინის ჰიდროქსიდისა და ჟანგეულების პასიური აფკები, რომლებიც ეწინააღმდეგება არმატურის კოროზიას, ხოლო როდესაც pH ამაზე ნაკლებია, ეს არ ხდება. ამის გამო კარბონიზაციის გამოკვლევისადმი მიძღვნილი და გამოქვეყნებულია სამუშაოთა ძალიან დიდი რაოდენობა.

ბეტონის ფოროვან სტრუქტურაში ნახშიროქსიდის დიფუზია საკმაოდ ზუსტად აღიწერება დიფერენციალური განტოლებების სისტემის საშუალებით, მაგრამ, ჩვეულებრივ ეყრდნობიან პირველი რიგის დიფერენციალურ განტოლებას, რომელიც ფიკის პირველი კანონის სახელითაა ცნობილი, თუმცა მისი პრაქტიკულ გაანგარიშებებში გამოყენება მეთად გართულებულია და როგორც წესი, საინჟინრო შეფასებებისათვის იყენებენ ნახევრად ემპირიულ დამოკიდებულებას ე.წ. „კვადრატული ფესვის დამოკიდებულებას“ შემდეგი სახით:

$$x = A\sqrt{t} \quad (5)$$

სადაც x კარბონირებული ფენის სიღრმეა, სმ;

t - დრო (წლები);

A - ემპირიული კოეფიციენტი (სმ/წელი^{0.5}).

მართლაც, კარბონიზაციის დროს ხდება ბეტონის 10-12%-ით გამკვრივება, ნახშიროქსიდის დიფუზიის სიჩქარე ბეტონის სიღრმეში გადაადგილებასთან ერთად მცირდება და დიფუზიის სიღრმე აღმოჩნდება დროიდან კვადრატული ფესვის პროპორციული.

ფორმულას (5) გააჩნია მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული დადასტურება.

როდესაც ვიხილავთ ბუნებრივ გარემოში ექსპლუატირებულ კონსტრუქციებს, კერძოდ, ხიდურ კონსტრუქციებს, A კოეფიციენტი გამოხატავს ბეტონის სტრუქტურისა და შემადგენლობის სიჩქარეზე, დამცავი ფენის სისქეზე, ნაგებობაში რკინაბეტონის ელემენტის ექსპლუატაციის პირობებსა და მდგომარეობაზე, აგრეთვე კლიმატურ ფაქტორებზე ერთობლივ გავლენას.

კარბონიზაციის სიჩქარე განისაზღვრება დიფუზიის კოეფიციენტით D . მაგალითად, ნახშიროქსანგის დიფუზიის კოეფიციენტი ჰაერში შეადგენს $D = 0.139$ სმ²/წმ², ხოლო წყალში მისი მნიშვნელობა 4-ჯერ ნაკლებია. ბეტონის ჰეტეროგენი სტრუქტურას ახასიათებს ლაბირინთული და ზღურბლური შეღწევადობა, რომელიც მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ბევრ, მათ შორის ტექნოლოგიურ ფაქტორებზე, როგორებიცაა მასალის შემადგენლობისა და სტრუქტურის განმსაზღვრელი წყალ-ცემენტის თანაფარდობა, ცემენტის ხარჯი. ბეტონის გამკვრივება და გამაგრების პირობები, დამცავ ფენაში ჩაჯდომის ბზარების არსებობა და სხვა. წყლის ორთქლის კაპილარული კონდენსაციის შედეგად ხდება ბეტონის სტრუქტურაში ფორების ცალკეული ჯგუფების წყლით შევსება, რაც მკვეთრად მოქმედებს ბეტონში ნახშიროქსანგის დიფუზიის ეფექტურობაზე. ნაჩვენებია, რომ ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის 30-დან 65-70%-მდე ცვალებადობისას ბეტონის შეღწევადობა აირებისათვის თითქმის არ იცვლება, ხოლო 70-დან 90%-ის ინტერვალში იგი ორჯერ მცირდება.

ძალიან ბევრი გამოკვლევა მიექძვნა წყალ-ცემენტის ფარდობის, როგორც ბეტონის შემადგენლობის პარამეტრების კარბონიზაციის სიჩქარეზე გავლენის შესწავლას, რაც სხვა თანაბარი პირობების დროს განმსაზღვრელად მოქმედებს მის შეღწევადობაზე.

ცხრილში 5 მოყვანილია A კოეფიციენტის მნიშვნელობები ბეტონის წყალ-ცემენტის თანაფარდობის მიხედვით, რომელიც მიღებულია სამამულო და უცხოელი მკვლევარების მონაცემთა დამუშავების შედეგად [2].

(5) ფორმულაში A (სმ/წელი^{0.5}) კოეფიციენტის მნიშვნელობა

წყალი-ცემენტი თანაფარდობა				
0.4	0.45	0.5	0.55	0.6
0.24	0.269	0.4	0.474	0.537
0.113	0.124	0.17	0.2	0.27
0.106	0.207	0.272	0.328	0.373
0.222	0.36	0.469	0.537	0.763
0.105	0.207	0.270	0.327	0.372
0.16	0.23	0.32	0.37	0.46

კარბონიზაციის პროცესის ცნობილმა მკვლევარმა კ.კიშიტანიმ შემოგვთავაზა ემპირიული ფორმულა, რომელიც ამყარებს დამოკიდებულებას სიღრმესა x (სმ) და კარბონიზაციის დროს t (წლები) შორის ისეთი ბეტონებისათვის, რომლებიც განსხვავდებიან წყალი-ცემენტის ფარდობით (როცა $V/C < 0.6$):

$$t = \sqrt{\frac{4.6V/C - 1.76}{7.2}} x^2 \quad (6)$$

მისი გარდაქმნით მივიღებთ (5) ფორმულაში A სიდიდის მნიშვნელობას:

$$A = \sqrt{\frac{4.6V/C - 1.76}{7.2}} \quad (7)$$

2.5.3. ბეტონში არმატურის კოროზიის განვითარების ანალიზი

არმატურის კოროზიის განვითარება შეიცავს შემდეგ ძირითად სტადიებს:

დიფუზური სტადია, რომელსაც განაპირობებს როგორც ბეტონის დამცავი ფენის კარბონიზაცია, ასევე ბეტონის ზედაპირზე მოხვედრილი ქლოროვანი მარილების არმატურაში შეღწევა და არმატურის წინა

ფენაში კრიტიკულ კონცენტრაციამდე მისი თანდათანობით დაგროვება. ეს ყველაზე ხანგრძლივი სტადიაა. პორტლანდცემენტზე ხიდური კონსტრუქციების ბეტონისათვის, როცა დამცავი ფენის სისქე 30მმ-ია, დიფუზური ქლორიდული სტადიის ხანგრძლივობა დაახლოებით 15 წელია, ხოლო დამცავი ფენის სრული კარბონიზაციისათვის – 5 წელი. 25 მმ-იანი დამცავი ფენის შემთხვევაში მათი ხანგრძლივობა დაახლოებით 10 წელია.

მოყინულობის საწინააღმდეგო მარილებად გამოყენებული ქლორიდები მოხვდებიან ბეტონის ზედაპირზე და დიფუზიის ხარჯზე შეაღწევენ არმატურაში. ამ პროცესის შედეგად ბეტონის ზედაპირულ ფენებში ქლორიდების შემცირებული კონცენტრაცია ამა თუ იმ ზომით აღემატება მიმდინარე ზამთარში ან მომდევნო წლებში მოყინულობის საწინააღმდეგოდ მარილების შემდგომი გამოყენების დროს, რომელიც ინარჩუნებს პროცესის დიფუზიურ პოტენციალს. მის რაოდენობრივ გამოსახულებას წარმოადგენს ბეტონის ზედაპირულ ფენაში ქლორიდ-იონების კონცენტრაცია, რომელსაც გარკვეულ წილად შემთხვევითი ხასიათი აქვს და განისაზღვრება კლიმატური პირობებით, ხიდზე მოძრაობის ინტენსიურობით, ხიდის ექსპლუატაციის ხარისხით და სხვა. ეს ზემოქმედება თავისი არსით არ ექვემდებარება გაანგარიშებებსა და პროგნოზირებას. ისინი შეიძლება დავახასიათოთ ზოგიერთი ღრმად გასაშუალებელი მაჩვენებლებით და სწორედ მათი ინტეგრალური შედეგით შეიძლება ვიმსჯელოთ ბეტონის ზედაპირულ ფენაში ქლორიდების შემცველობაზე.

იმ შემთხვევაში, თუ დამცავ ფენას გააჩნია ბზარები, მაგალითად ბეტონის ჩაჯდომისაგან, ძალოვანი ბზარები და სხვა, ჰაერის მაღალი ფარდობითი ტენიანობის ან პირდაპირი ატმოსფერული დანამდისაგან კონდენსაციის შედეგად აღმოჩნდებიან წყლით შევსებული, ამით არმატურაში ქლორიდების შეღწევა დაჩქარდება და შეიძლება წარმოიქმნას ლოკალური კოროზიული კერა, რომელიც შემდგომში მუშაობს, როგორც ძაბვის კონცენტრატორი.

ბეტონის დამცავი ფენის კარბონიზაციის ან არმატურის წინა ფენაში ქლორიდ-იონის კრიტიკული კონცენტრაციის შექმნის შემდეგ დგება ფოლადის კოროზიის განვითარების სტადია, რომელიც იწვევს დამცავი ფენის განშრევებას და მასში ბზარების გაჩენას. ამ სტადიის

ხანგრძლივობა დაახლოებით 3-5 წელია. ბზარების გაჩენის შემდეგ კოროზიის პროცესი მიმდინარეობს უფრო ინტენსიურად და ღიად და 5-7 წლის შემდეგ კონსტრუქცია საჭიროებს რემონტსა და აღდგენას.

რაც მეტია ქლორიდების კონცენტრაცია ბეტონში (კრიტიკული მნიშვნელობის ზევით), მით მეტია არმატურის კოროზიული ცვეთა და კვეთის კარგვა. ამ კოროზიული ცვეთის სიჩქარეა 0.08-0.12მმ/წელი, მაგრამ შეიძლება მიაღწიოს 0.5მმ/წელი და უფრო მეტსაც [55] და ცხადია, არ არის დამოკიდებული არმატურის საწყის დიამეტრზე.

დიფუზური პერიოდის ხანგრძლივობა ძირითადად დამოკიდებულია ქლორიდ-იონების კონცენტრაციაზე.

კოროზია იწყება მაშინ, როდესაც არმატურის წინა ფენაში ქლორიდ-იონების კონცენტრაცია ზღურბლოვან მნიშვნელობას მიაღწევს.

საქართველოში რკინაბეტონის ხიდური კონსტრუქციების გამოკვლევის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ბეტონის ზედაპირულ ფენაში ქლორიდ-იონების შემცველობა იშვიათად აღემატება ცემენტის მასის 1%-ს. ამასთან, პროცესის დიფუზიური სტადია ხიდის ბეტონისათვის (როცა დამცავი ფენის სისქე 2-3სმ-ია) ჩვეულებრივ, გრძელდება არაუმეტეს 5-15 წლისა და მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული დამცავი ფენის სისქეზე.

- კოროზიის დაწყებიდან, კოროზიული ბზარების გაჩენამდე პერიოდი. კოროზიის სიჩქარე მუდმივია ($t_{დას.კორ-ტკზ}$).

ბეტონის არმატურის წინა ფენაში ქლორიდ-იონების ზღურბლური კონცენტრაციის მიღწევის შემდეგ იწყება ფოლადის კოროზიის პროცესი. ამ დროს წარმოქმნილი რკინის ქანგებისა და ჰიდროქსიდების გავლენით ბეტონის დამცავ ფენაში აღიძვრება გამჭიმავი ძაბვები და გაჩნდება ერთი ან ორი ბზარი, რომლებიც მიმართულია არმატურის ღეროს გასწვრივ. ამ სტადიის ხანგრძლივობა, ჩვეულებრივ, 5-10 წელს შეადგენს (ინტერვალი $t_{გზ.-t}$).

- 0.3მმ და მეტად გახსნილი კოროზიული ბზარების გაჩენის შემდგომი პერიოდი.

იმის გამო, რომ აგრესიული გარემოს არმატურაში შეღწევა იოლდება, მისი კოროზიული ცვეთის სიჩქარე პროგრესულად იზრდება.

ცხადია, რომ დამცავ ფენაში კოროზიული ბზარების წარმოქმნა არის მთელ რიგ ფაქტორებზე დამოკიდებული პროცესი. პირველ რიგში იგი დამოკიდებულია კოროზიული ცვეთის ხარისხზე. პროცესის რაოდენობრივი მახასიათებლების გასაგებად აუცილებელია არმატურის კოროზიის შედეგად დამცავი ფენის რღვევის მოდელის არსებობა, მაგრამ ჩვენს მიერ მოძიებულ სამამულო და უცხოურ ლიტერატურაში ასეთი სახის კვლევები ვერ აღმოვაჩინეთ. დამცავი ფენის რღვევა განიხილება, როგორც ერთმომენტიანი ექსპერიმენტული ფაქტი, რომელიც განუხრელად მოყვება არმატურის კოროზიის ფაქტს.

გარდა წმინდა სამეცნიერო ინტერესისა, დამცავი ფენის რღვევის მოდელის დამუშავებას აქვს გამოყენებითი ხასიათიც, რომელიც დაკავშირებულია გამოკვლევის პრობლემებთან.

ჩვეულებრივ, გამოკვლევების დროს არმატურის კოროზიის ხარისხის ზუსტი განსაზღვრა, შეიძლება მოხდეს მხოლოდ არმატურის ღეროების ნიმუშების ამოღებისა და შემდგომში მათი ლაბორატორიული დამუშავების გზით. ამასთან, მათემატიკური სტატისტიკის მოთხოვნების [17] შესაბამისად საკმარისად საიმედო შეფასებისათვის (კოროზიის არათანაბრობის გათვალისწინებით) აუცილებელია გამოვიკვლიოთ 10-15 ნიმუში.

კოროზიის ხარისხის შეფასების გამოკვლევის დროს ბეტონის ამოტეხვის ადგილებში გაშიშვლებულ არმატურაზე პირდაპირი გაზომვის ჩატარება არ გვაძლევს საიმედო შედეგებს ამ მონაცემების მცირე რაოდენობისა და ზუსტი გაზომვის ჩატარების შეუძლებლობის გამო, ამიტომ საინტერესოა მცდელობა შევაფასოთ არმატურის კოროზიის ხარისხი კონსტრუქციის ზედაპირზე მისი გარეგანი გავლენის მიხედვით. ასეთ ნიშანს შეიძლება წარმოადგენდეს ბეტონის დამცავ ფენაში განივი ბზარების გახსნის სიდიდე, რომელიც გამოწვეულია არმატურის კოროზიით. ეს საკითხი გაანალიზებულია ლიტერატურაში [48, 54].

მოცემულია r_0 რადიუსის არმატურის ღერო, რომელიც რაღაც უბანზე თანაბრად კოროზირებული. ამ შემთხვევაში სიგრძის ერთეულზე მოცულობითი ცვლილების ტოლია.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, კოროზიის პროდუქტების მოცულობა კოროზირებული ლითონის მოცულობასთან შედარებით საშუალოდ 2.5-ჯერ იცვლება [25]. ვითვალისწინებთ რა, რომ კოროზიის პროდუქტების წარმოქმნის პირობები შეზღუდულია, მივიღებთ:

$$S_{0K} = 2S_K \quad (9)$$

სადაც S_{0K} კოროზიის პროდუქტების კვეთის ფართობია;

S_K - კოროზირებული ლითონის კვეთის ფართობი.

რასაც მივყავართ კოროზიის პროდუქტთა ფენის არმატურის ფაქტიური რადიუსის (r_{0K}) გადიდებას საწყის რადიუსთან r_0 შედარებით და მით უმეტეს შემცირებულ ეფექტურ კვეთასთან (r_K) შედარებით.

არმატურაზე კოროზიის პროდუქტების წარმოქმნის შედეგად ხდება მისი გამოწურვა უმცირესი წინააღმდეგობის მხარეზე, რასაც თან სდევს დამცავი ფენის განშრევა. ამასთან, არმატურის დეროსზედა ბეტონის ფენა პრაქტიკულად არ დეფორმირდება.

განვსაზღვროთ კოროზიის პროდუქტების ფენის კოროზირებული არმატურის კვეთის ზომები და დამცავი ფენის გამოწურვის სიდიდე.

ფორმულა (9) შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ:

$$\pi(r_{0K}^2 - r_K^2) = 2\pi(r_0^2 - r_K^2)$$

აქედან
$$r_{0K}^2 = 2r_0^2 - r_K^2$$

ჩავსვათ
$$r_K = r_0 - \Delta \quad (10)$$

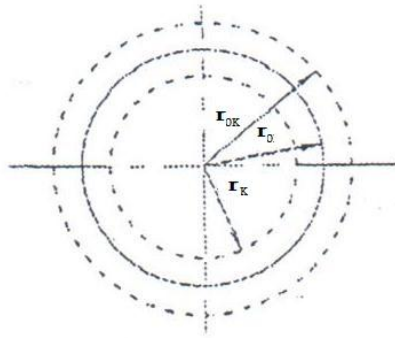
სადაც Δ კოროზიის სიღრმეა.

მივიღებთ
$$r_{0K}^2 = 2r_0^2 - (r_0 - \Delta)^2 = (r_0 + \Delta)^2 - 2\Delta^2$$

$$r_{0K} = \sqrt{(r_0 + \Delta)^2 - 2\Delta^2} \quad (11)$$

განვიხილოთ მაგალითი: ვთქვათ, ბეტონის კლასია B35, დამცავი ფენას აქვს 25მმ სისქე ($h = 2.5 + 0.5 = 3$ სმ). მისი განშრევა მოხდა $l = 10$ სმ სიგრძეზე. წარმოიშვა 0.2 მმ ბზარი. განვსაზღვროთ კოროზიის სიღრმე $\Delta_{\text{ზ}}$, რომლის დროსაც წარმოიშვა ბზარი და არმატურის კოროზიის ხარისხი Δ შესაბამისი ბზარის შემთხვევაში B35 ბეტონისათვის:

$$R_{bt} = 1.95 \text{ მპა} \quad \text{და} \quad E = 34.5 \cdot 10^3 \text{ მპა}$$

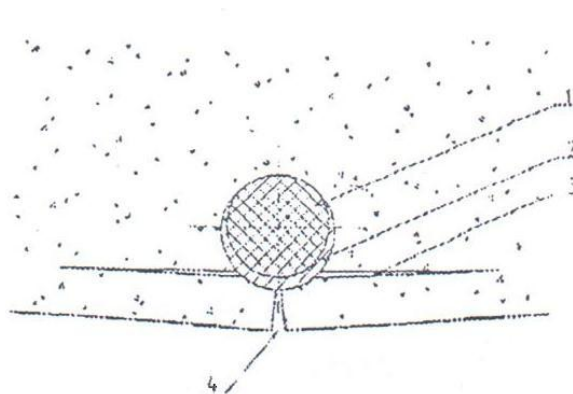


ნახ. 4. არმატურის ღეროს კვეთის ცვლილება კოროზიის შედეგად.

r_0 - არმატურის ღეროს კვეთის საწყისი რადიუსია;

r_{0K} - ჟანგის ფენის საწყისი რადიუსი;

r_K - კოროზიული ცვეთის შედეგად არმატურის ღეროს კვეთის რადიუსი.



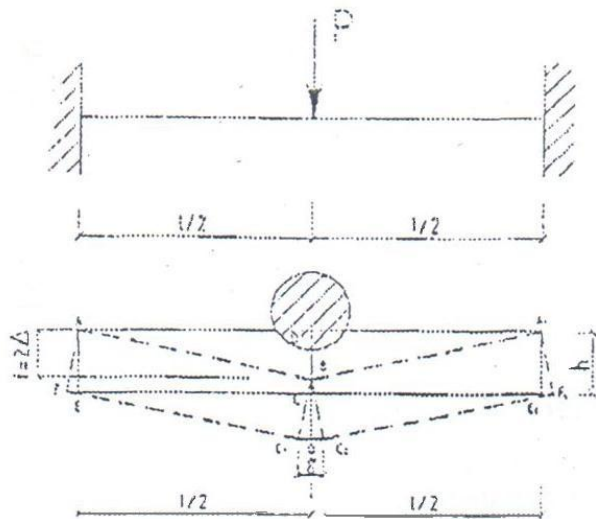
ნახ. 5. კოროზირებული არმატურის დამცავი ფენის გამოწურვა.

1 - არმატურის ღეროს საწყისი მდგომარეობა;

2 - კოროზიის შედეგად არმატურის ღეროს მდგომარეობა;

3 - ბზარი ბეტონში - დამცავი ფენის განშრეკება;

4 - გრძივი ბზარი დამცავ ფენაში.



ნახ. 6. არმატურის კოროზიის დროს დამცავი ფენის დაშლის სქემა.

- a – დამცავი ფენის მუშაობის საანგარიშო სქემა ბზარის გაჩენამდე;
- b – კოროზიული ბზარის გახსნის სქემა დამცავი ფენის დეფორმაციის დროს.

დამცავ ფენაში გრძივი ბზარი წარმოიქმნება, როცა კოროზიული ცვეთის სიღრმე იქნება:

$$\Delta_{\text{კვ}} = \frac{1.95 \cdot 10^2}{7 \cdot 3 \cdot 34.5 \cdot 10^3} = 0.00271 \text{ მ} = 0.027 \text{ მმ}$$

ჩვენი მაგალითისათვის ავიღოთ $\Delta = 0.42b$. ეს ნიშნავს, რომ 0.2მმ ბზარის შემთხვევაში არმატურა კოროზირებულია $\Delta \approx 0.08$ მმ სიღრმეზე.

აღსანიშნავია, რომ დამცავი ფენის მუშაობის სხვა საანგარიშო სქემის გამოყენება დაახლოებით ანალოგიურ შედეგებს იძლევა.

მიღებული შედეგი საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ დამცავ ფენაში გრძივი ბზარის წარმოქმნა, რომელიც მიმართულია არმატურის ღეროს გასწვრივ, ხდება ფოლადის ძალიან მცირე კოროზიული ცვეთის დროს. განხილულ მაგალითში იგი შეადგენს 30 მკმ-ს. ამრიგად, არმატურის პასიურობის დარღვევის შემდეგ ბზარი გაჩნდება ძალიან მცირე დროის განმავლობაში. თუ ეს მოხდა, დამცავი ფენის კარბონიზაციის შედეგად, მაშინ ამ სტადიაზე უნდა

შემოვიფარგლოთ მხოლოდ პროფილაქტიკური ღონისძიებებით (ბეტონის შეღებვა და ჰიდროფობიზაცია, ლოკალური დატენიანების წყაროთა ლიკვიდაცია და სხვა). ქლორიდული აგრესიის შემთხვევაში ეს ღონისძიებები საკმარისი არაა.

ჩავატაროთ ჩვენი შედეგების შედარება ნატურული ექსპერიმენტის მონაცემებთან [43], მაგრამ დასაწყისში გავითვალისწინოთ კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი გარემოება:

ჩვენს მიერ კოროზიული ცვეთა Δ წარმოდგენილია დეტერმინირებული სახით, თუმცა რეალურად იგი წარმოადგენს რამდენიმე შემთხვევითი პარამეტრის ფუნქციას: δ - გრძივი ბზარის გახსნა, l - დამცავი ფენის განშრევების უბნის სიგრძე არმატურის ღეროს ღერძიდან ორივე მხარეზე, h - დამცავი ფენის სისქე. ეს პარამეტრები შემთხვევითი სიდიდეებია და პირველი მიახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ისინი ექვემდებარებიან ნორმალურ განაწილებას.

შეიძლება დაგუშვათ, რომ Δ წარმოადგენს ნორმალურად განაწილებულ სიდიდეს.

Δ სიდიდის ვარირების სარწმუნო ინტერვალი J ამ შემთხვევაში იქნება [17]:

$$J = (\Delta - t_\beta \cdot \sigma_\Delta; \overline{\Delta} + t_\beta \cdot \sigma_\Delta) \quad (12)$$

სადაც $\overline{\Delta}$ მათემატიკური მოლოდინია (საშუალო მნიშვნელობა);

σ_Δ - საშუალო კვადრატული გადახრა;

t_β - ცხრილის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია

$\Delta = 0.42\delta$ სარწმუნოების ალბათობაზე, როცა $\beta = 0.9$, $t_\beta = 1.64$.

მონოლითური ბეტონისათვის დამახასიათებელი ვარიაციული კოეფიციენტის $v = 15\%$ მნიშვნელობის საფუძველზე მივიღებთ

$\sigma_\Delta = 0.15\overline{\Delta}$. ამრიგად, Δ -ს ვარირების სარწმუნო ინტერვალს შემდეგი საზღვრები გააჩნია:

$$J = \overline{\Delta} - 1.64 \cdot 0.15; \overline{\Delta} + 1.64 \cdot 0.15 = (0.75\overline{\Delta}; 1.25\overline{\Delta}) \quad (13)$$

სამშენებლო მეცნიერების მადრიდის ინსტიტუტში ცნობილი მკვლევარის, პროფ. კ. ანდრადეს ხელმძღვანელობით ჩატარდა დიდი

ექსპერიმენტი არმატურის კოროზიის შედეგად რკინაბეტონის რღვევის შესასწავლად [49].

ფოლადის ღეროებს აწობდნენ $h = 30$ მმ დამცავი ფენის ბეტონის ნიმუშებში, ღეროებზე მოდებული იყო მუდმივი ანოდური დენი, რომელიც იწვევდა ფოლადის კოროზიას და აღგენდნენ დამოკიდებულებას დამცავ ფენაში გრძივი ბზარის გახსნის სიგანესა და ღეროს კოროზიულ ცვეთას შორის. ამ მიზნით ღეროებს ამოიღებდნენ, შეწამლავდნენ და განსაზღვრავდნენ კოროზიის შედეგად მასის კარგვას.

აქ მოყვანილი მიდგომა, როგორც გვეჩვენება, რამდენადმე ზოგადია და ვრცელდება არა მხოლოდ ხიდურ, არამედ რკინაბეტონის სხვა კონსტრუქციებზეც, რომლებშიც სხვადასხვა მიზეზით გამოწვეული არმატურის კოროზიის შედეგად მოხდა დამცავი ფენის დაშლა.

ამასთან ერთად ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ნატურულ პირობებში არმატურის კოროზიის ხარისხის შეფასების არამრღვევი მეთოდი.

არმატურის კოროზიული მდგომარეობის ინსტრუმენტალური შეფასება ტარდება არმატურის ელექტროქიმიური პოტენციალების გაზომვის გზით.

ეს ხერხი შეიძლება გამოვიყენოთ კონსტრუქციის შეფარდებით (დიდი ფართობისა და სიგრძის მიხედვით) უბნებისათვის და კოროზიული პროცესის ფაქტის შეფასებისათვის სრულიად კორექტულია.

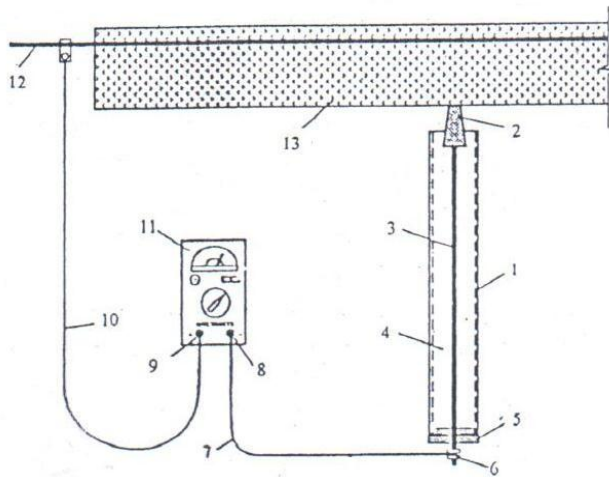
ხერხი საშუალებას გვაძლევს გამოვაგლინოთ კოროზიული პროცესების არსებობა მანამდე, სანამ წარმოიქმნება ჟანგის ფენები და მოხდება ბეტონის დამცავი ფენის გაბზარვა.

ბეტონში კოროზიული აქტიურობის მაჩვენებელს წარმოადგენს მისი ელექტროქიმიური პოტენციალის მნიშვნელობა, რომელიც განისაზღვრება, როგორც გაღვანურ ელემენტში (შედარების სპილენძ-სულფატის ელექტროდი) აღძრული ელექტრომამოძრავებელი ძალის (ემძ) სიდიდე. ასეთ ელექტრულ წრედში ბეტონი ასრულებს ერთგვარი ელექტროლიტი-გამტარის როლს. არმატურის კოროზიული აქტივობის განსაზღვრისათვის ბეტონში ფოლადის პოტენციალების გაზომვა

რეგლამენტირებულია რიგ საზღვარგარეთულ ქვეყნებში, მათ შორის აშშ-ს (ASTM C-876-91) და დიდი ბრიტანეთის (BS 1881, Part 201) სტანდარტებით.

ბეტონისაგან დამზადებულ სამშენებლო კონსტრუქციებში არმატურის ღეროების კოროზიის არამრღვევი კონტროლისათვის გამოიყენება სხვადასხვა ხელსაწყოები და მოწყობილობები (CANIN, COLEBRAND, REBAR, CHECKER).

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ხიდებისა და გვირაბების კათედრაზე დამუშავებული ხელსაწყო (ნახ. 7.) შეიცავს შედარების სპილენძი-სულფატი ელექტროდს, შემაერთებელ გამტარებსა და გამზომ ხელსაწყოს. შედარების ელექტროდი წარმოადგენს დიელექტრიკისგან დამზადებულ ხისტ მილაკს (1), რომლის შიგა სივრცეში (4) მოთავსებულია სპილენძის ღერო (3). ელექტროდის მილაკის ერთი ბოლო დახურულია უბრალო სადებით (2), რომელსაც აქვს კაპილარულ-დიფუზიური გამტარობა, ხოლო მეორე – საცობით (5), რომელიც ზედაპირზე გამოყვანილია მომჭერიანი სპილენძის ელექტროდის ბოლოთი (6).



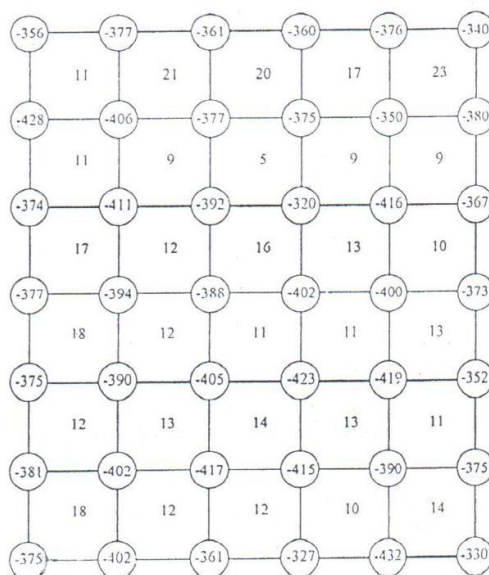
ნახ. 7. ხელსაწყო კვ. სქემა კოროზიის შესაფასებლად

კონკრეტულ კონსტრუქციაში არმატურის მდგომარეობისა და პოტენციალის დონის შესაბამისობის დასაზუსტებლად (-200)-დან (350

მე-მდე. გაზომვის დიაპაზონში მიზანშეწონილია მოვახდინოთ არმატურის შერჩევითი გახსნა.

თბილისი – სამგზავრო-სარკინიგზო სადგურის ტერიტორიაზე მდებარე ფეხითმოსიარულეთა გზაგამტარის გამოცდისას არმატურის კოროზიის ხარისხის დასადგენად ჩვენს მიერ გამოყენებული იყო ინგლისურის ფორმა (ADVANCED ENGINEERING) აპარატურა.

არმირებული ფილის ზედაპირზე გამოიყო უბანი, რომლებზეც დატანილი იქნება ბადე 1-1.5 მ. ბიჯით. გაზომვების შედეგებით მიუვითითეთ რიცხვთა ველი (ნახ. 8).

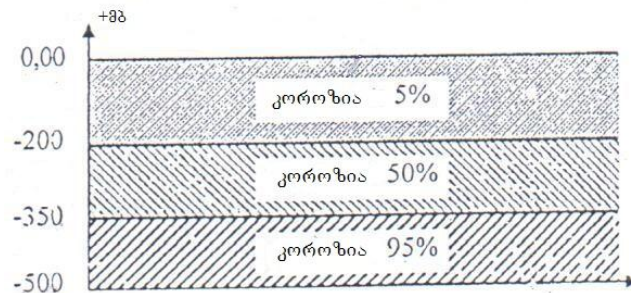


ნახ. 8. ბეტონის დამცავი ფენის ფართობისა და ელექტროპოტენციალის გაზომვის რიცხვთა ველი.

რიცხვთა ველში რგოლებში ჩაწერილი რიცხვები გვიჩვენებს აზომვის წერტილებში ელექტროპოტენციალის სიდიდეს მე-ში, რომელთა მიხედვითაც განისაზღვრება კოროზიული პროცესის არსებობის ალბათობა (ნახ. 9). რიცხვები უჯრედების ცენტრში გვიჩვენებს ბეტონის დამცავი ფენის სისქეს.

რიცხვთა ველის მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დამცავი დაწეულია – ფენის სისქე მერყეობს S-23მმ-ის ფარგლებში, ხოლო კოროზიული პროცესების განვითარების ალბათობა 50%-ს აღემატება.

გაზომვის შედეგების მიხედვით გაკეთდა დასკვნა მაღსაშენის კონსტრუქციის გადაუდებელი გაძლიერების აუცილებლობის შესახებ.



ნახ. 9. კოროზიული პროცესების ალბათობა მაღის ნაშენში.

არმატურის კოროზიული ცვეთის გაანგარიშების ალგორითმი
საწყისი მონაცემები.

საწყისი მონაცემები იყოფა ჯგუფურად;

- საპროექტო მახასიათებლები;
- შემთხვევითი დეგრადაციული პროცესების მახასიათებლები გამოკვლევის შედეგების მიხედვით;
- ალგორითმის პარამეტრები;

საპროექტო მახასიათებლები:

- კვეთის შემადგენლობა, მისი გეომეტრიული პარამეტრები;
- დამცავი ფენის საპროექტო სისქის (ანგარიშში მიიღება ქვემოდან და გვერდიდან სისქეების უმცირესი მნიშვნელობები);
- ბეტონის საპროექტო მარკა და მისი მარკა ყინვამდგეგობის მიხედვით.

გამოკვლევის მონაცემები:

- დამცავი ფენის სისქე;
- ბეტონის სიმტკიცე;
- კარბონიზაციის სისქე;
- ქლორიდების დიფუზია;

- ბეტონის ზედაპირული ფენის ცინულოვანი დაშლა (დასველებულ უბნებზე);
- არმატურის კოროზიის სიღრმე იმ უბნებზე სადაც კოროზიული ბზარები გახსნილია 0.3მმ-ზე ნაკლებად და 0.3მმ-ზე მეტად.

ალგორითმის პარამეტრები:

- შემთხვევითი პროცესებისა და ფუნქციების ჰისტოგრამათა ინტერვალები;
- პროცესებისა და ფუნქციების მაქსიმალური განსახილველი მნიშვნელობები;
- სხვადასხვა პარამეტრების განსაზღვრის სიზუსტე.

გაანგარიშების თანმიმდევრობა:

1. აიგება დამცავი ფენის სისქის პიქტოგრამა (ინტერვალი 1სმ);

თითოეულ i -ურ ინტერვალს შეესაბამება p_i ალბათობა, ამასთან,

$$\sum_i P_i = 1;$$

2. ცნობილი ფორმულებით განისაზღვრება დეგრადაციული შემთხვევითი პროცესების: კარბონიზაციის, ქლორიდების დიფუზიის, წყლით დასველებულ უბნებზე ბეტონის ცინულოვანი დაშლის (სიმტკიცის დაკარგვა), არმატურის კოროზიის წლიური ნაზრდების ვარიაციათა კოეფიციენტები, მოიძებნება ალბათობათა სიმჭიდროვის განაწილება ამ ნაზრდებისათვის;

3. t წლიდან და მათი ნაზრდების $(t+1)$ წლამდე პერიოდში დეგრადაციული პროცესების შემთხვევითი ფუნქციების გადამრავლების გზით აიგება შესაბამისი ფუნქციები $(t+1)$ წლის პერიოდში, ამასთან, t -ს მნიშვნელობა შეიძლება იყოს განუსაზღვრელი;

4, განისაზღვრება ელემენტის მზიდუნარიანობა, როგორც შემთხვევითი დროებითი პროცესის (არმატურისა და ბეტონის ცვეთის ხარისხის გათვალისწინებით) და აიგება მზიდუნარიანობის $S(t)$ განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია 1 წლის ინტერვალით;

5. ხანმედგობის კრიტერიუმების შესაბამისად და ხანმედგობის მიხედვით საიმედოობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით

განისაზღვრება ფიზიკური ცვეთის პოზიციებიდან ელემენტთა პროგნოზირებადი ნარჩენი მუშაობის უნარიანობა.

მოყვანილი დებულებების საფუძველზე ამჟამად სტუ-ს ხიდსაცდელ ცენტრში მუშავდება კომპიუტერული პროგრამა.

2.6. რკინაბეტონის ხიდების დამახასიათებელი დაზიანების ანალიზი ავტორის მიერ სისტემური მიდგომის გამოკვლევის მეთოდოლოგიით

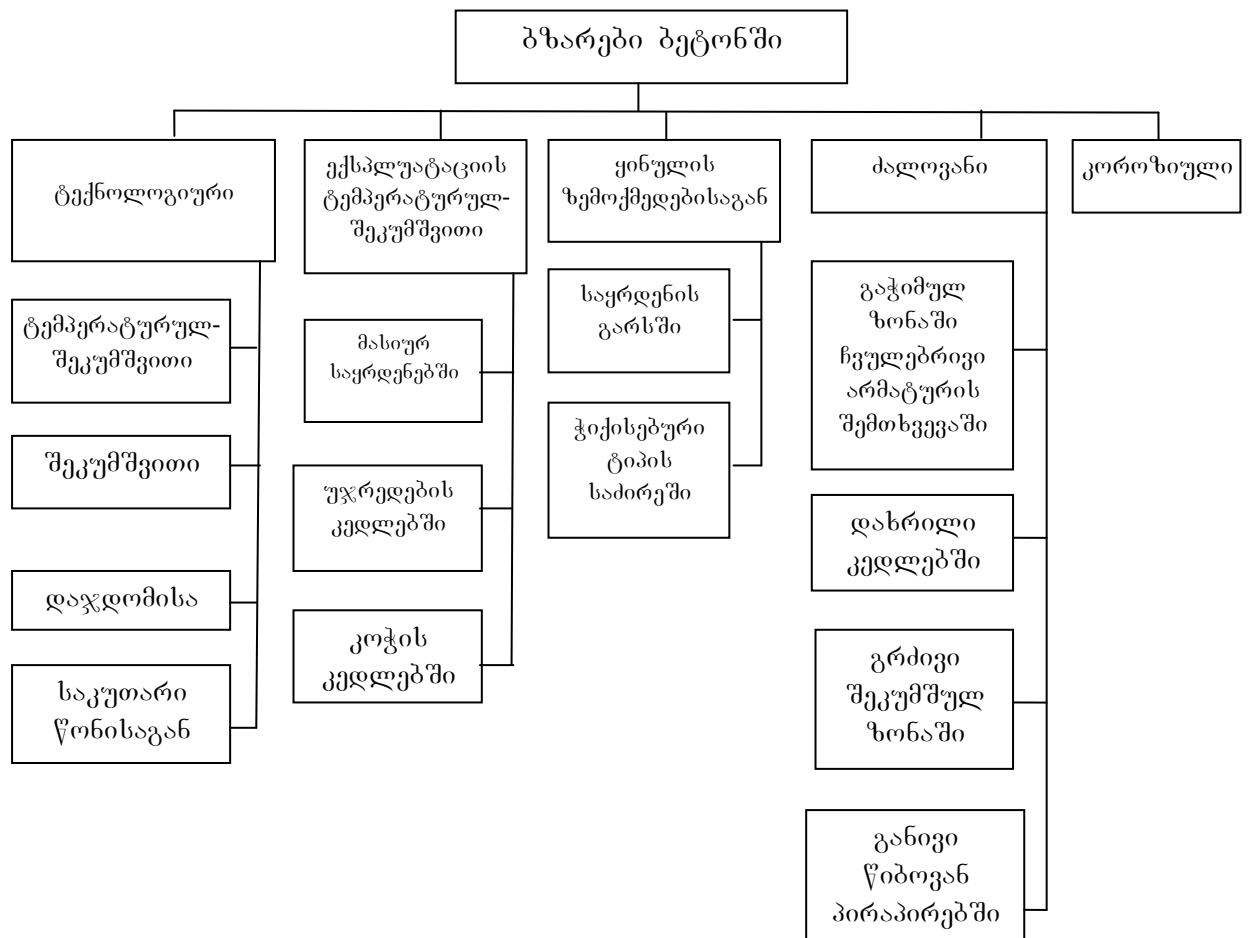
1949 წ. თბილისის ტრანსპორტის ინჟინერთა ინსტიტუტში (ამჟამად სტუ) შეიქმნა ხიდსაცდელი სადგური, რომლის თანამშრომლებმაც მისი დაარსებიდან დღემდე გამოსცადეს 400-ზე მეტი ხიდი.

მონაცემები ბოლო წლებში გამოცდილი ხიდების შესახებ მოცემულია დანართში.

დაზიანებები რკინაბეტონში 80-90%-ით შეიძლება კვალიფიცირდებოდეს ბზარების გაჩენით. საერთოდ, ბზარების გაჩენა რკინაბეტონში ბუნებრივი და დასაშვები პროცესია, მაგრამ აუცილებელია, რომ ბზარების გახსნის სიდიდემ არ მიაღწიოს საშიშ ზღვრულ სიდიდეს.

რკინაბეტონში ბზარების წარმოშობა შეიძლება განპირობებული იყოს სხვადასხვა მიზეზებით. ბზარები შეიძლება იყოს სხვადასხვა სახიფათო ხარისხის, სიღრმის, სიგრძის და სიგანის. ვითარების სწორად შეფასებისათვის საჭიროა მათი სისტემური ანალიზი, რომელიც მოიცავს შემდეგს:

- ბზარების აღწერა, რომელშიც შედის მისი მდებარეობა, სიგრძე, სიღრმე და გახსნის სიგანე;
- ბზარების წარმოშობის სავარაუდო მიზეზი;
- პროგნოზი ბზარების შემდგომ განვითარებაზე;
- კონსტრუქციისათვის ბზარების სახიფათო ხარისხზე დასკვნა;
- ბზარების შემცირებისათვის ან მათი კონსერვაციისათვის საჭირო ღონისძიებები.



ნახ. 10. ბზარები ხიდურ კონსტრუქციებში

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ბზარები შეიძლება წარმოიშვას ძირითადად ორი ფაქტორით: ბეტონის არასაკმარისი სიმტკიცე გაჭიმვაზე და მოქმედი ძალების სიდიდით. თუკი ბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე მოცემული კლასის ბეტონისათვის მუდმივი სიდიდეა, მასზე მოქმედი გარე დატვირთვის სიდიდე ცვალებადია.

ბზარებს განასხვავებენ მათი წარმოშობის ძირითადი მიზეზის მიხედვით. ეს აღწერილია მოცემულ სქემაზე. ნახ. 10 ბეტონის თანდათანობითი გამაგრების პროცესში აკვირდებიან ბზარებს, რომლებიც წარმოიქმნება ბეტონის თანდათანობითი გამაგრების სხვადასხვა

სტადიაზე. ისინი მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ბზარები, რომლებიც წარმოიქმნება ადრეულ, ანუ ჯერ კიდევ პლასტიკური მდგომარეობის სტადიაში, არის არალრმა, ზედაპირული და წყვეტილი ფორმის, მათ „ტექნოლოგიური“ კვალიფიკაციის ბზარებს უწოდებენ.

ბზარები, რომლებიც მოგვიანებით, ბეტონის მიერ სიმტკიცის მიღების შემდგომ წარმოიქმნებიან, ტიპიური ძალოვანი ხასიათისაა. ისინი უმნიშვნელოდ იცვლიან გახსნის სიდიდეს ბზარის მთელ სიგრძეზე, ნაპირები უსწორმასწორო აქვთ და აქვთ მცირე სიღრმე, როგორც წესი, 0.05-0.20მმ – არმირებულ ბეტონში. ასეთ ბზარებს უწოდებენ „ძალოვანს“. ხშირ შემთხვევაში ბეტონის გამაგრების პროცესში წარმოშობილ ბზარებს უკეთებენ იგნორირებას, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ნეგატიური მოვლენები.

ასეთ მოვლენას ჰქონდა ადგილი ქ. კუშკეში, როდესაც რკინიგზის ხიდის მალის ნაშენში აღმოჩნდა უამრავი 2 მმ ზომის ბზარი, რომლებიც გამოიწვია ბეტონის გამაგრების პროცესში ცხელი და მშრალი ამინდის პირობებში ბზარების წარმოქმნის ასაცილებელი ღონისძიებების გაუტარებლობამ.

ჩასხმული ბეტონის ზედა ნაწილში ხშირად წარმოიქმნება ბზარები, რომლებიც გამოწვეულია ბეტონის ჯდენით ისინი ჩნდება ცემენტის ხსნარის თავმოყრის ადგილებში და ხასიათდება გახსნის ცვალებადი, დაახლოებით 1-3მმ სიდიდით.

ბეტონის ჯდენით გამოწვეული ბზარები შეიძლება წარმოიქმნას აგრეთვე ყალიბის შემთხვევითი დეფორმაციით. ასევე ახლადჩასხმულ ბეტონზე რაიმეს შემთხვევითი ზემოქმედებით. ასეთი ბზარების წარმოქმნის წყარო შეიძლება გახდეს ზედმეტად ხისტი არმატურა. ჯდენით გამოწვეული ბზარები ხშირად გვხვდება რთული კონფიგურაციის ბლოკებში კვეთის მკვეთრად შეცვლის ადგილებში. იმის გამო, რომ ასეთი ბზარები ჩნდება გაუმაგრებელ ბეტონში, მათ აქვთ ნარღვევის სახე მკვეთრად ცვალებადი სიგანით, უსწორმასწორო კიდეებით.

ასეთმა ბზარებმა თავის დროზე დიდი სირთულეები შეუქმნა ხიდების ღრუიანი ფილების დამზადებას ქარხნული წესით.

ტექნოლოგიური ბზარები. ტემპერატურული ჯდენის ბზარებს ბეტონში, როგორც წესი, აქვთ გამჭიმავი ძალების მართობული მიმართულება და მათი გახსნის სიდიდე აღწევს 2მმ-ს და მეტსაც. ასეთი ტიპის ბზარები განსაკუთრებით გვხვდება დიდი ზომის მონოლითურ კონსტრუქციებში. ისინი გამოწვეულია ბეტონირების პროცესში სითბური რეჟიმის არათანაბარი განაწილებით და ბეტონის ჯდენით.

საკუთარი წონით გამოწვეული ბზარები ვითარდება იმ შემთხვევაში, თუკი კონსტრუქციის ყალიბიდან ამოღების მომენტში ბეტონს არ აქვს მიღებული საჭირო სიმტკიცე. ასეთი ბზარები ჩნდება კონსტრუქციის შუა ნაწილში უმნიშვნელო რაოდენობით და მათი გახსნის სიდიდე 0.2მმ-ს აღწევს. მათ საწინააღმდეგოდ სპეციალური ღონისძიებების გატარება არ არის აუცილებელი.

ძალისმიერი ბზარები შეიძლება გაჩნდეს ორტესებრი ფორმის რკინაბეტონის კოჭის ფილის არეში მისი არასწორი ტრანსპორტირების დროს, ანდა შენახვისას არასწორად დალაგების გამო. ეს ბზარები კოჭის ექსპლუატაციის პერიოდში ხვდება შეკუმშულ ზონაში და თითქმის სრულიად ან ნაწილობრივ იხურება, თუკი არ მოხდება მათი სრული დახურვა, რეკომენდებულია მათი ცემენტის ხსნარით ამოვსება.

ტემპერატურული ჯდენის ბზარები.

როგორც დაკვირვებებმა აჩვენა, რკინაბეტონის კონსტრუქციების ექსპლუატაციის პირველ 2-7 წლამდე ხშირად ჩნდება უამრავი ბზარი სიდიდით 0.1მმ-დან 0.5მმ-მდე, რომლებიც წარმოიქმნება კონსტრუქციის სხვადასხვა ნაწილის ტემპერატურული ჯდენით – სხვადასხვა ნაწილში ტემპერატურის სხვაობით გამოწვეული ბეტონის არათანაბარი ჯდენით.

ტემპერატურული ბზარები, რომლებიც ჩნდება კონსტრუქციაში მისი ტემპერატურის ცვლილების გამო. ტემპერატურის ცვალებადობა ფასდება დღე-ღამური და დეკადური ციკლის სიდიდით. თვეების საშუალო ტემპერატურა ბზარების წარმოქმნაზე არ მოქმედებს. ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე ძალოვანი ფაქტორების დამატება ბზარებს აძლევს ორიენტირებულ ხასიათს.

ჩამოთვლილი დეფორმაციები ჩნდება ხიდის ექსპლუატაციის დასაწყისში და შემდგომ წყდება მათი ხელახალი გაჩენა. ბეტონის

ჯდენის დეფორმაციები ქრება ბეტონის სრულად გაშრობის შემდგომ ზედმეტი სინოტივის გაქრობასთან ერთად. ტემპერატურული ბზარები ტემპერატურის ხელახალი ციკლის განმეორების შემთხვევაში უკვე აღარ წარმოიქმნება.

ტემპერატურული-ჯდენის ბზარები ხშირად წარმოიქმნება ღრუიანი მალის ნაშენის კონსტრუქციებში რაც გამოწვეულია კონსტრუქციის შიდა და გარე ზედაპირების ტემპერატურათა სხვაობით, მაგ. ასეთი კონსტრუქციაა ხიდზე მდ.მტკვარზე.

0.2მმ-დან 0.3მმ-მდე სისქის ბზარები შეიძლება დაიფაროს ხსნარით, ხოლო უფრო დიდი გახსნის ბზარები საჭიროა ამოიფაროს.

ძალოვანი ბზარები ჩნდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაჭიმულ ზონაში უკვე მაშინ, როდესაც ძაბვა 3 მპას მიაღწევს. ე.ი. პრაქტიკულად მათი გაჩენა გარანტირებულია. კონსტრუქციის მალის შუა ნაწილში მათ აქვთ ვერტიკალური მიმართულება, ხოლო საყრდენებთან, სადაც გვაქვს მაქსიმალური ნორმალური ძალები – დახრილი. ბზარები 0.2-0.3მმ გახსნის სიდიდით არ არის საშიში და ისინი კონსტრუქციის სიმტკიცესა და ხანმედგობაზე გავლენას არ ახდენენ, ხოლო 0.5 მმ-ზე დიდმა ბზარებმა შეიძლება არმატურაზე მოახდინოს ზეგავლენა. იყო შემთხვევები რკინაბეტონის ხიდების დიდი ძალების კედლებში დახრილი ბზარების გაჩენისა, რომელთა აღმოსაფხვრელად საჭირო გახდა ჩატარებულიყო ძვირადღირებული მთელი რიგი ღონისძიებები. ამის მიზეზი იყო ნორმებში არსებული შეცდომები.

CH-200-82 და CH-365-67 ნორმებით დასაშვები იყო მთავარი გამჭიმავი ძაბვების დიდი სიდიდე, დიდი სიგრძის მალის ნაშენის გაანგარიშებისას. ამის გამო დიდ ძალებში ჩნდებოდა დახრილი ბზარების დიდი რაოდენობა კოჭის კედელში, რომელთა გახსნის სიდიდე 0.5-0.6მმ იყო.

წინათ თვლიდნენ, რომ წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები გაანგარიშებული უნდა იქნან ბზარმედგობაზე, თვლიდნენ, რომ კოჭის სარტყელში ბზარწარმოქმნაზე გაანგარიშება საკმარისია. თუმცა,

წინასწარდაძაბვისას კოჭის კედელიც განიცდის ერთგვარ ღუნვას და მასში ბზარების წარმოქმნა გარდაუვალია.

სამწუხაროდ, გვხვდება შემთხვევები, როცა რკინაბეტონის კონსტრუქცია არამართო არ არის ბზარმდეგი, არამედ დახრილი კვეთების სიმტკიცეც არ არის დაკმაყოფილებული. ასეთი შემთხვევების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ დარღვევები იყო გაანგარიშებისას. CH-365-67-ის მიხედვით დახრილი კვეთების გაანგარიშებისას ითვლებოდა, რომ განივი დატვირთვების ნაწილი გადაეცემოდა არმატურას, ხოლო ნაწილი ბეტონის კვეთის შეკუმშულ ზონას, ამავდროულად ეს ორივე ნაწილი თითქმის თანატოლი იყო.

დაპროექტებული წინასწარდაძაბვის სიდიდე ემსახურება მხოლოდ კონსტრუქციის ხანმდეგობის ზრდას და სიმტკიცის გაანგარიშებაზე არ მოქმედებს. შედგენილ კონსტრუქციებში ეს დებულება დარღვეულია. ბლოკების გადაბმის ადგილებში განივი ძალების გადაცემა ხდება მხოლოდ ხახუნის ძალებით, რომლებიც წარმოიქმნება კოჭის წინასწარდაძაბვით. ამიტომაც გადაბმის კვეთის ტვირთამწეობა არ არის დამოკიდებული არც კვეთის სიდიდეზე, არც გამოყენებული წებომასალის სიმტკიცეზე. ის დამოკიდებულია მხოლოდ დაძაბვის შედეგად წარმოქმნილი ხახუნის ძალების სიდიდეზე, მათ ხასიათზე.

პირაპირების ადგილებში ბზარების გაჩენა ბუნებრივი მოვლენაა და ისინი გარკვეულწილად ამცირებს ამ კვეთის მზიდუნარიანობას.

პირაპირების მდგომარეობის შეფასება ხდება პირაპირის ადგილებთან წარმოქმნილი ბზარების რაოდენობისა და გახსნის სიდიდის მიხედვით, ასევე პირაპირებთან შესაძლო გადაადგილების ზომით.

დაძაბვის ხარისხის კრიტერიუმად ითვლება ძაბვის სიდიდე, რომელიც კონტროლდება პირაპირებში დატვირთვით წარმოქმნილი ბზარების გახსნის ზომით.

ფიქსირებული დატვირთვისათვის პირაპირის თავზე აყენებენ 20 ტონიან მანქანას, მიღებულია პირაპირების მდგომარეობის შესაფასებელი გრაფაცია ქულებით:

5 ქულა - დეფორმაცია, რომელიც ახლოა, როცა გაჭიმულ ძალებზე მუშაობისას ბეტონში არ გვაქვს ბზარები, ამ დროს პირაპირებში დასაშვები ბზარების გახსნის სიდიდე $\delta = 2-3$ მკმ-მდე;

4 ქულა - პირაპირების შეჭიდულობის რღვევის სუსტი მაჩვენებელი $\delta = 3-7$ მკმ;

3 ქულა - პირაპირების შეჭიდულობის რღვევის დაწყების სტადია, როცა ბზარების გახსნის სიდიდე $\delta = 7-15$ მკმ;

2 ქულა - პირაპირების შეჭიდულობის რღვევა, რომელსაც თან სდევს გადაადგილება $\delta = 25-60$ მკმ;

1 ქულა - საავარიო მდგომარეობა $\delta > 60$ მკმ.

პირაპირებში ბზარების გაჩენა მიუთითებს ამ კვეთების განივ ძალაზე მუშაობის შემცირებას, ძაბვის გაზრდა ზრდის შეჭიდულობის ხარისხს, რომელიც უზრუნველყოფს ხახუნის ძალების გაზრდით კვეთის სიმტკიცეს, მაგრამ ზედმეტად დაძაბვა უკვე გაჩენილი ბზარების გამო იწვევს რღვევას.

კოროზიული ბზარები.

დამცავი ფენის დაზიანებით რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არმატურის კოროზიით გამოწვეული ბზარები გვხვდება არმატურის განლაგების ადგილებში.

აღსანიშნავია, რომ ბეტონის ჯდენით გამოწვეული ბზარებიც არმატურის განლაგების ადგილებში გვხვდება, მაგრამ კოროზიული ბზარები იმით განსხვავდება ჯდენის ბზარებისაგან, რომ ისინი უფრო წყვეტილი ხასიათისაა და იმ შემთხვევაში თუკი საკმაოდ დიდია გახსნა, მოჩანს ქანვის გამონაჟონები.

კოროზიული ბზარების გახსნის სიდიდე, იმის მიხედვით, თუ რა სტადიისაა კოროზია, შეიძლება იყოს თმის ღერის სისქიდან რამდენიმე სანტიმეტრამდე.

ამასთან დაკავშირებით შეიძლება გამოვყოთ არმატურის კოროზიის განვითარების ოთხი სტადია, რომელიც იწვევს ბეტონის დამცავი ფენის რღვევას.

I – როცა არმატურის კოროზიის შედეგად ჟანგის ფენა იმ სისქისაა, რომ არ შეუძლია დაახიანოს ბეტონის დამცავი ფენა. ამ დროს კოროზიის სიდიდე იზომება ელექტრო-ქიმიური მეთოდით.

II – ბეტონის დამცავ ფენაზე აღინიშნება ბზარები 0.1-5მმ-მდე გახსნით, რომლებიც განლაგებულია კოროზირებული არმატურის გასწვრივ.

III – არმატურის კოროზიით გამოწვეული ბზარები 5მმ-ზე მეტია. მაშინ იწყება დამცავი ფენის მთლიანი რღვევა.

IV – როდესაც დამცავი ფენა აღარ არსებობს, მოხანს გაშიშვლებული არმატურა.

კოროზიის ბზარების გავლენის ხარისხი რკინაბეტონის კონსტრუქციის სიმტკიცესა და ხანმედგობაზე დამოკიდებულია კონსტრუქციის სახეზე და დანიშნულებაზე.

რკინაბეტონის ღუნვაზე მომუშავე ელემენტებში, გაჭიმულ ზონაში გაჩენილი გრძივი ბზარები არ ცვლიან ელემენტის ტვირთამწეობის სიდიდეს, მაგრამ ისინი მოქმედებენ კონსტრუქციის ხანმედგობაზე, რადგანაც გახსნის ადგილებში ხდება წყლისა და ჟანგბადის შეღწევა არმატურამდე, რაც იწვევს მის კოროზიას.

წინასწარდაძებული რკინაბეტონის კონსტრუქციებში დაძებული არმატურის გასწვრივ აღმოჩენილი ბზარები მეტად სახიფათოა, ეს მიუთითებს არმატურის კოროზიაზე, წინასწარდაძებული არმატურა 5მმ კოროზიის შემთხვევაში უფრო სწრაფად კარგავს სიმტკიცეს, ვიდრე დაუძაბავი არმატურა დიამეტრით 16-22მმ, რადგანაც კოროზიით ყოველწლიურად 0.1მმ-ით კვეთის შემცირება 10 წელიწადში გამოიწვევს 1მმ-ით დიამეტრის დაპატარავებას, ეს კი დაძაბული 5მმ დიამეტრის არმატურის კვეთის 64%-ით შემცირებას იწვევს, ხოლო დაუძაბავი არმატურისთვის 24 მმ დიამეტრის დროს კვეთი 17%-ით მცირდება.

მაღის ნაშენის დაყრდნობის ადგილებში, სადაც გვაქვს სადეფორმაციო ნაკერები, როგორც წესი, ხდება წყლის შეღწევა რკინაბეტონში კონსტრუქციამდე. მათი გამუდმებით ზემოქმედების გამო კოჭის ამ ადგილებში ხშირად ხდება მუშა არმატურამდე წყლის შეღწევა, რაც ძალიან სახიფათოა.

ტემპერატურით გამოწვეული დეფორმაციებით, კოჭებზე ტემპერატურული ნაკერების ადგილებში განვითარებულმა ბზარებმა შეიძლება მიაღწიოს რამდენიმე სანტიმეტრის სიგრძესაც, რაც ნიშნავს საყრდენი კვეთის რღვევას და შეიძლება მოხდეს ჩამონგრევაც კი. ასეთი მომენტის თავიდან ასაცილებლად ზოგიერთ შემთხვევაში აუცილებელი ხდება დამატებითი საყრდენი ნაწილის მოწყობა მაღის მხრიდან, დამცავი ფენის დაზიანებული ნაწილის მოშორება და ხელახლა ცემენტის ხსნარით დაფარვა.

კოროზიისაგან დაცვის ეფექტური მეთოდია ბეტონის ფენის სისქის გაზრდა. რაც მეტი იქნება დამცავი ფენის სისქე, მით უფრო ნაკლებად მოსალოდნელია კოროზია, რაც ზრდის კონსტრუქციის ხანმედევობას.

ასევე, კოროზიისაგან დაცვის კარგი საშუალებაა ბეტონის ხარისხის ამაღლება. მკვრივი, მაღალი სიმტკიცის ბეტონი, რომელიც გაჯერებულია ჰიდროფობური შენაერთებით, კოროზიული მოვლენების განვითარებას ხელს უშლის, ამიტომაც წინასწარდაძახულ კონსტრუქციებში მხოლოდ მაღალი სიმტკიცის ბეტონი გამოიყენება.

მაღის ნაშენზე კოროზიული ბზარების აღმოჩენის შემთხვევაში აუცილებელია ჰიდროიზოლაციის და წყალამცილებელი სისტემების შეკეთება, რომ მზიდ ელემენტებზე არ ხდებოდეს წყლის შეღწევა.

თუკი ბზარების სიდიდე 0.2-0.3მმ-ია, აუცილებელია მათი ჰერმეტიზაცია ინექციებით. იმ ადგილებში, სადაც დამცავი ფენა დარღვეულია, აუცილებელია მათი ჩამოშლა, არმატურის დამუშავება ანტიკოროზიული საშუალებებით და შემდგომ დამცავი ფენის აღდგენა.

დასასრულს უნდა აღინიშნოს, რომ ბზარების გაჩენის მიზეზები, მათი კინემატიკა და მათი წარმოქმნის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდები ჯერ კიდევ ბოლომდე არ არის შესწავლილი და მოითხოვს შემდგომ სამეცნიერო კვლევას.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ხიდსაცდელმა სადგურმა“ 2003-2011 წლებში ჩაატარა აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოში ასევე სამცხე-ჯავახეთში საავტომობილო გზებზე სახიდე გადასასვლელების გამოკვლევა.

ხიდების უმეტესობა აგებულია მდ. მტკვარზე 70-იან, 80-იანი წლების დასაწყისში. დადგინდა, რომ ახალი ხიდების ძირითადი დაზიანებების მიზეზია მათი დაპროექტების ხარვეზები და კლიმატი (ნახ. 11-15)

ჩატარებულმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ხიდების უმრავლესობა აგებულია XX საუკუნის 70-90-იან წლებში, ხოლო ნახევარზე მეტი 80-იანი წლების ბოლოს იმ კონსტრუქციების სანაცვლოდ, რომლებიც იმ დროისათვის ვერ აკმაყოფილებდნენ არსებული ნორმების მოთხოვნებს.

დღევანდელ პირობებში მხოლოდ იმ ხიდების გამოცდა ხდება, რომლებიც ავარიულ მდგომარეობაშია.

ხიდების უმრავლესობის სავალ ნაწილს აღენიშნება ფენილის (საფარის) დაზიანებები სადეფორმაციო ნაკერების ადგილებში. ხიდების თითქმის 80% შემთხვევაში სადეფორმაციო ნაკერები დაფარულია ასფალტობეტონით. დაზიანების შემდგომი გავრცელებული სახეა ტროტუარის ბლოკების კიდების რღვევა. ამის ძირითადი მიზეზია წყალაცილების სისტემების გატარება ტროტუარის ბლოკის ქვეშ. როგორც წესი, ეს თავისთავად ზემოქმედებს მასზე.

როგორც შუალედური, ისე სანაპირო ბურჯების დაზიანების მიზეზი ხშირად არის საძირკვლის ფუძის არასაკმარისი გამოკვლევები და საპროექტო გადაწყვეტილება, ასევე სანაპირო ბურჯების კონუსის დაპროექტებაში დაშვებული ნაკლოვანებები. გამოკვლეული ხიდების თითქმის 50%-ში საჭიროა რეზინის საყრდენი ნაწილის შეცვლა, რადგან დროთა განმავლობაში ხდებოდა მათი დეფორმირება, დაბზარვა და ფენებად დაშლა.

ხიდების გარკვეულ ნაწილში შეინიშნება კონუსის გამაგრების კონსტრუქციის მწყობრიდან გამოსვლა. ყოველივე ამის გამო ზოგიერთ მათგანში აღინიშნება გადასასვლელი ფილების ქვეშ სიცარიელებები. ასევე შემჩნეულია ზოგიერთ მათგანში ფილების საყრდენი წოლანას ჯდენა საპროექტო ნიშნულის ქვეშ. ხიდების მცირე ნაწილს აღენიშნება სანაპირო ბურჯებთან ყრილის კონუსის მოშლა და გამოიყენებიან, როგორც საყრდენი ბოძები, რაც დიდ საშიშროებას უქმნის მათ ფუნდამენტის წყლით დაზიანების შემთხვევაში.

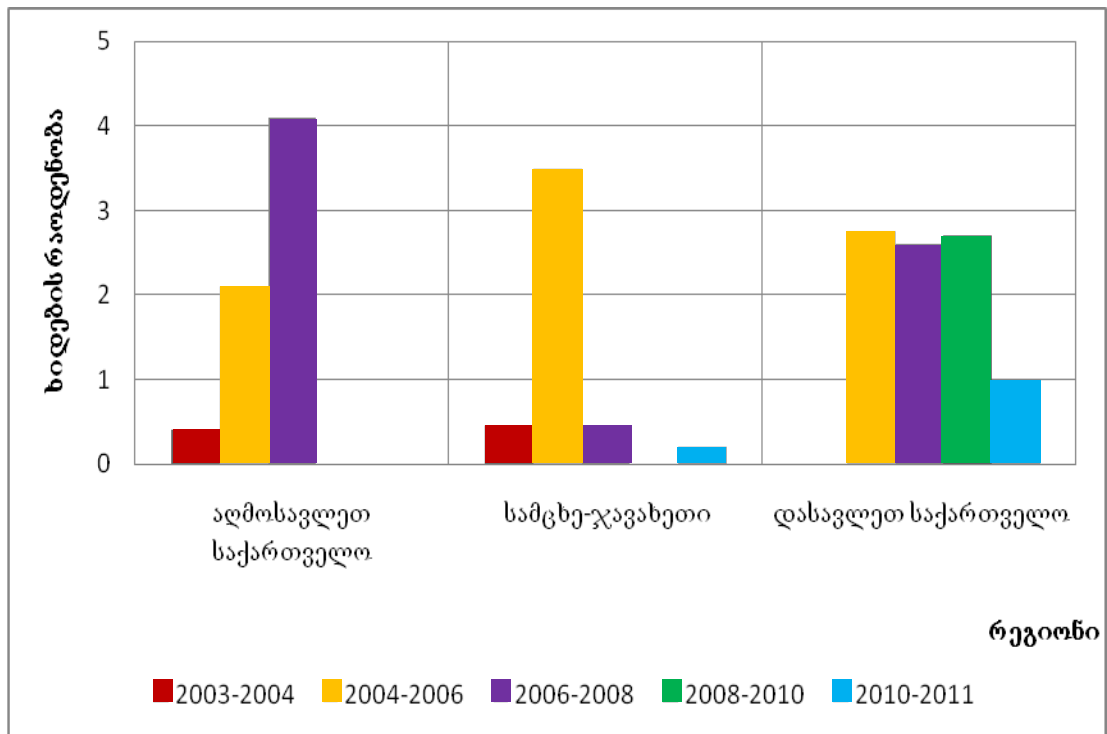
ხიდის კონსტრუქციის საერთო შეფასება მოხდა ნორმატიულ დოკუმენტზე დაყრდნობით, შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 16. დაყრდნობით. გამოკვლევის საფუძველზე ხდება ხიდის მდგომარეობის შეფასება ქულებით: 2 – არადამაკმაყოფილებელი, 3 – დამაკმაყოფილებელი, 4 – კარგი. ახლადაშენებული ნაგებობები იმსახურებენ 4 ქულას.

თითოეულ აღმოჩენილ დეფექტს ენიჭება დაზიანების კატეგორია ერთიდან სამამდე. რაც მეტია კატეგორია, მით მეტად მოქმედებს დაზიანება კონსტრუქციის მუშაობის ხარისხზე, ნახ. 16-ზე ნაჩვენებია ხიდის კონსტრუქციების დაზიანების კატეგორიის გამოსახულება, 97 გამოკვლეული ხიდისათვის.

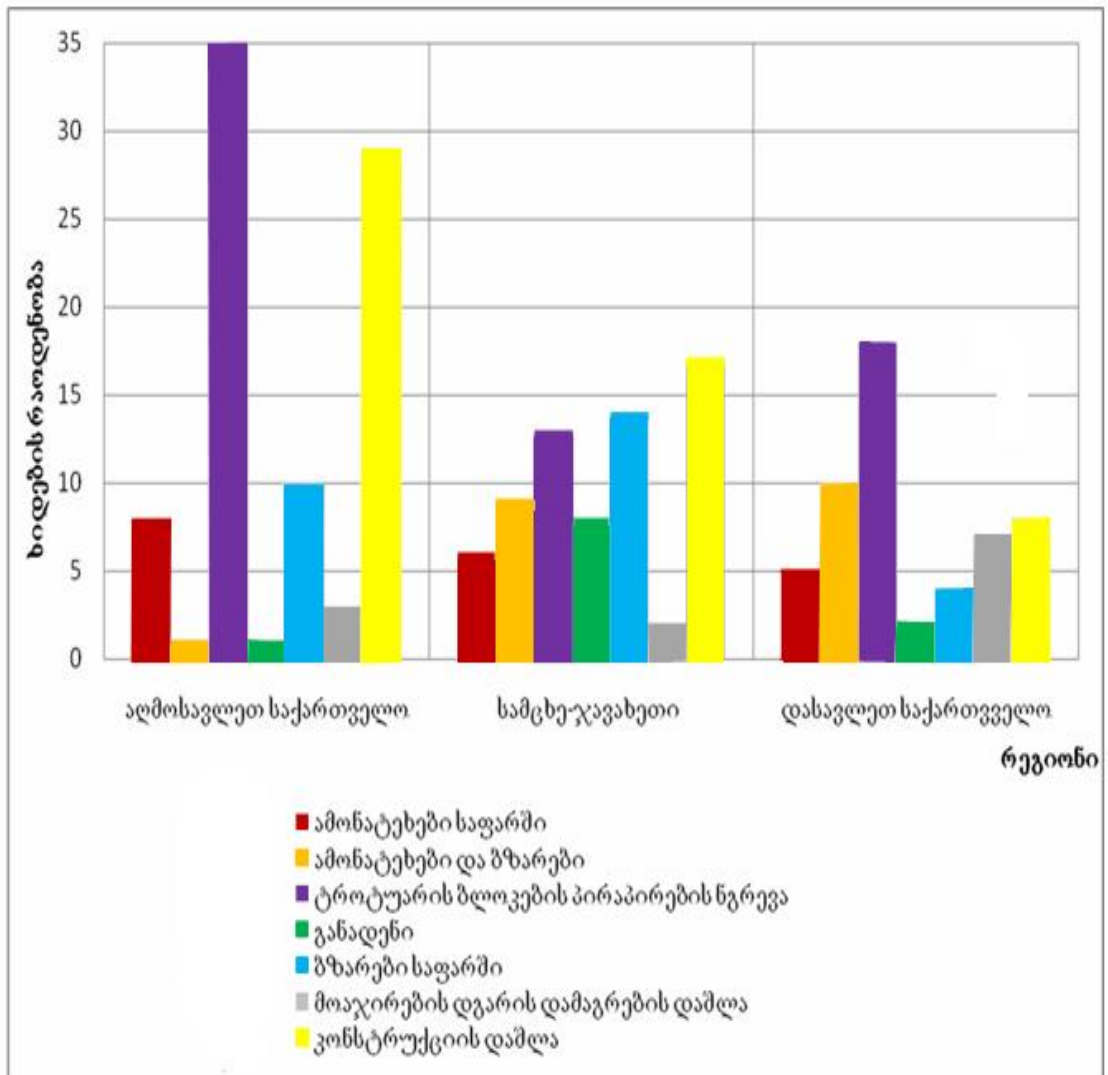
მაღის ნაშენში დაზიანებები უმრავლეს შემთხვევაში გამოწვეულია დატვირთვის შეუსაბამო სიდიდით, ანდა გახსნილი ბზარებიდან არმატურის ინტენსიური კოროზიით.

გამოკვლეული ხიდების უმრავლესობაში აღმოჩენილია ბზარები საყრდენი ნაწილების მიდამოებში და ბურჯის ტანში. ამის ძირითადი მიზეზი შეიძლება იყოს აგების ხარისხი. განსაკუთრებით ბურჯის ტანზე დაზიანებები გვხვდება წყლის დონის ცვლილების ადგილებში, რომლებიც შეიძლება გამოწვეული იყოს ყინულის ზემოქმედებითაც. როგორც წესი, ეს ადგილები ან არ არის დაცული სპეციალური გარსებით, ანდა საერთოდ დამცავი სისტემები არ მუშაობს.

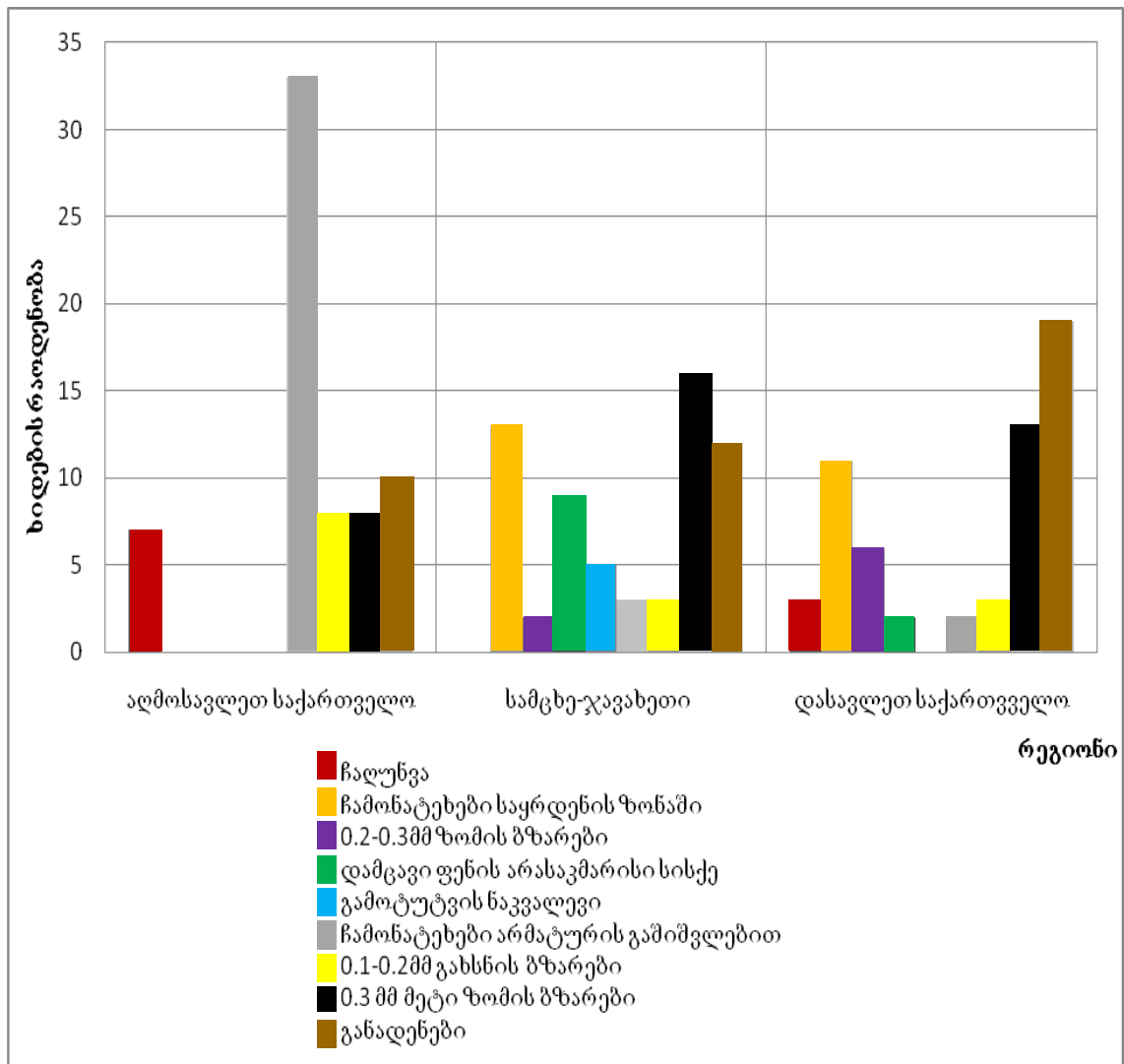
ნაგებობის უსაფრთხოების ზღვრის დაწვეა უფრო სწრაფად ხდება, ვიდრე მისი ხანმედეგობის შემცირება. ეს აიხსნება იმ სისტემური შეფასებიდან გამომდინარე, რაც ასახულია „ხიდების კონსტრუქციების დიაგნოსტიკის ინსტრუქციებში“ (ΦΔΑ-1996), რომლის მიხედვით ხიდის უსაფრთხოების ხარისხი დგინდება მისი ცალკეული ელემენტების დაზიანების შეფასებით, რომლებიც შედარებით ადვილად შეიძლება აღმოიფხვრას მცირე სარემონტო სამუშაოების ჩატარებით. ხოლო ხიდის დაზიანება მისი ხანმედეგობიდან გამომდინარე უფრო სერიოზულ და მაშტაბურ სამუშაოებს, ასევე კაპიტალდაბანდებას მოითხოვს.



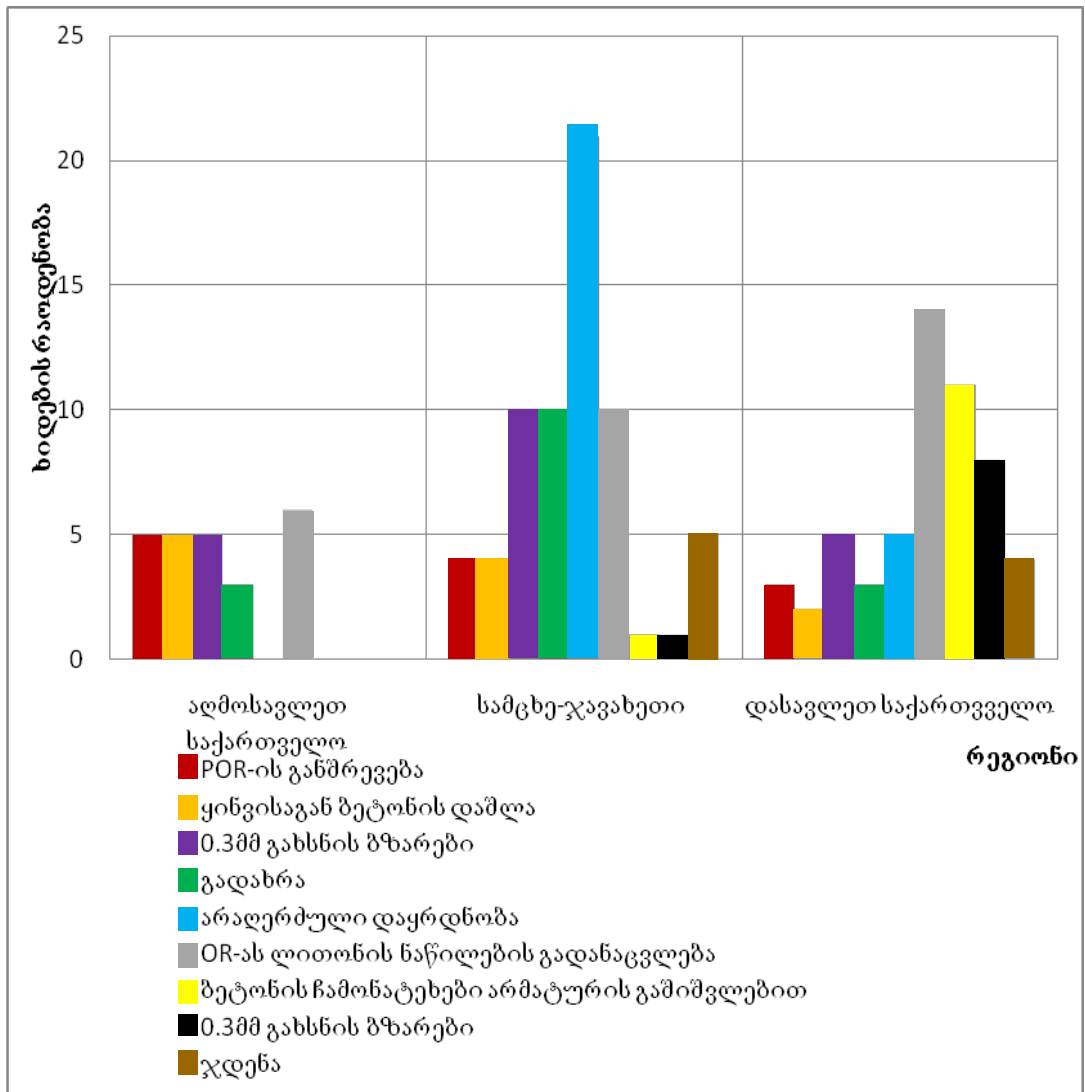
ნახ. 11. რაიონების მიხედვით გამოკვლეული ხიდების სნოვანების მანქანებლები.



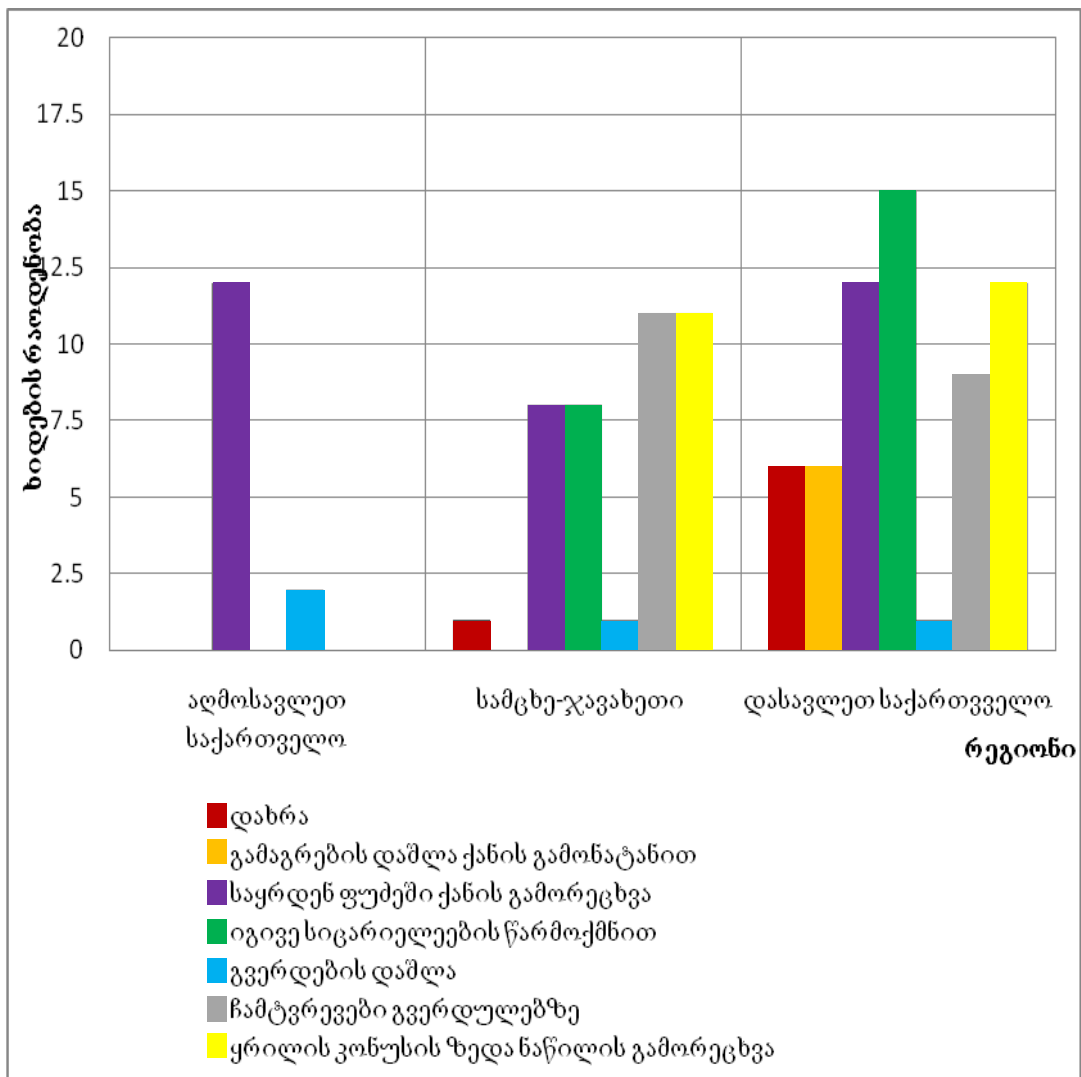
ნახ. 12. ხიდის საგზაო ფენილის დეფექტები და დაზიანებანი



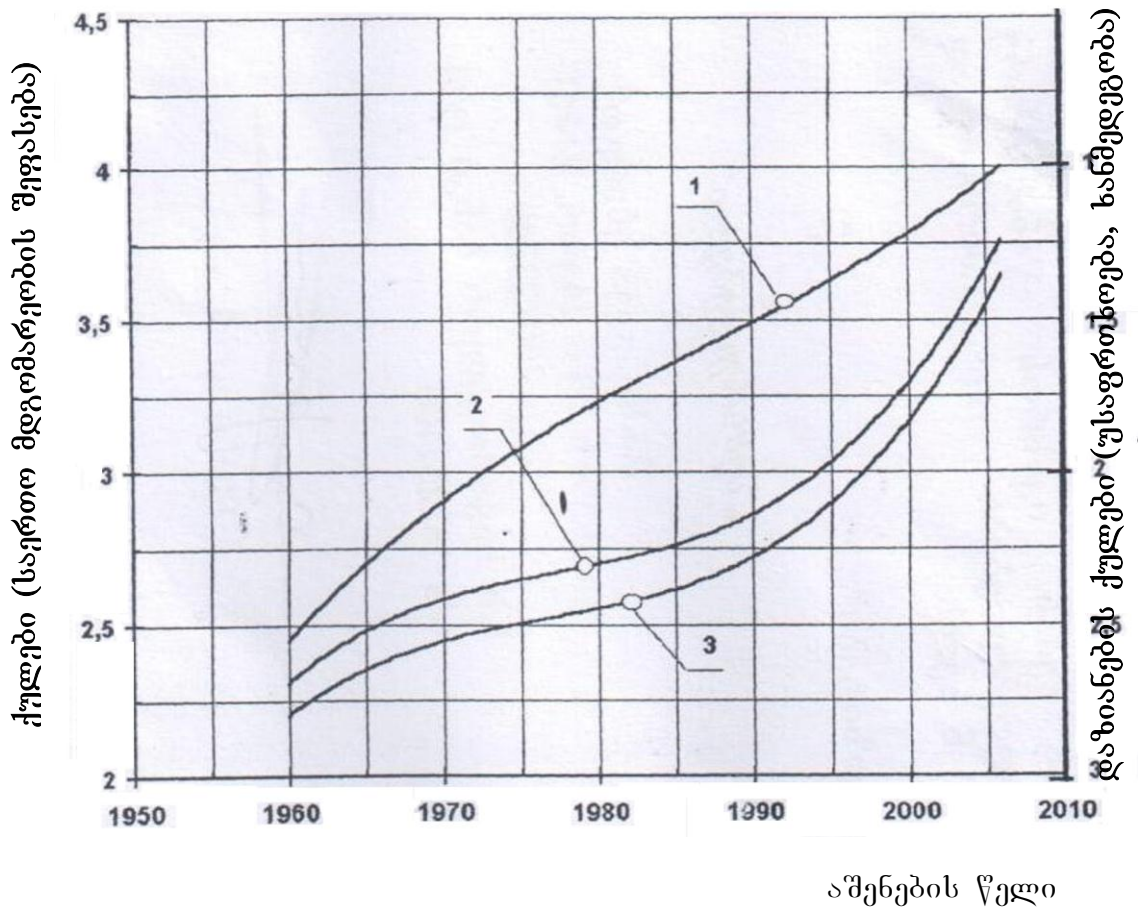
ნახ. 13. მალის ნაშენის დეფექტები და დაზიანებანი



ნახ. 14. ბურჯებისა და საყრდენი ნაწილების დეფექტები და დაზიანებანი.



ნახ. 15. ნაგებობასთან მისასვლელების დეფექტები და დაზიანებანი



ნახ. 16. კონსტრუქციის მდგომარეობის შეფასების გრაფიკი
 1 – უსაფრთხოება; 2 – ხანმედეგობა; 3 – შეფასება.

2.7. ხიდური კონსტრუქციების ნატურული გამოცდა

გამოცდის პროგრამის შედგენამდე უნდა ჩატარდეს სივრცითი ანგარიში საცდელ დატვირთვაზე და მისი შედეგებით საკმარისად ზუსტად განისაზღვრება საცდელი დატვირთვის წილი ნორმატიულ დატვირთვაში.

ნორმატიული დატვირთვისაგან გამოწვეული მონაცემები ძაღვების შესახებ მოწოდებული უნდა იქნას საპროექტო ორგანიზაციის მიერ. გამოცდის შემდეგ საჭიროა მისი გაანგარიშება.

მოქმედი ნორმებით [30] საცდელი დატვირთვის სიდიდე ნორმატიული დროებითი ვერტიკალური დატვირთვისთვის, რომელიც აღებულია დინამიკური კოეფიციენტით, მიიღება 70-100%-ის საზღვრებში.

გაუანალიზოთ აღნიშნული საზღვრები. მისაღები გამოცდის დროს საცდელი დატვირთვის მინიმალურმა ზომამ უნდა უზრუნველყოს მონტაჟისა და დამზადების იმ ფარული დეფექტების გამოვლენა, რომელთა აღმოჩენა ან საიმედოდ შეფასება ვერ მოხერხდა გამოკვლევის პროცესში.

მოვიყვანოთ რამდენიმე მაგალითი. 1976 წელს ქალაქ კიევში მდინარე დნეპრზე ვანტური ხიდის მიღებისას საცდელი დატვირთვის შედეგად მდგრადობა დაკარგეს კოჭის შიგნით განივმა კავშირებმა. ხიდის ჩაბარებამდე მოხდა მათი გაძლიერება და საექსპლუატაციო პერიოდში მუშაობდა შეუფერხებლად.

1990 წელს ქ. კიევში მდინარე დნეპრზე სამხრეთი ხიდის მისაღები გამოცდის დროს გამოვლინდა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით არასაკმარისად მტკიცე შეერთების რამდენიმე ადგილი, რომლებიც გამოკვლევის დროს ვერ შენიშნეს.

ქ.რიგაში მდინარე დაუგავაზე (1980 წ.) ვანტური ხიდის გამოცდის დასაწყისში აღმოჩნდა კოჭის კედლების დარღვევის ნიშნები (40მმ-მდე ამობურცვა) რაც გამოწვეული იყო ვანტების ძაღვებისაგან კოჭების გადატვირთვით, ეს კი მიუთითებდა ფოლადში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებაზე. მიუხედავად სიტუაციის აგარიული ხასიათისა, გამოცდა გაგრძელდა. საცდელი დატვირთვის თანდათან გაზრდის გზით გამზომი ხელსაწყოებით აკვირდებოდნენ კედლების

ქცევას. ამავე დროს შესაძლებელი გახდა, დადგენილიყო მათი გაძლიერების აუცილებელი მეთოდები და ხიდის ექსპლუატაციის რაციონალური რეჟიმი ამ სამუშაოების დამთავრებამდე.

ზემოთ აღწერილ შემთხვევებში შევქელით თავიდან აგვეცილებინა შესაძლო ავარიული სიტუაცია, აგრეთვე ხიდების დროული და ხარისხიანი გაძლიერება. ექსპლუატაციის შემდგომ პერიოდში ამ ობიექტებისადმი პრეტენზიები არ ყოფილა.

ზემოთ მოყვანილ შემთხვევებში საცდელი დატვირთვის არასაკმარისი მნიშვნელობებისას კონსტრუქციის ასეთი სერიოზული დეფექტების აღმოჩენა გართულებოდა და შეიძლება მიგველო ექსპლუატაციაში არასაიმედო ნაგებობა.

მეორეს მხრივ საცდელი დატვირთვის მეტისმეტმა სიდიდემ შეიძლება გამოიწვიოს გამოსაცდელი ნაგებობისათვის ძალიან მძიმე შედეგები. მაგალითისათვის მოვიყვანოთ ორი შემთხვევა:

1980 წელს რიგის პოლიტექნიკური ინსტიტუტი ასრულებდა ენგურჰესის კაშხალზე აგებული ხიდის გამოცდის სამუშაოებს. გამოცდის ხელმძღვანელებმა გადაწყვიტეს ნატურალ პირობებში შეემოწმებინათ გამჭოლი მალის ნაშენის ზედა შეკუმშული სარტყლის ზღვრული მდგომარეობა. შედეგი კატასტროფული გამოდგა – დაიკარგა მდგრადობა, მალის ნაშენი ჩამოინგრა და დაიღუპა რამდენიმე გამომცდელი.

მეორე შემთხვევაში მხოლოდ ბედნიერმა შემთხვევამ ააცილა კატასტროფას, რადგან ქ.ბარნაულში მდინარე კატუნზე აგებული ხიდის გამოცდის შესახებ ანგარიშის რეცენზიის შედგენისას ЦНИИС-ის თანამშრომლებმა ყურადღება გაამახვილეს იმაზე, რომ ხიდი არასაპროექტო ტექნოლოგიით იყო დამონტაჟებული, მალის ნაშენის კონსტრუქციები გადამეტაბული და ამიტომ გამოცდები ჩატარდა საანგარიშოზე გაცილებით გადამეტებული დატვირთვით. კიდევ კარგი, რომ ანგარიშის ავტორებმა ვერ შეაფასეს ხიდის კონსტრუქციის მარაგი. მათი გაანგარიშებები სწორი რომ ყოფილიყო, კატასტროფა გარდაუვალი იყო.

ამრიგად, ნებისმიერი გამოცდა, წინასწარი გამოკვლევის დიდი გულმოდგინების მიუხედავად, ინარჩუნებს რისკის გარკვეულ დოზას და

ეს უნდა იქნეს გათვალისწინებული. ხიდის გამოცდის CH_{II}-ში გათვალისწინებულია ყველა შესაძლო ზომები აგარიული სიტუაციის წარმოქმნისა და ჩამონგრევის რისკების თავიდან ასაცილებლად. ამ დოკუმენტის მიხედვით გამოხდა უნდა ჩაატარონ სპეციალურმა ხიდსაცდელმა ორგანიზაციებმა; გამოცდის წინ ხდება ხიდის საფუძვლიანი გამოკვლევა; დატვირთვა არ უნდა იყოს მეტისმეტად დიდი, ამიტომ მისი ზომები შეზღუდულია; სახიფათო სიმპტომების გაჩენის შემთხვევაში გათვალისწინებულია უსაფრთხოების ზომები და ა.შ.

ხიდების გამოცდა განსხვავდება სხვა კონსტრუქციების გამოცდისაგან, ხიდებისათვის დიდი დატვირთვის გამოყენება შეუძლებელია და ამიტომ მარაგის შეფასება ძირითადად ანალიზური გზით ხდება დატვირთვის ქვეშ მათი მდგომარეობისა და მუშაობის შესწავლის საფუძველზე.

ხიდის გამოცდა ხდება სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვაზე. როგორც წესი, დინამიკური გამოცდებისათვის ხიდზე სხვადასხვა სიჩქარით გაატარებენ ერთ, ან ერთრიგად განლაგებულ ორ დატვირთულ ავტომობილს. არათანაბრობის იმიტაციისათვის გასავლელის ნაწილი წარმოადგენს 30-50მმ სიმაღლის დაფებს, რომლებიც განლაგებულია მაღლის ნაშენის რხევების მარეგისტრირებელი ხელსაწყოების თავზე.

ავტომობილების ხიდზე გავლისას და მათი ხიდიდან გადასვლიდან გარკვეული დროის შემდეგ ჩაიწერენ მისი მზიდი ელემენტების ჩალუნვისა და დაბვეების დიაგრამებს. არ შეიძლება გამოვიყენოთ სავალი ნაწილისა და კავშირის ელემენტების რხევის დიაგრამები, რადგან მათი ხასიათი და მათზე დატვირთვის ზემოქმედება განსხვავდება მაღლის ნაშენის ანალოგიური ფაქტორებისაგან.

ათწლეულების მანძილზე და დღემდე ნორმატიული დოკუმენტებით [30, 36] რეგლამენტირებულია მაღლის ნაშენის ორი დინამიკური მახასიათებელი:

- დინამიკური კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოძრავი დატვირთვის დინამიკური ზემოქმედების გადამეტებას სტატისტიკურთან შედარებით;
- მალის ნაშენის კუთრი რხევების პერიოდები დატვირთვის გარეშე.

ამ სამუშაოში ჩვენ არ შევჩერდებით მითითებული მახასიათებლების ნორმატიულ მნიშვნელობაზე. ეს ფართო და ღრმა კვლევის საგანია. სამწუხაროდ, საავტომობილო ხიდებისათვის ასეთი კვლევები დინამიკური კოეფიციენტის ნაწილში არ ჩატარებულა 30-იანი წლებიდან, ხოლო კუთრი რხევის პერიოდის ნაწილში – თითქმის 70-იანი წლებიდან.

ახალი ან რეკონსტრუირებული ხიდების მიღების დროს დინამიკური გამოცდების მთავარი მიზანია მითითებული მახასიათებლების ფაქტობრივი მნიშვნელობის მოთხოვნილ ნორმებთან შესაბამისობის შემოწმება.

ქვემოთ მოყვანილია საცდელი დატვირთვის შერჩევის მაგალითი 420მ სიგრძის უჭრი მალის ნაშენის ხიდის მისაღები გამოცდისათვის.

მაგალითი: მალი 42მ, მოძრაობის 2 ზოლი.

მიღებულია თანაფარდობანი განივი ჩასმის კოეფიციენტებს შორის პირველი და მეორე ზოლების დატვირთვის მიხედვით

$$K_1 : K_2 = 1 : 0.5$$

ძალები A11 დატვირთვისათვის:

$$S_{A11} = (1 + \mu) \cdot (S_{sb.} + S_q)$$

$$S_{sb.} = 11 \cdot \left(1 + \frac{18.5}{21} \right) \cdot (1.0 + 0.5) = 31.0 \text{ ტ}$$

$$S_q = 1.1 \cdot 21 \cdot (1.0 + 0.6 \cdot 0.5) = 30.0 \text{ ტ}$$

$$1 + \mu = 1 + \frac{15}{37.5 + \lambda} = 1 + \frac{15}{37.5 + 42} = 1.19$$

$$S_{A11} = 1.19 \cdot (31.0 + 30.0) = 72.6 \text{ ტ}$$

საცდელ დატვირთვას წარმოადგენს Kamaz-5511

ავტოთვიომცდელელების კოლონა, სრული წონით თითოეული 20ტ (ავტომობილის სიმძიმის ცენტრი პრაქტიკულად ემთხვევა შუა ღერძს). ამ შემთხვევაში ძალები იქნება:

ა) 3 ავტომობილი; ერთსახელა ღერძებს შორის ინტერვალი – 10მ:

$$S_{საც.} = 20 \cdot \left(1 + 2 \times \frac{11}{21} \right) \cdot (1 + 0.5) = 61.4 \text{ ტ}$$

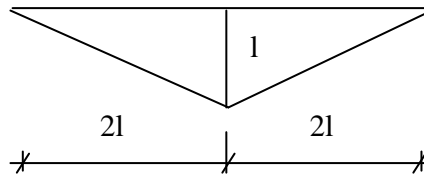
$$\frac{S_{საც.}}{S_{All}} = \frac{61.4}{72.6} = 0.85$$

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია საცდელი დატვირთვის მარტივი ექსპრეს-მეთოდიკა, რომელიც პრაქტიკულად გამორიცხავს იტერაციად და არ საჭიროებს რთულ კომპიუტერულ გაანგარიშებებს.

ეს მეთოდიკა დაფუძნებულია მოცემული შემთხვევისათვის სრულიად კორექტულ დაშვებებზე.

რადგან ამოცანა შეადგენს საცდელი და ნორმატიული დატვირთვების შედარებას, შეიძლება მივიღოთ ორივე დატვირთვისათვის ერთნაირი გამარტივებანი და ეს პრაქტიკულად არ შეცვლის მათ თანაფარდობას, კერძოდ:

- როგორც გამჭოლი, ისე უჭრი კონსტრუქციებისათვის მღუნავ მომენტზე საცდელი დატვირთვის შერჩევისას გავლენის წირის მოხაზულობა დაისახება სწორხაზოვანი სამკუთხედის სახით (ნახ. 17);



ნახ. 17. გავლენის წირი

- გავლენის წირის სამკუთხედის სიმაღლის ორდინატა ერთის ტოლი აიღება;

$S_{გაშ.}$ - საცდელი ავტომობილის ხიდზე გავლისაგან გამოწვეული გაზომილი სტატისტიკური ღუნვა (ძაბვა);

$S_{ნორ.}$ - ნორმატიული დატვირთვით გამოწვეული სტატიკური ღუნვის (ძაბვის) შესაბამისი მნიშვნელობა.

დასკვნები

1. განხორციელებულია არმატურისა და ბეტონის ნორმირებული საანგარიშო წინააღობების კორექტირება საქართველოში მოქმედი ხიდური ნაგებობების სამშენებლო ნორმების და საიმედოობის დაახლოების მიზნით დასავლეთის ქვეყნების ნორმებთან.

ეს განაპირობებს პერსპექტივას ჩვენი ქვეყნის ეკონომიკისათვის შედარებით უმტკივნეულო „საქართველოს ხიდური მეურნეობის ჩართვას ევროკავშირში“ და მისი მომავალი სტანდარტების სიაში, მათ შორის ყველაზე რეალურად მიგვაჩნია ევროკოდების შემდგომი დამუშავება.

2. ნატურული გამოკვლევების მონაცემების საფუძველზე დამუშავებულია რკინაბეტონის ხიდური კონსტრუქციების ნარჩენი რესურსის შეფასების მეთოდისა და მისი საიმედო მუშაობის ვადის დასადგენად.

მეთოდის განიხილავს ბეტონის კარბონიზაციას, ბეტონში ქლორიდ-იონების დიფუზიას, არმატურის კოროზიას, როგორც შემთხვევით პროცესს, ხოლო დამცავი დენის სისქეს, როგორც შემთხვევით სიდიდეს.

3. დამუშავებულია არმატურის ცვეთის კოროზიული პროცესის ალგორითმი, რომლის საფუძველზე შესაძლებელია კომპიუტერული პროგრამის დამუშავება.

4. დამუშავებულია ხიდური კონსტრუქციების ხანმედგობის მეთოდის ალბათური მეთოდის მიდგომით, რომელიც ემყარება კონკრეტულ ხიდურ ნაგებობას და არსებულ თეორიულ გამოცდილებას, რომელიც იძლევა კონსტრუქციის საიმედო მუშაობის ფიზიკური ვადის განსაზღვრის საშუალებას, მოცემული უზრუნველყოფით.

მოცემულია ხიდური კონსტრუქციების ხანმედგობის განმსაზღვრელი კრიტერიუმები, რომლებიც ეფუძნება ევროკოდების რეკომენდაციებს.

5. დასაბუთებულია საიმედოობის თეორიის დებულებების გავრცელება ისეთ მცირე სერიულ და უნიკალურ ნაგებობებზე, როგორცაა ხიდური კონსტრუქციები.
ფორმირებულია საიმედოობის კოეფიციენტის ცნება, მისადაგი ხიდური ნაგებობებისათვის.
შესრულებულია არმატურისა და ბეტონის ნორმირებული საანგარიშო წინააღობის კორექტირება და მისი დაკავშირება საიმედოობის ნორმირებულ დონეებთან პროგრნოზირებადი მდგომარეობის ნაცვლად.
6. ხიდების კონსტრუქციების ნატურული გამოკვლევისადმი სისტემური მეთოდოლოგიის გამოყენებით ჩატარებულია რკინაბეტონის ხიდური ნაგებობების დამახასიათებელი დეფექტების და დაზიანების ანალიზი
გამოკვლევის შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც ნატურული გამოკვლევის პროცესში და შეფასებისათვის, აგრეთვე ხიდური კონსტრუქციების ნორმირებისა და პროექტირებისთვისაც.
7. დადგენილია, რომ დეფექტები და დაზიანებები უფრო მეტ გავლენას ახდენენ ხანმედევობაზე, ვიდრე უსაფრთხოებაზე.
მოცემულია ხიდების ანაკრები კონსტრუქციის ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შეფასება, რომლებიც გავლენას ახდენენ მათი ხანმედევობის დაქვეითებაზე.

ლიტერატურა

1. გ. დათუკიშვილი, ზ. გელაძე, მ. დივანიძე, დ. ტალაშვილი. რკინაბეტონის ხიდების ხანმედგობის საკითხებისათვის// ტრანსპორტი №2, თბილისი, 2007,-გვ. 27-29;
2. გ. კიზირია. ხიდები და ნაგებობები გზებზე. განათლება, თბილისი, 1980-419გვ.;
3. ნ. მაისურაძე. სატრანსპორტო გვირაბების ექსპლუატაციისადმი სისტემური მიდგომის მეთოდოლოგიის დამუშავება // აკადემიური ხარისხის სადოქტორო დისერტაცია, თბილისი, 2008,-128გვ.;
4. ი.სლოვინსკი, ზ. გელაძე. მოსაზრებანი ბარათაშვილის სახელობის ხიდის რეკონსტრუქციის შესახებ//ტრანსპორტი, №1, თბილისი, 2006,-გვ.1-3;
5. თ. ცვარიანი. ხიდების გამოცდისადმი სისტემური მიდგომა //აკადემიური ხარისხის სადოქტორო დისერტაცია, თბილისი, 2008,-142გვ.;
6. თ. ცვარიანი. ხიდების ნატურული გამოკვლევის მეთოდოლოგიისათვის // ტრანსპორტი №2, თბილისი, 2006,-გვ. 30-32;
7. ბ. ჭიღვარია. რკინაბეტონის ხიდების გაანგარიშების საზღვარგარეთული ნორმების ანალიზი // მეცნიერება და ტექნოლოგიები №3, თბილისი, 2011, გვ. 81-83;
8. ბ. ჭიღვარია. ხიდის მაღის რკინაბეტონის კოჭის განივი ბზარმედგობის ნიშნის მიხედვით ალბათური შეფასება//მშენებელი
9. თ. ჭურაძე, ზ. კიკნაძე, ი.ქავთარაძე, თ. ცვარიანი. ავტოგზის ხიდის მაღის ნაშენის ექსპერიმენტალური კოჭის გამოცდა//ტრანსპორტი, 2004, -გვ.19-28;
10. თ. ჭურაძე, თ. ცვარიანი, ხიდებისა და გვირაბების კათედრასთან არსებული ხიდსაცდელი სადგურის ამოცანები//ტრანსპორტი №1, თბილისი, 2003,-გვ. 29-30;
11. თ. ჭურაძე, ი. შენგელია, გ. თაყაძე. საავტომობილო და სარკინიგზო ხიდების ფუძეებში გრუნტის ამტან უნარიანობის გაზრდა // მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №4-6, 1999, გვ. 85-86;
12. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К., Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной среде. Москва, 1976, 205с.;
13. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и надёжности в рамках сооружений. Страбзон, Москва, 1982, -351с.

14. Бондаренко В.М., Иоселевский Л.И., Чирков В.П. Надёжность строительных конструкций и мостов, Изд. Академии Архитектуры и Строительных наук. Москва, 1996, -220с.;
15. Британские нормы. BS5400, Москва, 1991ж
16. Васильев А.И. Новые автомобильные нагрузки на мосты. Вестник мостостроения №3-4, Москва, 2002, с.66-69;
17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей, Москва, 1969, -570 с.;
18. Владимирский С.Р. Современные методы проектирования мостов. Импульс, 1998,410с.;
19. Евграфов Т.К. Лялин Расчёты мостов по предельным состояниям. Транжелдориздат. Москва, 1962, 336с.
20. Еврокод 1. Основы расчёта и воздействие на конструкцию, ч-3. Временные нагрузки на мосты. Брюссель, 1991
21. ЕКБ ФИП Международные рекомендации для расчёта и осуществления конструкций из обычного и преднапряжённого железобетона. Принципы/Пер. с фран. яз., Москва, НИИЖБ, Госстроя СССР, 1970
22. Иоселевский Л.Н. Практические методы управления надёжностью железобетонных мостов. Москва, 1999, -293 с.
23. Иоселевский Л.Н., Носарев А.В., Чирков В.П., Шепетовский О.В. Железобетонные пролётные строения мостов индустриального изготовления. Москва, Транспорт, 1995,-311с.
24. Клир Д.Ж. Системология. Автоматизация решения системных задач (перевод с англ. под ред. А.Ц. Горяина) «Радио и связь». Москва, 1990, 540с.
25. Москвин В.М. Иванов Р.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, Методы их защиты. Москва, 1980, 536с.;
26. Нормы проектирования мостов и труб КНР. j021-89, Пекин.
27. Нормы США, Interium Specification Bridge, 1991;
28. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение системный анализ. Высшая школа. Москва, 1989, 376с.;
29. СНиП 2.05.03.-84. Мосты и трубы/Госстрой СССР, 1985.
30. СНиП 3.06.04.-91. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний
31. Стрелецкий Н.С. Об исчислений запасов прочности сооружений. труды МИСИ №1, 1938.
32. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учёта коэффициента запаса прочности сооружений, Москва, 1947.

33. Тевдорашвили Н.Е. (в соответствии). Берегоукрепительные сооружения на дорогах, пролегающих в узких горных долинах. Тбилиси, 1971, -85с.
34. Тархнишвили В.А. Расчет тонких упругих пластин и оболочек с отверстиями. Тбилиси, технический университет, 1990, с. 222
35. Тевдорашвили Н.Е. Хаак А. Обзор мирового тоннелестроения за 1999 год // Подземное пространства Мира, 1999, № 6. С. 5-17
36. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных городских мостов и труб. СН 200-68. Москва, 328 с.
37. Цернант А.А. Системология измерений параметров природно-технических систем (ПТС). Сб. «Экспериментальные исследования инженерных сооружений» - 7-я всесоюзная конф. (ЭНИС). г. Суммы, 1991, с.383-386.
38. Цернант А.А. Методологические основы создания технологий третьего тысячелетия для транспортного строительства. труды ЦНИИС, вып. №203, Москва, 2000,-с.14-40.
39. Цхевадзе Р. Некоторые аспекты сейсмического напряженно-деформированного состояния подземных сооружений – Энергия №3, Тбилиси, 2009, 32-35 – Т. Чурадзе, Дж. Киласония, М. Грузелишвили.
40. Б. Чигвария. Современное состояние и перспективы отечественного метростроения // Транспорт №3-4, Тбилиси, 2010, стр. 40-41.
41. Цхевадзе Р. Необходимость систем управления технологическими процессами автодорожных тоннелей – Транспорт №1-2, Тбилиси, 2009, 44-45 – Т. Чурадзе, М. Тананашвили.
42. Чирков В.П. Методы расчёта сроков службы железобетонных конструкций. М.МИИТ, 1996. 60с.
43. Чирков В.П., Антропова Е.А. Прогнозирование срока службы автодорожных мостов. В сб. «Надёжность строительных элементов и систем». Самара, 1997. 78-84с.
44. Чирков В.П. Вероятностные методы расчёта мостовых железобетонных конструкций. М. Транспорт, 1980, 128с.
45. Чирков В.П. Основы теории расчёта ресурса железобетонных конструкций. Бетон и железобетон. 1992, №10.
46. Чирков В.П., Цернант А.А., Антропова Е.А., Бегун И.А. Сроки службы – основа проектирования транспортных систем. Транспортное строительство. №1, 2000.
47. Ю. Словинский, Г. Датукишвили, Б. Маисурадзе, И. Утмелидзе, Г. Цулукидзе, Б. Чигвария. Испытание железобетонной предварительно

напряженной балки пролетного строения автодорожного моста // Транспорт №3-4, Тбилиси, 2010, стр. 41-44.

48. Г. Датукишвили, Ю. Словинский, Б. Маисурадзе. Новый мост через р. Риони.// Транспорт №1, 2004, с. 17-18.
49. K. Andrade and oth. Cover cracking and amount of rebar corrosion. concrete repair, rehabilitation and corrosion. London, 1996, p.263-273.
50. T.Y. Lin, F. Kulka Concrete Bridge Protection, Repair and Rehabilitation. Relative to Reinforcement Corrosion. A Methods.//Canadian Journal of Civil Engineering, №8, 1985.
51. T. Churadze, M. Maisuradze, N. Maisuradze, B. Chigvaria. To problem of estimation of degradation processes in concrete and bridge structures reinforcement//Problems of Mechanics №2(35), Tbilisi, 2009, p.58-66.
52. Malett. G.R. Repair of concrete Bridges. London, 1994.
53. A.A. Basiliev. Evaluation of corrosive wear of principal reinforcement in bars of road bridge span constructions.//Concrete and reinforced concrete. №2, Moscow, 2000, p.20-23.
54. World underground space, №2, 1995, p.57.
55. Sarja A., Vesikari (ED). Durability Design of concrete structures. RILGEM Report of TC130-CSL. Espo, 1994, p.130.
56. HETEK. Chloride penetration in concrete. State of the Art. Copenhagen, 1996, p.151.
57. Schiessel P. (ED) Corrosion of Steel in Concrete. RJLEM/ Report 1 - №1, Chairman and Hall. 1988, 102p.

დანართი