საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ეკატერინე გელაძე

სამშენებლო კონსტრუქციების ოპტიმიზაციის პრობლემა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი
2012 წ.

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

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრ. პროფესორი **ი. მშვენიერაძე**

რეცენზენტები: ტ.მ.დ., სრ. პროფ. **ს. ესაძე**
ტ.მ.დ., **ს. ბლიაძე**

დაცვა შედგება 2012 წლის 29 ივნისს, 14^{00} საათზე.
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 507.
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკასა და სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს
სწავლული მდივანი,
სრული პროფესორი მ. კუბლაშვილი

ნაშრომის საერთო დახასიათება

ნაშრომის აქტუალურობა განპირობებულია იმ რეალობით, რომ კონსტრუქციის ოპტიმალური პროექტირება, საიმედოობასთან კავშირში, წარმოადგენს თანამედროვე ტექნიკის, წარმოებისა და მშენებლობის ცენტრალურ პრობლემას.

სარწმუნო ალბათობის (უზრუნველყოფის) რაოდენობრივი ზომა- უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა, განისაზღვრება მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის საფუძველზე ჩამოყალიბებული საიმედოობის, ანუ როგორც მას ადრე უწოდებდნენ, სამშენებლო კონსტრუქციების უსაფრთხოებაზე გაანგარიშების თეორიით.

ნაშრომის მიზანია: კონსტრუქციის მასის შემცირების მეშვეობით, ლითონის ეკონომია, რასაც განაპირობებს გაანგარიშების ხერხების მიზანმიმართულად მისადაგება; გაუმართლებელი სიმტკიცის მარაგის და კონსტრუქციული ზედმეტობების ლიკვიდაცია; ამაღლებული და მაღალი სიმტკიცის ფოლადების გამართლებულად გამოყენება.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს, ოპტიმიზაციის მეთოდის ანალიზით (ფუნქციის ექსტრემუმის, ამ შემთხვევაში მინიმუმის,საძიებელი ოპტიმალური სიდიდით გაწარმოებული ფუნქციის ნულთან გატოლებით), ნაგებობათა ელემენტების შემდგომ, კონსტრუქციულ ოპტიმიზაციაზე გადასვლა.

მეცნიერული სიახლე პირველ ყოვლისა, წარმოჩენილია იმ უზუსტობების ანალიზით და შესწორებებით, რაც თან ახლავს ცნობილი მეცნიერების (ა.რჟანიცინი, ვ.რაიზერის) მონოგრაფიებში მოცემულ ინტერპრეტაციას და რომლითაც ჩვენ ვსარგებლობთ, ფუნქციის მინიმიზაციის ამოცანის ამოხსნა, მარაგის კოეფიციენტთან მიმართებაში მცდარია. არ არის გამოთვლილი და გაანგარიშებული კონსტრუქციული ელემენტის ოპტიმალური განივი კვეთის ფართობის უზრუნველყოფის (სარწმუნო ალბათობის) ხარისხი, სიმტკიცის ვარიაციის სხვადასხვა კოეფიციენტისა და სტანდარტების რიცხვის დროს.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. მდგომარეობს დამუშავებული მეთოდებისა და კომპიუტერული პროგრამების გამოყენების შესაძლებლობაში სამშენებლო, მანქანათმშენებლობის, გემთმშენებლობის

კონსტრუქციებისა და ოპტიმიზაციის ნებისმიერი ამოცანის გადაწყვეტის ძიების გარკვეული მეთოდებით გაანარიშებისათვის. იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას საპროექტო ორგანიზაციებში, სხვადასხვა დანიშნულების კონსტრუქციული ელემენტის დაპროექტებისას.

შედეგების უტყუარობა განპირობებულია იმით, რომ გადამწყვეტი განტოლებების ფორმირებისას გამოიყენება საყოვეთაოდ მიღებული ჰიპოთეზები და დაშვებები, რომელთა ადეკვატურობა დამტკიცებულია. უტყუარობა მტკიცდება, აგრეთვე, სხვადასხვა ავტორების მიერ მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგების დამაკმაყოფილებელი თანდამთხვევით.

ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები. სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ნაშრომი. მოხსენებულია ერთ საერთაშორისო კონფერენციაზე. ხოლო მთლიანი ნაშრომი სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ ორ სემინარზე.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა ნაშრომის სრული მოცულობა არის 111 გვერდი. იგი მოიცავს: შესავალს; პირველ თავს შესაბამისი ქვეთავებით, სადაც მოცემულია ლიტერატურის მიმოხილვა, ვარიანტული და ოპტიმალური პროექტირების არსებული მეთოდების და გადაწყვეტების ანალიზი. მეორე თავს ქვეთავებით, სადაც წარმოდგენილია დისერტაციის ძირითადი მეცნიერული სიახლეები, შედეგები, მათი ანალიზი. დასკვნა და გამოყენებული ლიტერატურა.

ნაშრომის შინაარსი

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

პირველ თავში გაანალიზებულია თანამედროვე მოთხოვნები სამშენებლო კონსტრუქციების ოპტიმიზაციის პრობლემასა და მისი გადაწყვეტის მეთოდებზე.

კონსტრუქციების ოპტიმალურ პროექტირებას, საიმედოობის თეორიის პოზიციიდან ანალიზით, დიდი ყურადღება ეთმობა მრავალი წლის განმავლობაში. დღეისათვის გამოიკვეთა სამშენებლო კონსტრუქციების საიმედოობის თეორიის ინტენსიური განვითარების

პროცესი. ამ თეორიის ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან მიმართულებად ითვლება კონსტრუქციების ოპტიმიზაცია, საიმედოობის კრიტერიუმების გათვალისწინებით.

კონსტრუქციული ფორმის ოპტიმიზაციის პრობლემა იმდენი ხანია არსებობს, რამდენ ხანსაც თვით კონსტრუქციები. ყველა დროში ინჟინრული აზროვნება მიმართული იყო იმ ძირითადი საკითხების გადაწყვეტისკენ, რომლებიც დაკავშირებულია მასალების მაქსიმალური ეკონომიის მიღწევასთან. კონსტრუქციების დამზადების ტექნოლოგიის სრულყოფასთან და მათი მონტაჟის ვადების შემცირებასთან. ბუნებრივია, რომ პრობლემის გადაწყვეტისადმი მიდგომა ყოველ ისტორიულ ეტაპზე განპირობებული იყო ამავე ეტაპზე არსებული მშენებლობის თეორიისა და პრაქტიკის დონით.

კონსტრუქციის ეფექტიანობას განსაზღვრავს, პირველ ყოვლისა, მასალა, რომლისგანაც იგია შესრულებული. კანასკნელ ხანს ლითონის კონსტრუქციებში ფართოდ იყენებენ ამაღლებული და მაღალი სიმტკიცის ფოლადებს, მაღალი სიმტკიცის ბაგირებისა და მავთულკონების ჩათვლით, რომლებიც იძლევა კონსტრუქციის მასის მნიშვნელოვან შემცირების შესაძლებლობას. ამ მასალების რაციონალური გამოყენების საფეროსა და ტრადიციულ სისტემებში მათი ხმარების ეფექტიანობის გამოკვლევისადმი მიძღვნილია რიგი შრომები.

ფოლადის და ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციების პროექტირების მოქმედი ნორმები შეიცავს მითითებებს ამა თუ იმ მარკის ფოლადებისა და შენადნობების გამოყენების შესახებ, ნაგებობის დანიშნულებაზე დამოკიდებულებით.

კონსტრუქციის ელემენტებში სხვადასხვა მარკის ფოლადის რაციონალური განაწილება მჭიდროდაა დაკავშირებული სისტემის ტიპთან და წარმოადგენს ოპტიმალური პროექტირების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას.

ნაგებობაში გამოყენებული კონსტრუქციის ზომები ინიშნება უშუალოდ დამპროექტებლის მიერ, რომელიც აყალიბებს სისტემის გეომეტრიულ სქემას.

გეომეტრიული სქემის შერჩევის რეკომენდაციები ყველაზე უკეთ არის შემუშავებული სტატიკურად რკვევადი სისტემებისათვის,

რომლებშიც შიგა ძალვების განაწილება ცალსახად განისაზღვრება მოქმედი დატვირთვებით და სისტემის გეომეტრიით. რაც შეეხება სტატიკურად ურკვევ სისტემებს, აქ სიტუაცია გაცილებით რთულია.

ღერძების ერთნაირი მოხაზულობის მქონე სისტემებისათვის ყველაზე მეტად რაციონალური სტატიკური სქემის შერჩევას, ე.ი. სახსრებისა და კვანძური შეუღლებების განლაგების განსაზღვრას, აგრეთვე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კონსტრუქციის ოპტიმიზაციის საერთო ამოცანის გადაწყვეტისას. მიღებულ გადაწყვეტილებაზე დამოკიდებულია, უპირველესად, შიგა ძალების, ე.ი. მასალის განაწილება ცალკეულ ელემენტებს შორის. ეს ამოცანა ნაწილობრივ გადაწყვეტილია ფართოდ გავრცელებულ ზოგიერთ კონსტრუქციისათვის (მაგ. სახსრულად დაყრდნობილი და კონსოლური კოჭებისათვის, სახსრიანი თაღებისათვის, რიგი ჩარჩოვანი სისტემებისათვის).

ზოგად შემთხვევაში ნაგებობის სტატიკური სქემის შერჩევა შესაძლოა სხვადასხვა ვარიანტების შედარების საფუძველზე. ამასთან შესაძლოა გადაწყვეტები, რომლებიც ემყარება კონსტრუქციის ოპტიმალური სტატიკური სქემის შერჩევას. მაგალითად, ოპტიმალური სტატიკურად ურკვევი სისტემა ავტომატურად იქცევა სტატიკურად რკვევადად, ზედმეტი კავშირების გამორიცხვის შედეგად.

ღეროვანი კონსტრუქციის ელემენტთა განიკვეთის ტიპების საკითხის გადაწყვეტა, როგორც წესი, ხდება მასის მინიმუმის კრიტერიუმით გაერთმთლიანების პოზიციიდან, უნიფიკაციისა და ტიპიზაციის მოთხოვნათა გათვალისწინებით. ამის საილუსტრაციოდ შეიძლება დავასახელოთ გამჭოლი კოჭების, შედგენილი განივი კვეთის გაერთმთლიანების მეთოდიკა, ცენტრალურად და გარეცენტრულად შეკუმშული სვეტების მთლიანი ან გამჭოლი განივი კვეთის და მსუბუქი წამწეების კუთხოვანებიანი კვეთების დანიშვნის რეკომენდაციები და ა.შ. ტერმინი “ოპტიმალური დაპორქტება” წარმოიშვა, სახედობრ, დასაპროექტებლად შერჩეული კონსტრუქციის ვარიანტის სხვადასხვაგვარი მიდგომით გაანგარიშების შემთხვევაში. თუ კონსტრუქცია სტატიკურად რკვევადია, მის ელემენტებში ძალვები განისაზღვრება შერჩევამდე. სტატიკურად ურკვევი სისტემების გაანგარიშებისას, სამშრნებლო მექანიკის კლასიკური მეთოდებით

(ძალთა, გადაადგილებათა, კომბინირებული მეთოდებით), საჭიროა თავიდან დავნიშნოთ კვეთები ან მათი სიხისტეები და შემდეგ განვსაზღვროთ კონსტრქუციის ელემენტებში მოქმედი ძალვები. ასეთი მიდგომისას გაანგარიშების საბოლოო შედეგი დამოკიდებულია დამპორექტებლის გამოცდილებასა და ინტუიციაზე. წინასწარ დანიშნული კვეთების ზომებზე დამოკიდებულია არა მარტო გამოთვლების შრომატევადობა, არამედ კონსტრუქციის ეკონომიკური მაჩვენებლებიც. გარდა ამისა, ასეთნაირად დაპროექტებულ კონსტრუქციებში აუცილებლად აღმოჩნდება არასრულად დაძაბული ელემენტები, ე.ი. კონსტრქუციაში მასალა მთლიანად არ იქნება გამოყენებული.

ამჟამად დამუშავებულია პირდაპირი დაპროექტების მეთოდები, რომლებიც ემყარება ნაგებობათა თეორიის უკუ ამოცანის გადაწყვეტას. მისი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ სტატიკურად ურკვევი სისტემების განივი კვეთები შეირჩევა მათში მოქმედი საანგარიშო ძალვების მიხედვით. აგრეთვე, სტატიკურად ურკვევი სისტემებისათვის არსებობს შიგა ძალვების განაწილების უამრავი ვარიანტი, რომლებიც აკმაყოფილებს წონასწორობის პირობებს და შესაბამისად, უამრავი სისტემა, რომელთა ელემენტებში ძაბვები ნებისმიერი წინასწარ დადგენილი სიდიდის ტოლია. უკუ ამოცანის გადაწყვეტის საფუძველზე შესაძლოა საანგარიშო ძალვების მიხედვით უშუალოდ განიკვეთების შერჩევა.

სტატიკურად ურკვევ სისტემებში შიგა ძალვების განაწილება განისაზღვრება კონსტრქუციის გეომეტრიული სქემით, სახსრების განლაგებით, მოქმედი დატვირთვებით და ელემენტთა სიხისტეების ფარდობით. ზოგ შემთხვევაში სიხისტეები შეიძლება ნებისმიერად იყოს დანიშნული, რაც განაპირობებს შესაძლო გადაწყვეტათა სიმრავლეს. მაშინ, როცა ოპტიმალურობის პირობა, ე.ი. მასალების მასისა და ღირებულების მინიმუმის მიღწევა მოითხოვს შიგა ძალვების ერთადერთ განაწილებას, განსახორციელებად კონსტრუქციაში უნდა იყოს შეყვანილი რაღაც საწყისი ძალვები – წინასწარი ძაბვები. ხოლო ერთ შემთხვევაში, მინიმალური მასის მქონე სტატიკურად ურკვევი სისტემა სტატიკურად რკვევადად გადაქცევისას იქნება ყველაზე უფრო მეტად

მომგებიანი საწყისი ძალვების გარეშე – ერთი მუდმივი დატვირთვის მოქმედებისას. ასეთი სახეცვლილება თეორიულად შესაძლოა აგრეთვე ცვალებადი დატვირთვების მოქმედებისას, ამგრამ ამ გადაწყვეტის რეალიზაციისთვის საჭიროა კონსტრუქციაში შეყვანილ იქნეს ცვალებადი საწყისი ძალვები, რომელთა მნიშვნელობები უნდა იცვლებოდეს კონსტრუქციაზე გარე დატვირთვების განლაგებაზე დამოკიდებულებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ წინასწარ დაძაბვა მნიშვნელობის მხრივ ერთ-ერთი პირველია კონსტრუქციის ფორმაწარმოქმნის პროგრესულ იდეებს შორის.

წინასწარი დაძაბვა საშუალებას გვაძლევს: 1). დაძაბული მდგომარეობა შეიცვალოს ისეთნაირად, რომ მიღწეული იქნეს ლითონის ხარჯის შემცირება, ე.ი. ოპტიმალური გადაწყვეტა; 2). მივაღწიოთ ძალვების რეგულირებას, ე.ი. შევქმნათ კონსტრუქციისთვის მათი ყველაზე უფრო სასარგებლო განაწილება (შეკუმშული ღეროები გადავაქციოთ გაჭიმულად, ღეროების მუშაობის ნიშანცვლადი ციკლი შევცვალოთ პულსაციური ციკლით და ა.შ.) ასეთი რეგულირების შესაძლებლობა საშუალებას გვაძლევს ეკონომიურად სასარგებლოდ გავანაწილოთ მასალა ელემენტებს შორის, გამოვიყენოთ მაღალი სიმტკიცის ფოლადი, როგორც შეკუმშული ღეროებისათვის, ასევე ისეთი ღეროებისათვის, რომლებიც განიცდიან ნიშანცვლად ზემოქმედებას.

განვიხილოთ ლითონის ღეროვანი კონსტრუქციების ოპტიმალური პროექტირების ძირითადი წინაპირობები.

ოპტიმალური პროექტირების ამოცანის დაყენება მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მათი გადაწყვეტის მეთოდს და შედეგად მათი რეალიზაციის შესაძლებლობებს. საბოლოო შედეგი უნდა აკმაყოფილებდეს სამშენებლო ნორმებსა და წესების მოთხოვნებს. ამიტომ ზომაზე მეტი გამარტივებები დასაშვები არ არის. ნებისმიერი კონსტრუქციის გაანგარიშება უნდა ემყარებოდეს დაპროექტების თანამედროვე პრაქტიკაში მიღებულ წინაპირობებს და შეესაბამებოდეს სამშენებლო მექანიკის ტრადიციული მეთოდების ძირითად დაშვებებს.

უნდა აღინიშნოს. რომ პრაქტიკულად ყოველი ლითონკონსტრუქცია ექვემდებარება წრფივ-დეფორმირებულ სისტემებს, მიუხედავად ფიზიკური, გეომეტრიული და ხანდახან, კონსტრუქციული არაწრფივობის არსებობისა (იგულისხმება ზემოქმედებებს, ძალვებს, ძაბვებს და დეფორმაციებს შორის არაწრფივი კავშირი). მიღებულია, რომ ფიზიკური არაწრფივობს უგულვებელყოფა დაფუძნებულია დრეკადობის საზღვრებში მასალის მუშაობის იდიალიზაციაზე – ფოლადების და ალუმინის შენადნობები განიხილება, როგორც იდეალური დრეკადი სხეულები. გეომეტრიულ არაწრფივობას თავიდან იცილებენ დატვირთვის ქვეშ დაფორმირებული სქემის მიხედვით, ხოლო კონსტრუქციულს, რომელიც დამახასიათებელია ცალმხრივკავშირებიანი სისტემებისათვის, მაგალითად ვანტური კონსტრუქციებისათვის, ამ კავშირებში ძალვების ნიშანზე შეზღუდვის შემოტანით.

გაწრფივების ჩამოთვლილი პირობები რეალიზდება მხოლოდ გაანგარიშების გასამარტივებლად. მათი გამოყენება ღეროვანი სისტემების ოპტიმიზაციის ამოცანებში საშუალებას გვაძლევს გადაწყვეტისათვის გამოვიყენოთ საკმაოდ დამუშავებული და აპრობირებული მათემატიკური მეთოდები. ამავე დროს, გაანგარიშების სიზუსტე ამ შემთხვევაში ისეთივეა, როგორც დაპროექტების ტრადიციული მეთოდებით ხელმძღვანელობისას.

რიგი მიზეზების გამო კონსტრუქციის საიმედოობის საკითხებით უფრო ადრე დაინტერესდნენ, ვიდრე სტატისტიკური დინამიკის საკითხებით. როგორც ზოგადტექნიკური დისციპლინა, საიმედოობის თეორია ჩამოყალიბდა რამდენიმე ათეული წლის წინ, პირველ რიგში რადიოელექტრონიკის, გამოთვლითი ტექნიკისა და სარაკეტო ტექნიკის განვითარების ზემოქმედებით. თუმცა პირველად საიმედოობის თეორიის საკითხები წამოჭრილი იყო ზუსტად სამშენებლო მექანიკაში. პირველი ნაშრომები საიმედოობის თეორიასთან დაკავშირებით ეკუთვნის მ. მაიერსსა და ნ. ფ. ხოციალოვს, დათარიღებული 1926-1929 წწ. აქ პირველად გააკრიტიკეს დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშების კონცეფცია. ამ კონცეფციის საწინააღმდეგოდ წამოაყენეს იდეა სტატისტიკური მეთოდების გამოყენების შესახებ სიმტკიცეზე გაანგარიშებით. ამ ნაშრომებში ჩვენ უკვე ვპოულობთ საიმედოობის

თეორიის ძირითად ცნებებს. კონსტრუქციის საიმედოობის შესახებ პირველი პუბლიკაციები ატარებდნენ სადისკუსიო ხასიათსა და თავის დროზე არ იმსახურებდნენ ფართო მოწონებას. სამშენებლო მექანიკაში სტატისტიკური მეთოდების დანერგვის გამორჩეული როლი ეკუთვის ნ. ს. სტრელეცკის, რომელმაც 1935 წლიდან დაწყებული გამოაქვეყნა რიგი ნაშრომებისა ამ თემასთან დაკავშირებით, სადაც წარმოდგენილია ნაგებობების საიმედოობის სტატისტკური კონცეფციის სისტემატური აღწერა; შეუცნობელ ფორმაში ამ კონცეფციამ თავისი ასახვა კონსტრუქციის გაანგარიშების მეთოდში ჰპოვა, ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით.

შემდგომ წლებში კვლევები გაგრძელდა. ამ პერიოდს მიეკუთვნება ა. რ. რჟანიცინის ნაშრომები, ა. ფრეიდენტალის, ა. იონსონის და სხვათა ნაშრომები. ამ შრომებს ახასიათებს სწრაფვა გაანგარიშების მარტივი სქემებისადმი, რომლებიც არ ითხოვენ რთულ ანალიტიკურ აპარატს. სქემებმა საშუალება მოგვცეს მიგვეღო მოვლენის ხარისხიანი აღწერა, შეგვესწავლა დატვირთვის ცვალებადობისა და საიმედოობაზე გამძლეობის ცვალებადობის ზემოქმედება, დაგვესახა ამოცანა ოპტიმიზაციის შესახებ და ა.შ. ამავე პერიოდში დაიწყო სტატისტიკური მეთოდების დანერგვა მანქანათმშენებლობაში, გემთმშენებლობაში და ტექნიკის სხვა დარგებში. მანქანათმშენებლობაში საიმედოობის საკითხების შემუშავება ძირითადად ხდებოდა მანქანების დეტალების გამძლეობის პრობლემასთან დაკავშირებით, რომლებიც მუშაობდნენ ცვალებადი დაძაბულობის პირობებში. ლიტერატურა, რომელიც ამ დარგს მიეკუთვნება ძალიან მოცულობითია; გამძლეობის გაანგარიშების მეთოდების განვითარებაში არსებითი წვლილი შეიტანეს ს.ვ. სერენსენმა და მისმა თანამშრომლებმა. გემების კონსტრუქციების გაანგარიშებაში გამოყენებული საიმედოობის თეორიის იდეები ვითარდებოდა ვ.ვ. ეკიმოვის მიერ.

უკანასკნელ რამდენიმე ათწლეულს ახასიათებს კვლევების მოცულობისა და დონის მკვეთრი ზრდა. სამი მჭიდროდ დაკავშირებული იდეა დაედო თეორიას საფუძვლად. პირველი იდეა იმ ფაქტის ნათლად გაგებისკენ მიდის, რომ კონსტრუქციის ექსპლუატაციის გარემო პირობები და მისი ქცევა ექსპლუატაციის

პროცესში შემთხვევითი პროცესების არსია. ამიტომ საიმედოობის პრობლემის სწორად გადაწყვეტა და კონსტრუქციის საიმედოობა შესაძლოა მხოლოდ შემთხვევითი ფუნქციების თეორიის მიზიდვით. მეორე იდეის თანახმად, საიმედოობის ძირითად მაჩვენებლად ვღებულობთ სისტემის პარამეტრების შესაძლო არსებობას ზოგიერთ შესაძლო დარგში, ამასთან ნორმალური ექსპლუატაციის დარღვევა ინტერპრეტირდება, როგორც ამ დარგიდან გამოსვლა. მესამე იდეა შედგება იმის აღიარებით, რომ კონსტრუქციის მწყობრიდან გამოსვლა, როგორც წესი არის დაზიანების თანდათან დაგროვების შედეგი: ნარჩენი დეფორმაციები, ცვეთა და ა.შ. ეს დაზიანებები, განსაზღვრულ სიდიდემდე მიღწევისას, წინააღმდეგობას უწევენ კონსტრუქციის ნორმალურ ექსპლუატაციას. ამგვარად, საიმედოობის მაჩვენებლის ელემენტარული განმარტება, რომელიც დამახასიათებელია ადრეული ნაშრომისთვის, როგორც ზოგიერთი უთანასწორობის შესრულების ალბათობა, რომელიც აკავშირებს შემთხვევით სიდიდეებს, ადგილს უთმობს უფრო გაღრმავებულ და უფრო ადეკვატურ განმარტებას შემთხვევითი ფუნქციების თეორიის საფუძველზე.

ბოლო წლებში ფართოდ გავრცელდა ნორმატიული გაანგარიშებების დასაბუთებისა და სრულყოფის სამუშაოები, საიმედოობის თეორიის ცნებებისა და მეთოდების გამოყენებით. ეს სამუშაოები მიმდინარეობს სამშენებლო და ტექნიკის სხვა დარგებშიც.

მეორე თავში მოცემულია შედეგები და მათი ანალიზი. ზოგიერთი კონსტრუქციის მასის ძირითადი მაჩვენებლები. შედგენილი კოჭების განივი კვეთის გაერთმთლიანების ამოცანა; ამწისქვეშა კოჭების პარამეტრების ოპტიმიზაცია; გაჭიმული და ღუნვადი კონსტრუქციული ელემენტის, უეცარი მტყუნების შედეგად, სიმტკიცის კარგვის ზარალის მინიმუმის ეკონომიკური კრიტერიუმის დადგენა და ა.შ.

შედგენილი კოჭების განივი კვეთის გაერთმთლიანების ამოცანა, თავისთავად, ვარიანტულია და მისი გადაწყვეტის სისწორეზე დიდად არის დამოკიდებული კოჭების ეკონომიურობა და ტექნოლოგიურობა. შედგენილი კოჭების კვეთის გაერთმთლიანებას, როგორც წესი, იწყებენ კოჭის კედლის ოპტიმალური სიმაღლის დადგენით, რასაც შემდგომ უკავშირებენ კოჭის ყველა დანარჩენ პარამეტრს. შედგენილი კოჭის

განივი კვეთის სიმაღლის შერჩევა ხდება ეკონომიკური მოსაზრებით, კოჭის მაქსიმალური დასაშვები ჩაღუნვის და ზოგიერთ შემთხვევაში, სამშენებლო სიმაღლის (სხვაობა ფენილის ზედა და გადახურვის ქვედა ნიშნულებას შორის) გათვალისწინებით. წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია კოჭის ოპტიმალური განივი კვეთის გაერთმთლიანების ძალზედ მარტივი და პრაგმატული გადაწყვეტა, რაც ზუსტად მიესადაგება კოჭის განივი კვეთის მინიმიზაციის არსს.

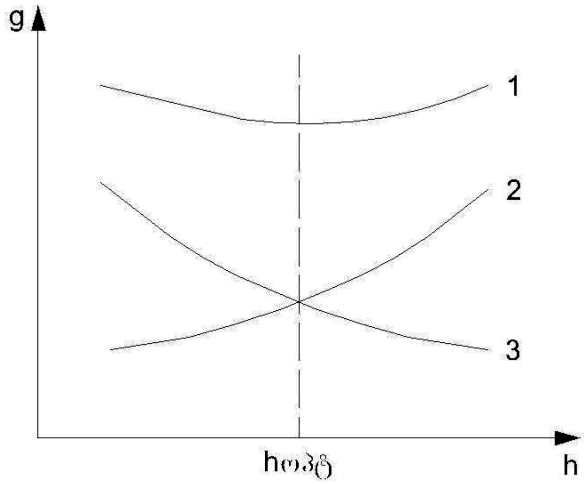
კოჭები წარმოადგენენ ძირითად და უმარტივეს, ღუნვაზე მომუშავე, კონსტრუქციულ ელემენტს. მათ ფართოდ გამოიყენებენ სამოქალაქო, საზოგადოებრივ და სამრეწველო შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციებში.

კოჭების ფართო გამოყენება განპირობებულია მათი კონსტრუქციის დამზადების სიმარტივით და ფუნქციონირების საიმედოობით. ფოლადის კოჭების განივი კვეთის ძირითად ტიპს სიმეტრიული ორტესებრი წარმოადგენს, რომელიც სწორკუთხა განივ კვეთზე 2,5-ჯერ, ხოლო წრიულზე 3,4-ჯერ უფრო ეკონომიურია.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გაგლინული კოჭები (სორტამენტის შეზღუდულობის გამო) დიდი მალებისა და დატვირთვების დროს ვერ აკმაყოფილებენ თუნდაც ერთს სიმტკიცის, სიხისტის, საერთო მდგრადობის, ცალკეული ელემენტების ადგილობრივი მდგრადობის პირობებიდან, გამოიყენება შედგენილი განივი კვეთის კოჭები. ასეთ შემთხვევაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება ეკონომიკურ ფაქტორს.

კოჭის მასა შედგება მისი სარტყელების, კედლისა და ზოგიერთი დამატებითი ელემენტის მასისაგან, (საპირაპირე ზესადებებისაგან, სიხისტის წიბოებისაგან და სხვა), რაც კონსტრუქციული კოეფიციენტებით გაითვალისწინება. ამასთან, კოჭის სიმაღლის გაზრდისას, სარტყელების მასა მცირდება, ხოლო კედლის მასა იმატებს (ნახ. 1). ამასთან, როგორც ნახაზიდან ჩანს, კოჭის სარტყელისა და კედლის მასის ფუნქცია, კოჭის სიმაღლის ცვლილებისას, არაერთგვაროვნად იცვლება: ერთ შემთხვევაში ერთი მათგანი მცირდება. უნდა არსებობდეს ისეთი სიმაღლე, რომლის დროსაც სარტყელების და კედლის ჯამური მასა იქნება ყველაზე მცირე. ამგვარ სიმაღლეს ეწოდება ოპტიმალური სიმაღლე $h_{ოპტ}$

(ლითონტევადობის მიხედვით). იმდენად, რამდენადაც ეს მონაცემი განსაზღვრავს კოჭზე მასალის ოპტიმალურ დანახარჯს, კოჭის მასის ფუნქციის გამოყენებით, შესაძლებელია მიახლოებით განისაზღვროს კოჭის ოპტიმალური სიმაღლე.



ნახ. 1. კოჭის მასის კვეთის სიმაღლეზე დამოკიდებულების გრაფიკი: 1–კოჭი; 2–კედელი; 3–სარტყელები.

1 მ. სიგრძის კოჭის მასა ტოლია სარტყელებისა და კედლის მასისა, რომლის ექსტრემუმი, ამ შემთხვევაში მინიმუმი, წარმოადგენს მიზნობრივ ფუნქციას:

$$g = 2g_f + g_W = 2\frac{cM\psi_f\rho}{hR_Y} + ht_W\psi_W\rho = \min,$$

სადაც c მომენტის ის ნაწილია, რომელიც კოჭის სარტყელზე მოქმედებს;

M–საანგარიშო მომენტი, რომელიც კოჭზე მოქმედებს;

ρ–ლითონის სიმკვრივე;

h–კოჭის სიმაღლე,

R_Y–კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობა;

t_W–კოჭის კედლის სისქე;

ψ_f–სარტყელების კონსტრუქციული კოეფიციენტი (სარტყელის ფაქტიური ფართობის ფიქტიურ ფართობთან დამოკიდებულება);

ψ_W–კედლის კონსტრუქციული კოეფიციენტი.

კოჭის მასის მინიმუმის განსაზღვრისათვის, ვიღებთ კოჭის მასის გამოსახულებიდან წარმოებულს სიმაღლის მიხედვით და ვუტოლებთ ნულს:

$$\frac{dg}{dh} = -2\frac{cM\psi_f\rho}{h^2 R_Y} + t_W\psi_W\rho = 0.$$

$$2\frac{cM\psi_f}{h_W^2 R_y} = t_W\psi_W,$$

გავამრავლოთ განტოლების ორივე მხარე h-ზე, მაშინ გვექნება:

$$2\frac{cM\psi_f}{h_W R_y} = h_W t_W \psi_W; \quad 2cM\psi_f/(hR_Y) = 2g_f; \quad ht_W\psi_W = g_W; \quad g_W = 2g_f. \qquad (1)$$

აქ თუ შევიტანთ ტოლობას $M/R_Y = W$, მივიღებთ

$$h_{opt} = \sqrt{2c\psi_f/\psi_W}\sqrt{W/t_W} = k\sqrt{W/t_W}, \qquad (2)$$

ამ ფორმულიდან ცხადია, რომ კოჭის სიმაღლეს და კედლის სისქეს დიდი გავლენა შეუძლია მოახდინოს კვეთის ეკონომიურობაზე. ამასთან, რაც ნაკლები სისქისაა კედელი, მით მეტია კოჭის სიმაღლე და საჭირო/გამოსადეგი კოჭის კვეთი.

კოჭის ოპტიმალური სიმაღლე შეიძლება გამოისახოს კედლის მოცემულ მოქნილობასთან დამოკიდებულებით:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{(3/2)\lambda_W W} = 1.15\sqrt[3]{\lambda_W}W. \qquad (3)$$

ეს ფორმულა ადვილად შეიძლება გამოვიყვანოთ h_{opt}-ის ფორმულიდან (2), თუ ტოლობის ორივე მხარეს ავიყვანთ კვადრატში და გავამრავლებთ h-ზე, მივიღებთ:

$$(h^2)h = \left(k\sqrt{W/t_W}\right)^2 h \rightarrow h^3 = k^2(W/t_W)h = k^2\lambda_W W,$$

საიდანაც,

$$h = \left(\sqrt[3]{k^2}\right)\sqrt[3]{\lambda_W W} = k_1\sqrt[3]{\lambda_W W},$$

$$h_{opt} \approx 1{,}1\sqrt[3]{\lambda_W W}.$$

რაც შეესაბამება (3)-ს. აქ კედლის მოქნილობა

$$\lambda_W = h_W/t_W.$$

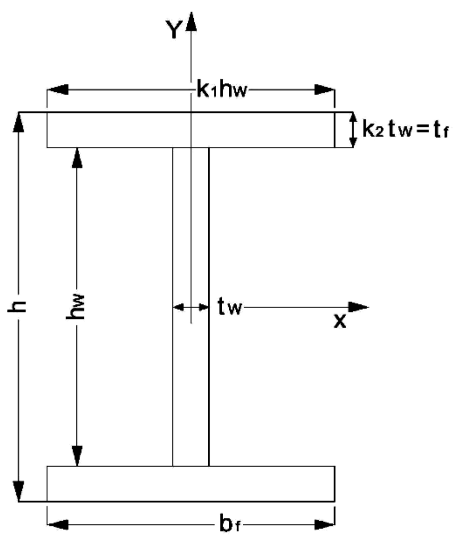
აქ ჩვენ უგულებელვყოფთ, (2) ან (3) ფორმულით დადგენილი ოპტიმალური სიმაღლის გამოყენებით კვეთის შედგენის მიღებულ

მეთოდს და უშუალოდ (1) ფორმულაში შესაბამისი დამოკიდებულებების შეტანით (ნახ. 2) ვახდენთ ოპტიმალური განივი კვეთის გაერთმალთანებას.

ოპტიმალური განივი კვეთის კოჭში კედლის მასა ტოლია სარტყელების (თაროების) მასისა (1), ანუ კედლის განივი კვეთის ფართობი ტოლია სარტყელების განივი კვეთის ფართობების ჯამისა [1.2.3]:

$$A_W = 2A_f, \quad h_W t_W = 2b_f t_f, \tag{4}$$

სადაც t_W და t_f, შესაბამისად, კოჭის კედლისა და სარტყელის სისქეებია; h_W, b_f –კოჭის კედლის სიმაღლე და სარტყელის სიგანე. ნახ. 2-ზე მოცემულ აღნიშვნებს თუ შევიტანთ (4)-ში, გვექნება:



ნახ. 2

$$h_W t_W = 2k_1 k_2 h_W t_W, \tag{5}$$

აქედან

$$2k_1 k_2 = 1, \quad k_1 k_2 = 0{,}5. \tag{6}$$

ოთხი ცვლადიდან h_W, t_W, k_1, k_2, რომლებიც განსაზღვრავენ კოჭის განივი კვეთის ფორმას, პროექტირების უცნობებად ითვლებიან h_W, t_W კომპონენტები, ხოლო k_1 და k_2 წარმოადგენენ დეტერმინებულ სიდიდეებს. კოჭის საერთო მდგრადობის პირობიდან გამომდინარე, სარტყელის ჰორიზონტალური ფურცლის სიგანე, სიმეტრიული ორტესებრი განივი კვეთებისათვის, მიღებულია (0,5...0,2) კოჭის კედლის სიმაღლისა, ხოლო

სისქე არაუმეტესი 2-3 კედლის სისქისა. პირობა (6) კიდევ უფრო ზღუდავს ამ დიაპაზონს: $k_1 = 0{,}2.....0{,}25$; $k_2 = 2.....2{,}5$; სარტყელის სიგანე $(0{,}2...0{,}25)\cdot h_W$, სისქე $(2...2{,}5)\cdot t_W$, მაგრამ ყოველ წყვილში დაცული უნდა იყოს პირობა (6) $k_1 \cdot k_2 = 0{,}5$.

მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა ტოლია:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{M_{\max} h}{2I_x}, \tag{7}$$

სადაც $M_{\max}$ მაქსიმალური საანგარიშო მღუნავი მომენტია;

I_x –კოჭის განივი კვეთის ინერციის მომენტი x ღერძის მიმართ;

$W_x = \dfrac{2I_x}{h}$ –განივი კვეთის წინაღობის მომენტი;

h –კოჭის სიმაღლე (სარტყელის ინერციის მომენტს, მათი საკუთარი ღერძის მიმართ სიმცირის გამო უგულებელვყოფთ).

ინერციის მომენტის გამოსახულება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$I_x = \frac{t_W h_W^3}{12} + 2k_1 h_W k_2 t_W \left(\frac{h}{2}\right)^2.$$

თუ ჩავთვლით, რომ $h \approx h_W$ [7,9], გვექნება:

$$I_x = \frac{t_W h_W^3}{12}(1 + 6k_1 k_2). \tag{8}$$

შეზღუდვა ძაბვაზე გამოისახება უტოლობით:

$$\sigma_{\max} - R_Y \gamma_c \le 0. \tag{9}$$

თუ (7)-ში შევიტანთ ინერციის მომენტის მნიშვნელობას (8), მაშინ უტოლობა მიიღებს სახეს:

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{h_W^2 t_W (1 + 6k_1 k_2)} \le R_Y \gamma_c, \tag{10}$$

სადაც R_Y მასალის (ფოლადის) საანგარიშო წინაღობაა; γ_c –მუშაობის პირობების კოეფიციენტი. შევიტანოთ (10)-ში მე-(6) გამოსახულება და ჩავწეროთ სიმტკიცის პირობა:

$$\sigma_{\max} = R_Y \gamma_c$$

$$1{,}5M_{\max}\Big/\left(h_W^2 t_W\right)=R_Y\gamma_c. \qquad (11)$$

სიმტკიცის პირობიდან (11) განისაზღვრება კოჭის კედლის ოპტიმალური სიმაღლე, სისქესთან t_W-სთან დამოკიდებულებით:

$$h_{wopt}=\sqrt{1{,}5M_{\max}/R_Y\gamma_c t_W}. \qquad (12)$$

(12) ფორმულა ერთდროულად აკმაყოფილებს კოჭის ოპტიმალური განივი კვეთისა და სიმტკიცის პირობას.

(12) ფორმულაში ყველა სიდიდე ცნობილია, გარდა t_W-სი, რომელიც საორიენტაციოდ აიღება ცხრილიდან h_W-სთან კავშირში.

სიმტკიცის პირობიდან (11) კოჭის კედლის t_W-ს წინასწარი დადგენისთვის იყენებენ აგრეთვე მიახლოებით დაშვებას $h_W=\left(1/10.....1/13\right)\,l$ [8, 9], სადაც l კოჭის მალია.

ცხრილი 1

კოჭის სიმაღლისა და კედლის სისქის რეკომენდირებული თანაფარდობების ცხრილი

h, მ	**1**	**1,5**	**2**	**3**	**4**	**5**
t_W, მმ	8—10	10—12	12—14	16—18	20—22	22—24
$\lambda_W=h_W/t_W$	100—125	125—150	145—165	165—185	185—200	210—230

შენიშვნა: λ_W-ს დაბალი მინიმალური მნიშვნელობები დამახასიათებელია კოჭებისთვის, რომლებიც დამზადებულია ამაღლებული სიმტკიცის ფოლადებისაგან.

ვინაიდან რიცხვით მაგალითში ერთ-ერთი სახელმძღვანელოდან [1], დაკმაყოფილებულია ყველა (სიმტკიცის, სიხისტის, კოჭის კედლის, თაროს და საერთო მდგრადობის) პირობა, გარდა კოჭის კედლის განივი კვეთის ფართობის სარტყელების ფართობების ჯამთან ტოლობის (ანუ ოპტიმალურობის) პირობისა, ანალიზისათვის, სწორედ ამ მაგალითის მონაცემებით ვაწარმოებთ კონსტრუქციული პირობითი ოპტიმიზაციის ჩვენი ინეტრპრეტაციით რეალიზაციას.

მაგალითის მონაცემები შემდეგია: $l=12$ მ, $R_Y=23$ კნ/მ², $\gamma_c=1$, $E=2{,}06\times10^4$ კნ/სმ², $q_n=128{,}7$ კნ/მ, $q=153$ კნ/მ,

$$M_n=q_n l^2/8=128{,}7\times\frac{12^2}{8}=2316{,}6 \text{ კნმ},$$

$$M = ql^2/8 = 153 \times \frac{12^2}{8} = 2754 \text{ კნმ},$$

$$M_n/M = 2316{,}6/2754 = 0{,}8412.$$

ამჯერად ვიღებთ t_W =10 მმ=1 სმ, მაშინ $(\gamma_c = 1)$ გვექნება:

$$h_{Wopt} = \sqrt{1{,}5 \times 275400/23 \times 1} = 134{,}018 \approx 134 \text{ სმ}$$

ოპტიმალური განივი კვეთის კოჭისათვის $t_W h_W = 2b_f t_f = 134$ სმ². თუ ავიღებთ t_f =20 მმ=2 სმ, $2b_f t_f = 2b_f \times 2 = 134$ სმ², მაშინ b_f =33,5 სმ. თეორიულად დაცულია კოჭის ფართობის, სარტყელების განივი კვეთის ფართობების ჯამთან ტოლობის პირობა. პრაქტიკულად, მცირედი კორექტირებით, ადვილად განხორციელდება ამ შედეგების ფურცლოვანი ფოლადის ნაგლინის არსებულ გაბარიტებთან შეჯერება.

კოჭის უმცირესი რეკომედირებული სიმაღლე $h_{\min}$ განისაზღვრება სიხისტეზე (მეორე ზღვრული მდგომარეობა) გაანგარიშებით–მისი ზღვრული ჩაღუნვით.

კოჭის სიგრძეზე მოქმედი, თანაბრად განაწილებული დატვირთვისათვის მაქსიმალური ჩაღუნვა ტოლია:

$$f_{\max} = 5(P_n + g_n)l^4/384EI,$$

სადაც P_n და g_n შესაბამისად დროებითი (აუცილებელ შემთხვევაში დინამიკური კოეფიციენტის გათვალისწინებით) და მუდმივი ნორმატიული დატვირთვებია კოჭის ერთეულ სიგრძეზე;

EI –კოჭის სიხისტე ღუნვისას,

l –კოჭის მალი.

თუ ჩაღუნვის ფორმულაში შევიტანთ $(P_n + g_n)l^2/8 = M_n$, გვექნება

$$f_{\max} = 5l^2 M_n/48EI \qquad (13)$$

ასევე, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $W = M/R_Y\,\gamma_c$, $I = Wh/2$, $I = Mh/2R_Y\gamma_c$ მივიღებთ:

$$f_{\max} = 10l^2 R_Y\,\gamma_c M_n/48Eh_{\min}M,$$

აქედან

$$h_{\min} = l^2 R_Y \gamma_c\, M_n/4{,}8Ef_u\, M. \qquad (14)$$

კოჭის ჩაღუნვის ფარდობა მალთან (f/l), მისი ფუნქციური დანიშნულებიდან გამომდინარე, რეგლამენტირებულია ნორმებით. ჩვენ შემთხვევაში $f_{\max} = f_u \leq [l/400]$, მაშინ მინიმალური სიმაღლე:

$$h_{\min} = lR_Y \gamma_c M_n \times 400/4{,}8EM. \tag{15}$$

კოჭის მინიმალური სიმაღლე სიხისტის პირობით, (15) ფორმულით, იგივე იქნება, რაც [1]-შია მიღებული:

$$h_{\min} = 1200 \times 23 \times 0{,}8412 \times 400/4{,}8 \times 2{,}06 \times 10^4 \approx 93{,}92 \approx 94 \text{ სმ.}$$

($C_1 = 1{,}1$ პლასტიკურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით $93{,}92 \times 1{,}1 = 103{,}3012 \approx 103{,}3$ სმ, იგივე, რაც [1]-ში).

კოჭის მინიმალური სიმაღლე ნაკლები უნდა იყოს მის ოპტიმალურ სიმაღლეზე $(h_{\min} < h_{opt})$.

ადგილობრივი მდგრადობის კარგვის განხილვისას, კედლის გამობურცვის ფორმები აიღება ისეთნაირად, როგორც ფირფიტის მდგრადობის კარგვისას. შეკუმშული სარტყელის განაკიდს $b_{lf} = 0{,}5(b_f - t_W)$, მის სისქესთან ფარდობის სათანადო შერჩევით:

$$b_{lf}/t_f \leq 0{,}5\sqrt{E/R_Y}. \tag{16}$$

იგივე მონაცემებით: $b_f = 33{,}5$ სმ, $t_W = 1$ სმ, $t_f = 2t_W = 2$ სმ,

$$b_{lf} = 0{,}5(33{,}5 - 1) = 16{,}25 \text{ სმ}, \quad b_{lf}/t_f = 16{,}25/2 = 8{,}125 \text{ სმ}$$

უნდა დაკმაყოფილდეს პირობა (16)

$$b_{lf}/t_f \leq 0{,}5\sqrt{2{,}06 \times 10^4/23} \approx 0{,}5 \times 29{,}9274 \approx 14{,}9637 \approx 15 \text{ სმ}, \quad 8{,}125 < 15.$$

კოჭის კედლის, გრძივი სიხისტის წიბოთი დამატებითი გაძლიერების გარეშე, ადგილობრივი მდგრადობის უზრუნველყოფისათვის, აუცილებელია კედლის პირობითი მოქნილობა $\overline{\lambda}_W \leq 5{,}5\sqrt{R_Y/\sigma}.$ თუ ძაბვა კოჭის შეკუმშულ სარტყელში σ,

საანგარიშო წინაღობას R_Y -ს გაუტოლდება, მაშინ $\overline{\lambda}_W \leq 5{,}5$ -ის და კედლის მდგრადობის პირობა იქნება:

$$t_W \geq (h_W/5{,}5)\sqrt{R_Y/E}. \tag{17}$$

$h_W = 134$ სმ, $t_W = 1$ სმ; მე-(17) ფორმულით ხდება კოჭის კედლის მდგრადობაზე შემოწმება:

$$t_w \geq (134/5{,}5) \times \sqrt{23/2{,}06 \times 10^4} \approx 0{,}8137 \approx 0{,}8; \quad t_w = 1 > 0{,}8.$$

მიზნად დასახულია ფოლადის ისეთი ამწისქვეშა კოჭის პარამეტრების ოპტიმიზაცია, რომლის დაპროექტებაც ხდება მუშა ნახაზების სტადიაზე. განიხილება ჭრილი და უჭრი კოჭები შედუღებული ორტესებრი და საერთო ჯამში ასიმეტრიული კვეთით და კედლის გამაგრებით განივი და, თუ ეს რაციონალურია, გრძივი სიხისტის წიბოებით. მიიჩნევა, რომ კოჭის საერთო მდგრადობას უზრუნველყოფს მამუხრუჭებელ-გამჭოლი ან ერთიანი, მაკავშირებელი და დამხმარე ფერმა ან მომიჯნავე მალის კოჭი. მრავალ დასაშვებ გადწყვეტილებას შორის სხვადასხვა ვარიანტი შეიძლება განსხვავდებოდეს კონსტრუქციით, ლითონის მასით, დამზადების შრომატევადობით და ფასით. აუცილებელია ამწისქვეშა კოჭის პარამეტრები ისე განისაზღვროს, რომ ვარიანტი ოპტიმალური იყოს შერჩეული პარამეტრით, მაგალითად ფასით.

ექსტრემუმის ძიების იგივე მეთოდი იქნა გამოყენებული ფოლადის სვეტების ბაზის ელემენტთა ოპტიმიზაციისას. აქ ექვსი პარამეტრია: ფილის სიგრძე, სიგანე და სისქე; ტრავერსის სიმაღლე და სისქე; ანკერული ჭანჭიკების დიამეტრი. საინტერესოა, რომ ფილის სისქით, შეგვიძლია განვსაზღვროთ მისი სიგანე და სიგრძე, ასევე ანკერის ჭანჭიკების დიამეტრი. რაც უფრო სქელია ფილა, მით უფრო მეტია სიგანე და ნაკლები სიგრძე, ასევე ანკერული ჭანჭიკების მეტი დიამეტრი შეიძლება ჰქონდეს, ამასთანავე ტრავერსის ზომები მცირდება.

ჩავთვალოთ, რომ გვაქვს მხოლოდ ორი დამოუკიდებელი პარამეტრი: ფილის სისქე და ტრავერსის ზოგადი პარამეტრი – მისი კვეთის ზომების ფიქსირებული წყვილი. ბაზის ეს ორი პარამეტრი დაკავშირებულია ასეთი ურთიერთდამოკიდებულებით: რაც უფრო სქელია ფილა, მით უფრო ნაკლები ზომის უნდა იყოს ტრავერსი.

ამგვარად, გვეძლევა ოპტიმიზაციური ამოცანის გადაჭრის შესაძლებლობა ზღუდეთა საზღვრის გასწვრივ მოძრაობის გზით.

ოპტიმალურობის კრიტერიუმია – ფილის, ტრავერსების და ანკერული ჭანჭიკების ერთობლივი ღირებულება (რადგან ეს ელემენტები შეიძლება გაკეთდეს სხვადასხვა მარკის ფოლადისგან).

ამოცანის გადაჭრის სქემა გამოიყურება შემდეგნაირად. ფილის თითოეული ფიქსირებული სისქისთვის განისაზღვრება მისი გათვლილი სიგანე (ტრავერსების საზღვრებსგარეთ ფილის დასაშვები გატანიდან გამომდინარე), გათვლილი სიგრძე (ფუნდამენტის ბეტონის გათვლილი წინაღობისა და ფილის სიგანიდან გამომდინარე), ანკერული ჭანჭიკების დიამეტრი (ფილის სიგრძიდან გამომდინარე). თავდაპირველად ვიღებთ ფილის მეტ სისქეს. თუკი მორიგი ტრავერსის ზომები არ აკმაყოფილებს აუცილებელ შეზღუდვებს (მღუნავი მომენტი, წინაღობის ძალა, ტრავერსის მდგრადობა), ვიღებთ შემდეგ ტრავერსს მეტი ფართობით, წინააღმდეგ შემთხვევაში მცირდება ფილის სისქე.

ამრიგად, სამშენებლო ლითონის კონსტრუქციათა პარამეტრების ოპტიმიზირების ამოცანების დიდი ჯგუფის გადაჭრა შეიძლება რეალიზებულ იქნას შედარებით მარტივი მეთოდების გამოყენების გზით.

ახლა განვიხილოთ გამჭოლი კვეთის მქონე არაცენტრულად შეკუმშული სვეტების ოპტიმიზირების ზოგიერთი საკითხი. როგორც ჩანს, საერთო ჯამში ოპტიმიზაციის პარამეტრები იქნება: შტოებს შორის მანძილი (სვეტის სიგანე), გისოსების კვანძებს შორის მანძილები (ბიჯი), შტოებისა და გისოსების კვეთის ზომები. როგორც წესი, ხიდური ამწეებიან ნაგებობებში სვეტის სიგანე განისაზღვრება ხიდური ამწეებისა და კედლების. „შტოს ფართობი – გისოსის ბიჯი" მოცემულია მიზნობრივი ფუნქციის დონის ძირითადი ზღუდეებისა და ხაზების დამახასიათებელი განლაგება. იგულისხმება, რომ სვეტს აქვს სიმეტრიული განივი კვეთი, ილუსტრაცია რომ მოსახერხებელი იყოს შტოს ყველა პარამეტრი (ორტესებრი კვეთის შტოსათვის – ეს არის სვეტის კედლისა და თაროების ზომები) ჩანაცვლებულია ერთი პარამეტრით – შტოს ფართობით. მართლაც, რიგ შემთხვევებში შტოს ფართობი შეიძლება მოგვევლინოს მისი ერთადერთი პარამეტრის სახით (მაგალითად, ნაგლინი პროფილებისთვის). გარდა ამისა, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ შტოს ფართობი კორელირებულია მის ოპტიმალურ ზომებთან, ამიტომ შტოს ფართობის გამოყენება მისი გეომეტრიული ზომების შესახებ დაახლოებითი ინფორმაციის მატარებლის სახით ხშირად გამართლებულია.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ თითოეული შტოსა და მთლიანობაში სვეტის მდგრადობა ღუნვის სიბრტყიდან, არ არის დამოკიდებული გისოსის ბიჯზე, გისოსის ბიჯის ცვლილებაზე კონსტრუქციულ დიაპაზონში. დაბოლოს, ორი შეზღუდვა, სადაც გისოსის ბიჯის ცვლილება გავლენას ახდენს ზიდვის უნარზე: სვეტის მდგრადობა ღუნვის სიბრტყეში და შტოს მდგრადობა გისოსის ორ მოსაზღვრე კვანძს შორის, აჩვენებენ, რომ ორივე შემთხვევაში გისოსის ბიჯის ზრდასთან ერთად შტოს ფართობიც იზრდება.

მიზნობრივი ფუნქცია – შტოებისა და გისოსის ღირებულება, გოსოსისა და შტოს შორის გარკვეული კუთხის არსებობის შემთხვევაში, გისოსის ლითონის მასა და შესაბამისად მისი ღირებულება იქნება მინიმალური. ამ კუთხის ზრდასთან ერთად მცირდება ზეწოლა ირიბანებში და მათი კვეთები, მაგრამ იზრდება ირიბანების ერთობლივი სიგრძე, მასა და ღირებულება, ხოლო კუთხის შემცირებით იზრდება ირიბანების სიგრძე, მათში არსებული ძალვები, ასევე იზრდება მათი ფართობი, მასა და ღირებულება. მიზნობრივი ფუნქციის მიახლოებითი მახასიათებელი წარმოდგენილია მისი ღუნვის სიბრტყეში მდგრადობით. ძალიან ხშირად გამჭოლ სვეტებში ზიდვის უნარი განისაზღვრება შტოს მდგრადობით ღუნვის სიბრტყიდან. აქ უნდა აღინიშნოს, რომ ამ შემთხვევაში ისეთი ზღუდეები, როგორიცაა სვეტის მდგრადობა მთლიანობაში და ცალკეულ შტოში (პანელში) გადახრის სიბრტყეში არ არის აქტიური: არსებობს ზიდვის უნარის გარკვეული მარაგი ამ მდგომარეობებში, რითაც შეგვიძლია ვისარგებლოთ სვეტის კონსტრუქციული ფორმის გასამარტივებლად. მაგალითად, უარი ვთქვათ ირიბანებზე და სვეტის კონსტრუქცია გავხადოთ უირიბნო. თუკი შტოში არსებული პანელის ადგილობრივი დახრილობიდან მომდინარე დამატებითი ზეწოლები კომპენსირდება ზიდვის უნარის არსებული მარაგით, მაშინ კონსტრუქციული ფორმის ასეთი ცვლილება შეიძლება მიზანშეწონილი იყოს, ვინაიდან, სამშენებლო კოეფიციენტის გარკვეული ზრდის მიუხედავად, კონსტრუქცია მნიშვნელოვნად მარტივდება.

ოპტიმიზაციის ნებისმიერი ამოცანის გადაწყვეტას ეძებენ გარვეული მეთოდებით, რომლებიც დამოკიდებულია დაპროექტირების

განსახილველი ამოცანის პირობაზე, დასაპროექტებელი კონსტრუქციული ფორმის შესწავლის ხარისხზე, დამპროექტებლის მომზადების დონეზე. ძიების მთელი მრავალსახეობისას, ოპტიმალური გადაწყვეტილების მეთოდები შესაძლოა გავაერთიანოთ სამ ძირითად ჯგუფად: ვარიანტების შედარება; ექსტრემალურ ამოცანათა გადაწყვეტა; მათემატიკური პროგრამირება;

ვარიანტების შედარების მეთოდი მდგომარეობს ტექნოლოგიური მოცულობის მიხედვით მომავალი ნაგებობის პროექტის რამდენიმე შესაძლო ვარიანტის დამუშავებაში და მიღებული შედეგების შედარებაში ობიექტის ხარისხის განმსაზღვრელი რომელიმე (ჩვეულებრივ, ტექნიკურ-ეკონომიკური) კრიტერიუმის მიხედვით.

ამ მეთოდის შედარებითი სიმარტივე იძლევა ნებისმიერი სირთულის ამოცანების გადაწყვეტის შესაძლებლობას, სისტემის ტიპის, გამამთლიანებელი და გეომეტრიული პარამეტრების, მასალების, ელემენტთა განივი კვეთების ფორმებისა და ზომების, კვენძებისა და შეერთებების ვარირების საფუძველზე.

ვარიანტული პროექტირების პროცესის მნიშვნელოვნად დაჩქარება შესაძლოა მასების, შრომატევადობის და ღირებულებების მაჩვენებლის ი. ლიხტარნიკოვის მიერ დამუშავებული მეთოდიკით განსაზღვრისას.

ვარიანტთა შედარების მეთოდის ძირითადი ნაკლოვანება, მეტად დიდი შრომატევადობის გარდა, იმაში მდგომარეობს, რომ უკეთესად მიიღება ერთ-ერთი განხილული ვარიანტი, მაშინ როცა ოპტიმალური გადაწყვეტა შესაძლოა არ აღმოჩნდეს ამ ვარიანტებს შორის.

ექსტრემალურ ამოცანათა გადაწყვეტის მათემატიკურმა მეთოდებმა გამოყენება ჰპოვა პროექტირების კერძო ამოცანების გადაწყვეტისას, ერთი, იშვიათად რამდენიმე პარამეტრის არსებობისას. ამ მეთოდებით საზღვრავენ კონსტრუქციის რომელიმე ერთ პარამეტრს, მაგალითად ყველაზე უფრო მომგებიან მალს, კვეთის ოპტიმალურ სიმაღლეს და ა.შ.

მეთოდის არსი მდგომარეობს საოპტიმიზაციო ფუნქციონალის (კონსტრუქციის მასის ან ღირებულების) ანალიზური გამოსახულების შედეგებში და შემდგომ მის ექსტრემუმზე გამოკვლევაში. კომპიუტერული პრგრამების გამოყენება იძლევა ასევე მრავალპარამეტრიანი ამოცანების გადაწყვეტის შესაძლებლობას.

ამ მეთოდების ძირითადი ნაკლოვანებებია: მოსაძებნ ფუნქციონალსა და მაოპტიმიზირებელ პარამეტრებს შორის პირდაპირი ანალიზური დამოკიდებულებების დადგენა და ის სიძნელეები, რომლებიც დაკავშირებულია გამოსაკვლევი ფუნქციონალების გლობალური მინიმუმის მოძებნასთან, რაც მრავალპარამეტრიანი ამოცანების შემთხვევაში მეტად რთულია.

კონსტრუქციის ოპტიმალური პარამეტრების ანალიზური გზით მოძებნის მცდელობისას, შექმნილ წინააღმდეგობათა დაძლევის შესაძლებლობას მნიშვნელოვნად იძლევა მათემატიკური პროგრამირება; მისი დახმარებით შესაძლებელია ისეთი ამოცანების გადაწყვეტა, რომლებიც მოცემულია არა მხოლოდ მკაცრი განტოლებებით, არამედ, ასევე უფრო მოქნილი უტოლობებით.

კონსტრუქციის ოპტიმალური პროექტირება, საიმედოობასთან კავშირში, წარმოადგენს თანამედროვე ტექნიკის, წარმოების და მშენებლობის ცენტრალურ პრობლემას. უზრუნველყოფის (სარწმუნო ალბათობის) ხარისხი განისაზღვრება მათემატიკური სტატისტიკის და ალბათობის თეორიის საფუძველზე ჩამოყალიბებული, საიმედოობის თეორიით.

მოთხოვნილი უზრუნველყოფისადმი რაციონალურ მიდგომას წარმოადგენს კონსტრუქციის აგების საწყისი დანახარჯების, დამატებული ნაგებობის ფუნქციონირების პერიოდში შესაძლო დაზიანებისა და ნგრევისაგან ზარალის მინიმუმის, ეკონომიკური კრიტერიუმის დადგენა. ოპტიმიზაციის კლასიკური მეთოდის ანალიზით (ფუნქციის ექსტრემუმის, ამ შემთხვევაში მინიმუმის საძიებელი სიდიდით გაწარმოებული ფუნქციის ნულთან გატოლებით) ნაგებობათა ელემენტების შემდგომ კონსტრუქციულ ოპტიმიზაციაზე გადასვლა.

ჩაწერილია ღირებულების მიზნობრივი ფუნქცია უეცარი მტყუნების შემთხვევისათვის, კონსტრუქციული ელემენტის სიმტკიცის კარგვისას, რაც გულისხმობს მტყუნების იმდენად მცირე გამოვლენის ალბათობას, რომ განმეორებითი მტყუნების შესაძლებლობა უგულვებელყოფილია. განსაზღვრულია უსაფრთხოების კოეფიციენტის (საიმედოობის ინდექსის), მარაგის კოეფიციენტისა და კონსტრუქციული ელემენტის განივი

კვეთის ფართობის ოპტიმალური მნიშვნელობები, უზრუნველყოფის (სარწმუნო ალბათობის) მოთხოვნის სხვადასხვა ხარისხის შესაბამისად.

სამშენებლო კონსტრუქციების ოპტიმალური პროექტირება, მათი ექსპულატაციის პროცესის ალბათობითი აღწერის საფუძველზე, მდგომარეობს კონსტრუქციების საანგარიშო პარამეტრების განსაზღვრაში, რომლებიც ეკონომიკურად დასაბუთებული საიმედოობით შეძლებენ უზრუნველყონ კონსტრუქციის ნორმალური ექსპულატაციის პირობები, მათი ფუნქციონირების მთელი პერიოდის განმავლობაში. ამის მიღწევა შესაძლებელია კონსტრუქციის აგების და ექსპლუატაციის საშუალო მოსალოდნელი დანახარჯების მინიმიზაციის მეშვეობით.

ნაგებობათა გაანგარიშების ოპტიმიზაციური მიდგომის დამუშავებისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ სხვადასხვა ნაგებობების და კონსტრუქციული ელემენტების დაზიანებას, ან რღვევას, მივყავართ სხვადასხვა შედეგებამდე, დაწყებული ადვილად აღმოსაფხვერილიდან და დამთავრებული კატასტროფულამდე. აქედან გამომდინარე, ნაკლებად საპასუხისმგებლო და მცირე ღირებულებების კონსტრუქციები მოითხოვენ ნაკლები ხარისხის უზრუნველყოფას (სარწმუნო ალბათობას), ვიდრე მაღალ საპასუხისმგებლო კონსტრუქციები.

სუფთა ეკონომიკური პასუხისმგებლობის ნაგებობებისათვის, რომელთა დაზიანება არ იწვევს (გარდა ნაგებობის აღდგენასთან ან ექსპულატაციის დროებით შეწყვეტით გამოწვეულ რემონტთან და სხვა ხარჯებთან დაკავშირებულ) ფულად ზარალსა და სხვა შედეგებს, ოპტიმალური საიმედოობა განისაზღვრება ღირებულების მიზნობრივი ფუნქციის შემდეგი გამოსახულებით:

$$C = C_0 + \sum_{i=1}^{n} V_i U_i = \min, \qquad (22)$$

სადაც C ნაგებობის აგების და შესაძლო დაზიანებებისგან ან ნგრევისაგან გამოწვეული დანახარჯებია; C_0–ნაგებობის აგების თავდაპირველი ღირებულება; V_i-ცალკეული დაზიანებების ალბათობა; U_i-თითოეული დაზიანებით გამოწვეული ზარალი; n-სხვადასხვა სახის მტყუნებების რაოდენობა.

მიზნობრივი ფუნქციის მინიმუმის ანალიზური პირობა, როდესაც თითოეული დაზიანების ალბათობა არ არის დამოკიდებული სხვა დაზიანებათა ალბათობაზე, ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial C_0}{\partial V_i}+\sum_{i=1}^{n}\left(U_i+V_i\frac{\partial U_i}{\partial V_i}\right)=0. \tag{23}$$

დავუშვათ, რომ მტყუნება რეალიზდება, რამდენიმე შესაძლო, დამოუკიდებელი ზღვრული მდგომარეობიდან, ერთ-ერთის მიღწევით. შევნიშნავთ, რომ მშენებლობაში მიღებულ მტყუნებათა ალბათობა ძალზედ მცირეა და უხეში შეფასებით, რიგი მათი მნიშვენლობებისა შეადგენს $V=10^{-3}$-ეკონომიკური პასუხისმგებლობის ნაგებობებისთვის, ან ზღვრული მდგომარეობებისათვის, რომლებიც არ წარმოადგენენ საშიშროებას სიცოცხლისთვის.

მხოლოდ ერთი სახის მტყუნების ალბათობა, მაგალითად ღეროს ან კოჭის სიმტკიცის კარგვა და ამ სახის რღვევისაგან გამოწვეული ზარალი, შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი ფორმით

$$U=B+\beta A, \tag{24}$$

სადაც B არის კონსტრუქციული ელემენტის განივი კვეთის ზომებისაგან დამოუკიდებელი ზარალი; βA-ზარალი დაკავშირებული ელემენტის აღდგენასთან (პროპორციულია მისი განივი კვეთის A); β-მუდმივი კოეფიციენტი.

ანალოგიური ფორმით შეძლება წარმოვადგინოთ აგების თავდაპირველი ღირებულება:

$$C_0=\theta+aA, \tag{25}$$

სადაც θ და a მუდმივი სიდიდეებია.

განტოლებათა სისტემა (23) ჩვენი შემთხვევისათვის მიიღებს სახეს:

$$\frac{dC_0}{dV}+U+V\frac{\partial U}{\partial V}=0. \tag{26}$$

ზოგადად C–ს ექსტრემუმის (ამ შემთხვევაში მინიმუმის) განსაზღვრა შეიძლება ვაწარმოოთ არა მხოლოდ მტყუნების ალბათობით V-თი, არამედ ნებისმიერი სხვა პარამეტრით, რომელზედაც დამოკიდებულია C სიდიდე, მაგალითად კონსტრუქციის ელემენტის განივი კვეთის ზომებით, ანუ ფართობით A.

თუ (26) გამოსახულებაში შევიტანთ U-სა (24) და C_0-ის (25) მნიშვნელობებს და გავაწარმოებთ A-თი, მივიღებთ:

$$\left(a+\beta V\right)\frac{\partial V}{\partial A}+B+\beta A=0, \tag{27}$$

რადგანაც B და θ არ არიან დამოკიდებული რღვევის ალბათობაზე V, რომელიც განივი კვეთის A ფართობის ფუნქციას წარმოადგენს.

განვიხილოთ რღვევის მარტივი შემთხვევა, როდესაც სიმტკიცის რეზერვი წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$\tilde{L}=A\tilde{R}-\tilde{N}, \tag{28}$$

სადაც $\tilde{R}$ შემთხვევითი სიდიდე, მასალის სიმტკიცის ზღვარია; $\tilde{N}$-გარე დატვირთვის გამოწვეული ძალვა; A-განივი კვეთის ფართობი.

(28) გამოსახულების მათემატიკური ლოდინი და დისპერსია ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\tilde{L}=A\tilde{R}-\tilde{N},\; D_L=A^2D_R+D_N. \tag{29}$$

შემთხვევითი სიდიდის სტანდარტი იქნება

$$S_L=\sqrt{D_L}=\sqrt{A^2D_R+D_N}. \tag{30}$$

შემთხვევითი სიდიდეების $\tilde{R}$-სა და $\tilde{N}$-ს ნორმალური განაწილების შემთხვევაში, $\tilde{L}$-ის განაწილების მრუდიც იქნება ნორმალური. აქედან გამომდინარე შეიძლება გამოვიყენოთ, ზოგადად ϕ-ით აღნიშნული, ფართოდ გავრცელებული, გაუსის ალბათობის ინტეგრალის ცხრილები. ნორმალური განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია:

$$\phi(X)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^x \exp\frac{-x^2}{2}dx, \tag{31}$$

მიიღებს სახეს:

$$P(L)=\frac{1}{2}+\phi\left(\frac{L-\tilde{L}}{S_L}\right). \tag{32}$$

რღვევის ალბათობა V ტოლია;

$$V=\int_{-\infty}^{0}P(L)dL=P(0). \tag{33}$$

განაწილების ნორმალური კანონის შემთხვევაში (15), თანახმად (16)-ისა, გვაძლევს:

$$V=0.5+\phi\left(\frac{0-\tilde{L}}{S_L}\right)=0.5-\phi\left(\frac{\tilde{L}}{S_L}\right)=0.5-\phi(\gamma). \tag{34}$$

საიმედოობის უზრუნველყოფის მაჩვენებელი იქნება:

$$P = 1 - V = 1 - 0.5 + \phi(\gamma) = 0.5 + \phi(\gamma), \tag{35}$$

სადაც $\gamma = \overline{L}/S_L$ არის უსაფრთხოების მახასიათებელი, ანუ სტანდარტების რიცხვი, რომელიც (29)-ისა და (30)-ის (მათემატიკური ლოდინის და სტანდარტის) შეტანის შემდეგ ჩაიწერება:

$$\gamma = \frac{\overline{L}}{S_L} = \frac{A\overline{R} - \overline{N}}{\sqrt{A^2 D_R + D_N}}. \tag{36}$$

განვსაზღვროთ წარმოებული

$$\frac{\partial V}{\partial A} \cdot \frac{\partial V}{\partial \sigma} = -\phi'(\gamma) \frac{D_N \cdot \overline{R} + \overline{N} D_R A}{\left(A^2 D_R + D_N\right)^{3/2}}, \tag{37}$$

რომლის (27)-ში შეტანის შემდეგ ოპტიმალური ფართობის A-ს განსაზღვრის განტოლება (37) მიიღებს სახეს:

$$a + \beta V = \phi'\left(\frac{A\overline{R} - \overline{N}}{\sqrt{A^2 D_R + D_N}}\right) \cdot \frac{D_N \cdot \overline{R} + \overline{N} D_R A}{\left(A^2 D_R + D_N\right)^{3/2}} \cdot (B + \beta A). \tag{38}$$

ამ განტოლებაში

$$\phi'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-x^2}{2}.$$

მე-(38) განტოლებაში ფართობი A შეიძლება გამოისახოს პირობითი მარაგის კოეფიციენტით:

$$\begin{aligned} \xi &= A\overline{R}/\overline{N}, \\ A &= \xi\overline{N}/\overline{R}. \end{aligned} \tag{39}$$

მაშინ (34)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$a + \beta\left[\frac{1}{2} - \phi\left(\frac{\xi - 1}{\sqrt{\omega_R^2 \xi^2 + \omega_N^2}}\right)\right] = \phi'\left(\frac{\xi - 1}{\sqrt{\omega_R^2 \xi^2 + \omega_N^2}}\right) \times \frac{\omega_N^2 \xi^2 + \omega_R^2 \xi}{\sqrt{\left(\omega_R^2 \xi^2 + \omega_N^2\right)^3}} \cdot \left(B + \beta\xi \frac{\overline{N}}{\overline{R}}\right). \tag{40}$$

ფორმულა (40)-ში ϕ-ისა და ϕ'-ის არგუმენტი, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული (36), წარმოადგენს სტანდარტების რიცხვს, ანუ საიმედოობის ინდექსს:

$$\gamma = \frac{\xi - 1}{\sqrt{\omega_R^2 \xi^2 + \omega_N^2}},$$

სადაც $\omega_R = \sqrt{D_R}/\overline{R} = S_R/\overline{R}$ და $\omega_N = \sqrt{D_N}/\overline{N} = S_N/\overline{N}$, შესაბამისად, $\widetilde{R}$ და $\widetilde{N}$ შემთხვევითი სიდიდეების ცვალებადობის (ვარიაციის) კოეფიციენტებია.

(39) განტოლებით განისაზღვრება კონსტრუქციული ელემენტის განივი კვეთის A ფართობის ოპტიმალური მნიშვნელობა საიმედოობის უზრუნველყოფის (სარწმუნო ალბათობის) ნებისმიერი ხარისხით.

(40) განტოლება ადვილად ამოიხსენება რიცხვითი მეთოდით, ჩვენს მიერ მოთხოვნილი უზრუნველყოფის შესაბამისი, მარაგის კოეფიციენტის ξ–ს მიმართ. ამ შემთხვევაში ვიღებთ $P=0{,}999$ სარწმუნო ალბათობით შერჩეულ მარაგის კოეფიციენტს $\xi=1{,}577$, რასაც მიესადაგება რეალური აუცილებლობით განსაზღვრული მონაცემები: $\omega_R=\omega_N=0{,}1$[2]; $\overline{N}=200$ კნ, $\widetilde{R}=20$ კნ/სმ^2, მუდმივები $a=\beta$[4]; B უკავშრდება β-ს ამ უკანასკნელის უზრუნველყოფის ხარისხის შესაბამისად. ამ მონაცემების შეტანისა და β-ზე გაყოფის შემდეგ (40) განტოლება ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$1{,}5-\phi\left(\frac{\xi-1}{\sqrt{0{,}01\xi^2+0{,}01}}\right)=\phi'\left(\frac{\xi-1}{\sqrt{0{,}01\xi^2+0{,}01}}\right)\cdot\frac{0{,}01\xi^2+0{,}01\xi}{\sqrt{\left(0{,}01\xi^2+0{,}01\right)^3}}\cdot\left[(B/\beta)+10\xi\right]. \quad (41)$$

აქ B/β ფარდობა, როდესაც $\xi=1{,}577$-ს, ტოლი იქნება $B/\beta=8{,}05$-ს და იცვლება ξ-ს ცვალებადობის შესაბამისად. განისაზღვრება (41) ტოლობის თითოეული წევრი.

პირობითი მარაგის კოეფიციენტი ξ, როდესაც ვუშვებ რომ $\omega_R=\omega_N=\omega$, განისაზღვრება ფორმულით:

$$\xi=\frac{1+\gamma\omega\sqrt{2-\gamma^2\omega^2}}{1-\gamma^2\omega^2}. \quad (42)$$

ნორმალური განაწილების კანონის ინტეგრალური (გაუსის) მრუდის ფუნქცია იქნება [8]:

$$\phi\left(\frac{1{,}577-1}{\sqrt{0{,}01\cdot1{,}577^2+0{,}01}}\right)=\phi(3{,}09)=0{,}999.$$

ნორმალური განაწილების კანონის დიფერენციალური მრუდის ფუნქცია $\gamma=3{,}09$-ის შემთხვევაში იქნება:

$$\phi'(3{,}09)=0{,}00337.$$

$$\frac{0{,}01\cdot1{,}577^2+0{,}01\cdot1{,}577}{\sqrt{\left(0{,}01\cdot1{,}577^2+0{,}01\right)^3}}=6{,}241.$$

მაშინ (41) ტოლობა მიიღებს სახეს:

$$1{,}5-0{,}999=0{,}00337\cdot6{,}241\cdot[(B/\beta)+15{,}77].$$

აქედან

$$(B/\beta)=[0{,}501/(0{,}00337\times 6{,}241)]-15{,}77\approx 8{,}051\approx 8{,}05.$$

მაშასადამე, შერჩეული ფარდობის $(B/\beta)=8{,}05$-ს დროს (41) განტოლების ამონახსნი იქნება $\xi=1{,}577$. ასეთი მარაგის კოეფიციენტის შემთხვევაში ოპტიმალური განივი კვეთის ფართობის უზრუნველყოფის (სარწმუნო ალბათობის) ხარისხი იქნება $P=0{,}999$. ანალოგიურად შეიძლება, მუდმივების ფარდობის დანიშვნით, ელემენტის განივი კვეთის ფართობის ოპტიმიზაცია, უფრო დაბალი ან მაღალი უზრუნვეყოფის ხარისხით. (41) ფორმულის მიხედვით, როდესაც:

$P=0{,}99,\quad \gamma=2{,}33;$

$$\frac{1+2{,}33\times 0{,}1\sqrt{2-2{,}33^2\times 0{,}1^2}}{1-2{,}33^2\times 0{,}1^2}\approx 1{,}401963\approx 1{,}402\approx 1{,}4;$$

$P=0{,}999,\quad \gamma=3{,}09;$

$$\frac{1+3{,}09\times 0{,}1\sqrt{2-3{,}09^2\times 0{,}1^2}}{1-3{,}09^2\times 0{,}1^2}\approx 1{,}57699\approx 1{,}577;$$

$P=0{,}9999,\quad \gamma=3{,}72;$

$$\frac{1+3{,}72\times 0{,}1\sqrt{2-3{,}72^2\times 0{,}1^2}}{1-3{,}72^2\times 0{,}1^2}\approx 1{,}74496\approx 1{,}75.$$

(39) ფორმულის მიხედვით განვსაზღვროთ გაჭიმული ღეროს ფართობი, საიმედოობის უზრუნველყოფის (სარწმუნო ალბათობის) სხვადასხვა ხარისხის შემთხვევაში:

როდესაც $P=0{,}99,\quad \gamma=2{,}33,\quad \xi=1{,}4,$ მაშინ:

$$A=\xi\overline{N}/\overline{R}=1{,}4\times\frac{200}{20}=1{,}4\times 10=14\ \text{სმ}^2;$$

როდესაც $P=0{,}999,\quad \gamma=3{,}09,\quad \xi=1{,}577,$ მაშინ:

$$A=1{,}577\times 10\approx 15{,}8\ \text{სმ}^2;$$

როდესაც $P=0{,}9999,\quad \gamma=3{,}72,\quad \xi=1{,}75,$ მაშინ:

$$A=1{,}75\times 10\approx 17{,}5\ \text{სმ}^2;$$

შედეგად დასტურდება: რაც უფრო მაღალია უზრუნველყოფის მოთხოვნის ხარისხი, მით უფრო იზრდება ღეროს განივი კვეთის საჭირო ფართობი.

ჩატარებულ გამოკვლევათა შედეგები საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. განხილულია კონსტრუქციული ელემენტის ოპტიმალური დაპროექტების რამდენიმე ვარიანტი, რომელთა ოპტიმალურობის კრიტერიუმს წარმოადგენს კონსტრუქციის საკუთარი მასა (ან მისი აგებისა და ექსპლუატაციის საკუთარი ხარჯები, რღვევის ალბათობა), ხოლო შეზღუდვებს საიმედოობის პირობები. განიხილება ამ კლასის ამოცანების სხვადასხვაგვარი დასმა, ძირითადი შედეგები, ასევე კვლევებში გამოყენებული მათემატიკური აპარატი.
2. წარმოდგენილია იმ უზუსტობების ანალიზი და შესწორებები, რაც თან ახლავს ცნობილი მეცნიერების ა. რ. რჟანიცინის და ვ. დ. რაიზერის მონოგრაფიებში მოცემულ ინტერპრეტაციას და რასაც ჩვენ ვიყენებთ. ფუნქციის მინიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა მარაგის კოეფიციენტთან კავშირში მცდარია. არ არის შეფასებული და გაანგარიშებული, კონსტრუქციული ელემენტის, ოპტიმალური განივი კვეთის ფართობის უზრუნველყოფის (სარწმუნო ალბათობის) საიმედოობის ხარისხი, სიმტკიცისა და დატვირთვის (ზემოქმედების) ვარიაციის სხვადასხვა კოეფიციენტებისა და სტანდარტების რიცხვის დროს.
3. ალბათური მეთოდებით განსაზღვრული, კონსტრუქციის ან კონსტრუქციული ელემენტის ოპტიმალური მარაგის კრიტერიუმების დადგენა, საშუალებას იძლევა, მისი, არა მხოლოდ პროექტირების და ექსპლუატაციის გამოცდილების საფუძველზე, ნორმატიული გზით დანიშვნისა, არამედ მოცემული კლასის კონსტრუქციისათვის, წინასწარ მოთხოვნილი ხარისხის საიმედოობის უზრუნველყოფის შესაბამისი, მარაგის კოეფიციენტის გაანგარიშებისა. ამასთან, კონსტრუქციის დაპროექტების მიზანს არა ინტუიციურად დანიშნული, რაღაც დონის უზრუნველყოფის მიღწევა, არამედ მშენებლობისათვის განკუთვნილი ფულადი სახსრების ყველაზე ხელსაყრელი გამოყენება წარმოადგენს.
4. რეალური შემთხვევებისათვის სხვადასხვა სახის განტოლებები ამოიხსნება, შესაბამისი მარაგის კოეფიციენტებისათვის, რომლის მიხედვითაც გამოითვლება გაჭიმული ღეროს და ღუნვადი

ელემენტის განივი კვეთის ფართობი, სხვადასხვა ხარისხის უზრუნველყოფით (სარწმუნო ალბათობით).

5. ოპტიმალური განივი კვეთის, ფოლადის ორტესებრ, სიმეტრიულ შედგენილ კოჭებში კედლის მასა ტოლია სარტყელების (თაროების) მასის ჯამისა, ანუ მინიმიზაციის პირობას, ჩვენი ინტერპრეტაციით, არ წარმოადგენს შედგენილი ორტესებრი კოჭის კედლის ოპტიმალური სიმაღლის დადგენა, როგორც ეს "საყოველთაოდ" არის მიღებული.
6. კოჭის გაერთმთლიანებული განივი კვეთის მინიმიზაცია, მიზნობრივი ფუნქციის ექსტრემუმის, პირველი რიგის წარმოებულის ნულთან გატოლებით, მცირედი გარდაქმნებისა და კონსტრუქციული შეზღუდვების შემდეგ ჩვენ ამით შემოვიფარგლებით, ანუ აღარ არის საჭირო კოჭის ოპტიმალური სიმაღლის დადგენა.
7. შედგენილი კოჭის სიხისტეზე, საერთო მდგრადობაზე და ცალკეული ელემენტების ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება ხორციელდება შესაბამისი თეორიული თუ კონსტრუქციული მოთხოვნების სრული დაცვით. ასეთი მიდგომით მიიღწევა შედგენილი კოჭის, გაერთ-მთლიანებული განივი კვეთის ფართობის მიხედვით მინიმიზაცია.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. ლ. ბალანჩივაძე, ხ. გორჯილაძე, ე. გელაძე. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდების თავისებურება. თბილისი, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა" ISSN 1512-3936, გამოცემა 3(6), 2007. გვ. 30-33.
2. ი. მშვენიერაძე, ნ. მსხილაძე, ე. გელაძე. სამშენებლო კონსტრუქციების ალბათური გაანგარიშების ოპტიმიზაცია. თბილისი, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" ISSN 1512-3936, გამოცემა 4(23), 2011 გვ. 61-66.
3. ე. გელაძე. შედგენილი კოჭების ოპტიმალური განივი კვეთის განსაზღვრა. თბილისი, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა". ISSN 1512-3936, გამოცემა 2(25), 2012 გვ. 101-107.

4. ე. გელაძე, ნ. გელაძე. სამშენებლო კონსტრუქციების ალბათური გაანგარიშება. პეტერბურგი, რუსეთი. საერთაშორისო სამეცნიერო კომფერენციის სტატიების კრებული: “ახალი ტექნოლოგიები, ეკონომიკა, მრეწველობა” ტომი 2, ნაწილი 1. გამოცემა 24-26 მაისი 2012, გვ. 200-205 http://htfr.org/, 21.04.2012. http://htfr.org/articles/175.

Summary

The problem of constructive optimatization is existed as a long time as it is the constructive itself. Every time, engineer thought was addresses in order to decide the main issues, which are related to the approachment of maximal economy of materials. Also, to the improvement of technologies of making the constructions and to reduce their montage terms. Naturally, method of approach of resolving the problem on each historical stage was stipulated by the level of existed building theory and practice.

Effectiveness of construction is determined, first of all the material, made by. Recently, increased and high-strength steel, including the high-strength steel rope and wires, which gives the possibility to reduce the construction mass significantly. Some works are dedicated to the research of effectiveness of their useless in traditional systems and the sphere of rational using of this material.

Acting norms of designing of steel and aluminum constructions consists the instructions about using of any kind steels and fusion on the base of building's destination.

Rational distribution of various metal in construction elements is densely connected to the type of system and represents one of the main task of optimal design.

Measures of construction, used in the building, are marking-out mainly by the designer, who establishes the geometric scheme of system. Examples of optimal tasks of this type are: to determine the height of compound beam from the minimum of its price, marking-out of height of rafter steelwork from the minimum mode of mass and etc.

Selective recommendations of geometric scheme is best worked out for statistically elucidating systems, in which the distribution of internal efforts is partially determined by acting loadings and system geometry. What about the statistically indeterminable systems, situation is significantly difficult.

For the systems, which have the same contour of the axis, mainly at time of selecting the rational statistic scheme, for example, determination of location of joints and bundle interface has a great meaning during the resolving of common task of construction optimization. On the received decision, distribution of internal forces, i.e. the elements among the separated elements is previously depended on. This task is partially decided for some widely spreader construction (e.g. for hinged-overhung beam, for hinged arches, for some framework systems).

In some cases, selecting of statistic scheme of building is possible on the base of comparing of various version.

Herewith, the decisions, which are based on the selection of optimal statistic scheme of construction are possible. For example, only in case of external loading, optimal statistically indeterminable system is automatically become the result of exclusion of statistically determinable over measure relations.

Decision of questions of crosscut types of beam constructions' elements, as a rule, is done from the position of inter-sweep by the minimum criteria of the mass, by foreseen of requirements of unification and typing. For illustration of this, we can name the method of inter-sweep of compound crosscut, whole and eating crosscut and angel lighting steelwork cut appointment recommendations and centrally of non-centrally compressive columns. Measures of crosscuts are marked-out according to the statistically calculating results, which make the great influence upon the effectiveness of constructions. The term "optimal designing" was originated namely from various calculation of construction version, which was selected for design. If the construction is statistically determinable, efforts in it elements are determined for selection. During the calculation of statistically indeterminable systems by the classical methods of building mechanic (with combined methods of efforts shift), it's necessary to make the cuts again or their stiffness's and then, we can definite the efforts, acting in the construction elements. In this point of view, final result is depended on the experience and intuition of a designer. Adroitly of un-adroitly, not only the labor-consuming character of calculation, also the economical index of construction is depended on the profile measures. In addition, we can see the incomplete strained elements, that's to say that the material will not be wholly used in the construction. Now, methods of direct design is collaborated, which are based on the decision of buildings' theories task. The essence of it is that crosscuts of statistically indeterminable systems are selected according to the calculating efforts, acting in them. Also, for statistically indeterminable systems we have a lot of versions, which satisfies the conditions of balance and correspondingly, lots of system, in which elements, the efforts are equal to any previously determined volume. On the base of resolution of back-task, we can select the cross-cuts in compliance with the calculation efforts.

In statistically indeterminable systems, distribution of internal efforts are determined by the geometrical scheme of construction, by disposition of joints, by acting loading and by the ratio of elements' stiffness. In some cases, the stiffness's may be marked out anyway, which stipulates the motility of possible decisions. Whereas, condition of optimality that's so called achievement of price minimum and materials mass requires only distribution of internal efforts, in order to complete this, we should carry some initial efforts in the construction – previous tension. Only in one case, statistically determinable system, which has the minimum mass, will be most useful without initial efforts – at time of acting of one permanent loading.

Such modification also should be theoretically done at time of acting of changeable loading, but for the realization of this resolution it is necessary to carry the changeable initial efforts in the construction, which meanings must be changed on the construction on the base of external loading location. It should be mentioned, that initial effort is one of the first with its meaning among the progressive ideas of construction form origination.

Initial effort give us the possibility: 1) to change the strained condition and to reduce the outgo of metal, i.e. optimal decision; 2) to reach the regulation of efforts, i.e. to make the most useful distribution of them (to transform the compressive bar as strained, we change the reversal cycle of bar working by fluctuating cycle and etc). Possibility of such regulation gives us the possibility to distribute the materials among the elements, to use the high-strength steel, as for compressive bar, so for such bars, which feels the reversal influence.

Let's discuss the main conditions of optimal design of metal bar constructions.

Setting of optimal design task significantly defines the method of their resolution and the possibilities of their realization. Final result should be satisfy the building norms and rules requirements. That's why, most simplification is not allowed. Any king calculation of construction should be based on the conditions, received in design modern practice and should be met to the main regulations of traditional methods of building mechanics.

It should be mentioned, practically each metal-construction corresponds to the linear-deformed systems, notwithstanding of physical, geometric and sometimes, existence of constructive not-linearity (nonlinear connection among the influences, efforts, voltage and deformation is said). Neglect of physical nonlinear is depended on the working idealization of materials in the flexibility limits – alloy of metal and aluminum are discussed, as the best flexible things. They can avoid the geometric nonlinear according to the formed scheme under the loading, but construction, which is typical for unilateral-connecting systems, e.g. for air-stand constructions, in order to carry the limitation in efforts mark.

Abovementioned terms of linearization are carried in not only for simplifying of calculation. Their usage in the tasks of bar systems optimization gives us the possibility to use the most collaborates and a probated mathematical methods for discussion. Herewith, accuracy of calculation in this case is the same, as it is at time of leadership of design by traditional methods.