

საქართველოს განათლების და მეცნიერების სამინისტრო
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მალხაზ დოგრაშვილი

**თანამედროვე ლითონის მასალებით
დამზადებული სამშენებლო კონსტრუქციების
საიმედოობის კვლევა**

07.19 – სამრეწველო ინჟინერია და ტექნოლოგია

ინჟინერიის დოქტორის აკადემიური
ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორ ეფერ ატი

ქუთაისი
2023

ნაშრომი შესრულებულია აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერ-
სიტეტის საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტის მშენებლობისა
და ტრანსპორტის დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პარმენ ყიფიანი - პროფესორი,
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო
უნივერსიტეტი

ოფიციალური რეცენზენტები: მარლენ შალამბერიძე -
პროფესორ-ემირიტუსი,
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო
უნივერსიტეტი
ამირან გრძელიშვილი -
ასოცირებული პროფესორი,
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო
უნივერსიტეტი

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია აკაკი წერეთლის სახელ-
მწიფო უნივერსიტეტის სამეცნიერო ბიბლიოთეკაში, თამარ
მეფის ქუჩა №59, ქუთაისი, საქართველო.

დისერტაციის დაცვა შედგება 2023 წლის 9 თებერვალს,
14 საათზე, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში,
ქუთაისი, თამარ მეფის ქუჩა №59, პირველი კორპუსი, აუდიტო-
რია №1114.

ავტორეფერატი დაიგზავნა 2023 წლის 12 იანვარს.

სადისერტაციო საბჭოს
მდივანი, ასოც. პროფესორი _____ /ნ. სახანბერიძე/
ხელმოწერა

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. მშენებლობების გაზრდილი ტემპები ბოლო პერიოდში მნიშვნელოვნად განაპირობებს ლითონის კონსტრუქციების მზარდ გამოყენებას, რაც მათი უნივერსალობით, მაღალი სიმტკიცით და შესაბამისი პლასტიკურობით აიხსნება. გარდა ამისა, მათი გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს მშენებლობის ხარჯებს და ვადებს. როგორც ბოლო წლებში აგებული ნაგებობების ანალიზმა გვიჩვენა, სავაჭრო კომპლექსების, სპორტული დარბაზების, სასაწყობო მეურნეობების ობიექტების აგებისას და განსაკუთრებით ძველი შენობების რეკონსტრუქციისას, ან მთლიანად ლითონის კონსტრუქციები გამოიყენება, ან დიდი ნაწილი მოდის ლითონის კონსტრუქციებზე.

როგორც ცნობილია, ექსპლუატაციის პერიოდში შენობა-ნაგებობებზე მოქმედებს როგორც მუდმივი (კონსტრუქციების საკუთარი წონა, ტექნოლოგიური მილგაყვანილობების, სხვადასხვა მოწყობილობის წონა და სხვა), ასევე დროებითი (ქარისა და თოვლისაგან გამოწვეული) დატვირთვები.

ლითონის კონსტრუქციების პროექტირების, გაანგარიშებისა და დამზადების ტექნოლოგიის დამუშავებისას საჭიროა ისეთი ლითონური მასალების გამოყენება, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად შემცირდეს კონსტრუქციის წონა, რაც თავის მხრივ, შეამცირებს შენობა-ნაგებობებზე მოსულ დატვირთვებს. ეს საკითხი განსაკუთრებით აქტუალურია ძველი შენობების რეკონსტრუქციის დროს და უფრო მეტად მნიშვნელოვანია ძველ შენობებზე მანსარდული სართულის

მოწყობისას, რადგან ასეთი შენობების საძირკველს სიმტკიცის ლიმიტირებული მარაგი გააჩნია.

ამ მიმართულებით, ბოლო წლებში, აქტიურად ხორციელდება თხელკედლიანი მსუბუქი კონსტრუქციების გამოყენება, რომელთა დასამზადებლად ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა თხელკედლიანი, როგორც ღია, ისე ჩაკეტილი პროფილი, მათ შორის კუთხოვანები, ორტესებრი კოჭები, შველერები, ოთხკუთხა ან მრგვალი მილები და სხვა. თუმცა ჯერ კიდევ არსებობს კითხვები მათ გამოყენებასთან და საიმედოობასთან დაკავშირებით.

აღნიშნული საკითხით დაინტერესება და მეცნიერული კვლევის დაწყება, უწინარესად, განაპირობა აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ტექნიკური ფაკულტეტის მშენებლობისა და ტრანსპორტის დეპარტამენტის პროფესორ-მასწავლებელთა დაკვირვებამ და დაგროვილმა გამოცდილებამ, რამაც ერთობლივი საკონფერენციო და სასწავლო მუშაობის დროს აღძრა სურვილი სიღრმისეულად შეგვესწავლა და დაგვემუშავებინა ფოლადის თხელკედლიანი მასალების გამოყენების უპირატესობები და ნაკლოვანებები.

საგულისხმოა, რომ ეს პრობლემა დღემდე აქტუალური და მკვლევართა ინტერესის საგანია.

წინამდებარე კვლევით გამოიკვეთა, რომ ფოლადის თხელკედლიანი ლითონების გამოყენებისას

1. არ არის საჭირო დიდი ზომის საძირკველის მომზადება;
2. კონსტრუქციის აკრება პროფილის სიმსუბუქის გამო შედარებით ადვილია და სწრაფად ხდება;
3. არ არის საჭირო დიდი ზომის ამწე-სატრანსპორტო

საშუალებების გამოყენება;

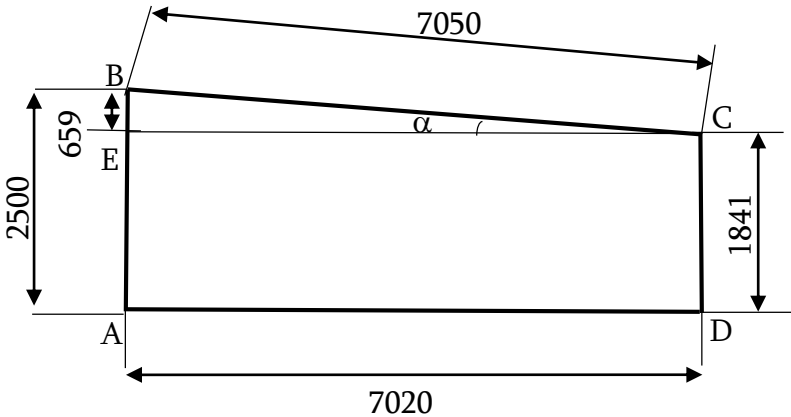
4. ე.წ. „სველი სამუშაოების“ არარსებობა საშუალებას იძლევა სამუშაოები წარიმართოს მთელი წლის განმავლობაში;

5. ეფექტურია რემონტისა და რეკონსტრუქციის შესაძლებლობა;

6. კონსტრუქციის წონა შემცირებულია;

7. მასალები ეკონომიურადაა გამოყენებული.

საკვლევ ემპირიულ მასალას წარმოადგენს ღეროვანი ლითონკონსტრუქცია, რომლითაც მოწყობილია შენობის გადახურვა (ნახ. 1), რომლის მალეებს შორის მანძილია 7020 მმ. გადახურვის ერთი მხარის სიმაღლეა 1841 მმ, მეორესი კი 2500 მმ გადახურვის დახრის კუთხე $2500-1841=659$ მმ.



ნახ. 1.

შენობა-ნაგებობების გადახურვისას, ასევე შემომზღულ კონსტრუქციებში დიდი წილი უჭირავს ნივნივურ წამწეებს და საკმაოდ ფართოდ გამოიყენება ორი კუთხოვანისაგან

შედგენილი ღეროები, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია საფენების საშუალებით. ეს ტრადიციული გადაწყვეტილება საშუალებას იძლევა დაპროექტდეს სხვადასხვა ტიპის წამწეები და ყველა დატვირთვის გათვალისწინებით შერჩეული იქნას კვეთის ფართი, ეფექტურად გადაწყდეს შეერთების კვანძები და სხვა.

კვეთის შერჩევასაც ცდილობენ, რომ სხვადასხვა პროფილის კუთხოვანების რაოდენობა არ იყოს 4-6-ზე მეტი მთელ წამწეზე. თუმცა ხშირ შემთხვევაში კუთხოვანების კვეთის ფართი და სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი არის მნიშვნელოვნად გაზრდილი.

ჩვენს ქვეყანაში და მის ფარგლებს გარეთ დაგროვილი გამოცდილება წარმოების, დიზაინის და ექსპლუატაციის შესახებ, გვიჩვენებს, რომ მიღების გამოყენება ფერმის (კარკასში/ღეროებში) დაწყვილებული კუთხეების ნაცვლად, არა მხოლოდ ამცირებს ლითონის დანაკარგს, არამედ ხელს უწყობს კონსტრუქციების წარმოების-(დამზადების) სირთულის შემცირებას, კონსტრუქციების დამზადების, საიმედოობის და გამძლეობის გაუმჯობესებას.

თხელკედლიანი პროფილები კვადრატული და მართკუთხა მიღების სახით არიან გაცილებით კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური, ვიდრე მრგვალი მილები, რადგან მათი გამოყენების დროს მნიშვნელოვნად მარტივდება მართკუთხა ღეროების კვანძოვანი შეერთება და ამსუბუქებს მათი დამზადების ტექნოლოგიას.

თხელკედლიანი მართკუთხა პროფილების კიდევ ერთი უპირატესობა ის არის, რომ ისინი იოლად ექვემდებარებიან

უნიფიკაციას განივი კვეთების განზომილებებით.

დღეს, ტექნოლოგიების განვითარების ასეთ პირობებში, მეტად აქტუალურია ანალიზურ მეთოდთან ერთად რიცხვითი მეთოდებით გადაწყვეტა ჩვენ მიერ დასმული ამოცანების ამოხსნისათვის. თანამედროვე კომპიუტერული პროგრამული პაკეტების გამოყენება, კერძოდ Mathcad-ის პროგრამული პაკეტები საშუალებას იძლევა უმოკლეს დროში შესრულდეს ისეთი დიდი სამუშაო, რაც საჭიროა ჩვენ მიერ აღნიშნული საკვლევი კონსტრუქციის ანალიზური მეთოდით ანგარიშისას. ეს პროგრამები ხელმისაწვდომია მკვლევარებისათვის და პრაქტიკოსი სპეციალისტებისათვის. ისინი ფართოდ დაინერგა სასწავლო პროცესში ინჟინრების მომზადებისათვის, რაც, მიგვაჩნია, არის მყარი საფუძველი ჩვენ მიერ შერჩეული სისტემისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანი განსაზღვრა იმ კონკრეტულმა ამოცანებმა, რომლებიც გამოიკვეთა კვლევის პროცესში და განაპირობა შემდგომი მეცნიერული მუშაობა. მშენებლობის ხარჯების და ვადების მნიშვნელოვნად შესამცირებლად, მშენებლობაში რკინაბეტონის ფართოდ გამოყენების მიუხედავად, ლითონის მოხმარება იზრდება, განსაკუთრებით ისეთ კონსტრუქციებში, სადაც რკინაბეტონის გამოყენება არარაციონალური და გაუმართლებელია.

თანამედროვე ეტაპზე სამშენებლო კონსტრუქციების ტიპის შერჩევის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს ეტაპს ნაგებობათა პროექტირების დროს. სწორედ, აღნიშნული საკითხების კვლევას ეძღვნება წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომი.

ნაშრომში კომპლექსურადაა შესწავლილი:

1. თხელკედლანი მსუბუქი ფოლადის კონსტრუქციების უპირატესობა და ნაკლოვანებები;
2. შენობათა გადახურვის ლითონის შენადული კონსტრუქციების (ფერმების) სახეობები, მათი კონტურის მოხაზულობა და გისოსების სქემები;
3. ღეროვანი სივრცითი კონსტრუქციების სიმტკიცის, სიხისტის და მდგრადობის უზრუნველყოფისათვის ღეროების კვეთების შერჩევა-გაანგარიშების საფუძველზე შედგენილი საანგარიშო მოდელის გამოყენებით;
4. განტოლებათა სისტემის ამოხსნა რიცხობრივად სტანდარტული პროგრამების გამოყენებით პერსონალურ კომპიუტერებში ჩაშენებული ფუნქციებით, კერძოდ Mathcad - ის სისტემით;
5. მშენებლობაში გამოყენებული ფოლადები და საშემდუღებლო მასალები;
6. მსუბუქი კონსტრუქციების დასამზადებლად გამოყენებული სხვადასხვა შეერთებების ტიპები;
7. შედუღების ხერხის და მეთოდის შერჩევა;
8. შედუღების რეჟიმების შერჩევა და ოპტიმალური ვარიანტის დამუშავება;
9. ნივინვა ფერმის დამზადების და მონტაჟის ოპტიმალური ტექნოლოგია.
10. თხელკედლიან კონსტრუქციების ელემენტებში ნარჩენი ძაბვების და დეფორმაციების განსაზღვრა ტენზომეტრიის მეთოდის დახმარებით.

მეცნიერული სიახლე. ნაშრომში განხილულია ფოლადის თხელკედლიანი მსუბუქი პროფილებისაგან სამშენებლო კონსტრუქციების შედუღებით დამზადება და მათი გამოყენების შესაძლებლობა სხვადასხვა ტიპის სამშენებლო და სარეკონსტრუქციო სამუშაოების შესრულების დროს; ნაჩვენებია ფოლადის თხელკედლიანი მსუბუქი კონსტრუქციების უპირატესობანი, შენობა-ნაგებობებში საკუთარი წონით გამოწვეული დატვირთვების შემცირების ხარჯზე და მათი მნიშვნელოვანი ეკონომიური ეფექტი მასალების, კონსტრუქციების დამზადების, მონტაჟის დროის შემცირებისა და ასევე მძიმე ტექნიკის გარეშე სამონტაჟო სამუშაოების შესრულებისას.

ნაშრომის თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა. ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევა და მისი შედეგები სასარგებლო და გამოსადეგი იქნება ქვეყანაში ისეთი მნიშვნელოვანი დარგის განვითარებისათვის, როგორცაა მშენებლობა და ფოლადის მსუბუქი თხელკედლიანი მასალების თემით დაინტერესებული მკვლევრებისათვის, მისი უფრო სრულყოფილად შესწავლისათვის.

ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევის შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნას რეალური კონსტრუქციების დასამზადებლად, რომლის მაგალითსაც წარმოადგენს ჩვენ მიერ მიღებული შედეგების მიხედვით დამუშავებული ტექნოლოგიით დამზადებული გადახურვის ნივნივა ფერმებით, ქ. ქუთაისში წერეთლის გამზირზე #186 მშენებარე სავაჭრო ცენტრის სახურავის მოწყობა.

კვლევის მეთოდოლოგია. ნაშრომის მეთოდოლოგიური და

თეორიული საფუძველია ლითონის მასალებით დამზადებული სამშენებლო კონსტრუქციების საიმედოობის შემსწავლელი მკვლევარების სამეცნიერო ნაშრომები, ტექნიკური ხასიათის სამეცნიერო ლიტერატურა, სადაც განხილულია ფოლადის მსუბუქი თხელკედლიანი მასალების თეორიული და პრაქტიკული საკითხები, კვლევის პროცესში გამოყენებულია უახლესი მეთოდოლოგიური მიდგომები: ექსპერიმენტალურ ნაწილზე დაყრდნობით სადოქტორო ნაშრომში საფუძვლიანადაა განხილული მათი არსი.

კვლევის მატერიალურ - ტექნიკური ბაზა: სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობის პერიოდში თეორიულად მიღებული შედეგების ექსპერიმენტალურად დადასტურება შესაძლებელი იქნა აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტის მშენებლობისა და ტრანსპორტის დეპარტემენტის ლაბორატორიებში და ქ. ქუთაისში წერეთლის #186 მშენებარე სავაჭრო ცენტრის საამშებლო მოედანზე.

დასაცავად გამოგვაქვს შემდეგი დებულებები: კონსტრუქციების შედუღებით დამზადების შესაძლებლობა; შენობის გადახურვის ღეროვანი ლითონკონსტრუქციის გაანგარიშება; ლითონის თხელკედლიან პროფილებისაგან დამზადებული ნივნივა ფერმის ელემენტების კვეთის შერჩევა; ძირითადი განტოლებების რიცხვითი ამოხსნა Mathcad - ის სისტემაში; შედუღების ხერხის და მეთოდის შერჩევა შენადული შეერთებიდან სითბოს არინების და გაცივების ოპტიმალური სიჩქარის გათვალისწინებით; შედუღების ოპტიმალური რეჟიმები, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ძირითადი ლითონის ტოლფასი უდევექტო შენადული შეერთება; ნაკერების

შესრულების თანმიმდევრობა, რომელიც უზრუნველყოფს ნარჩენი დეფორმაციებისა და დაზიანების მინიმალურ მნიშვნელობას; დაზიანებისა და დეფორმაციების ანალიზის ექსპერიმენტალური კვლევის მეთოდის ტენზომეტრიკის მეთოდის გამოყენებით.

ნაშრომის აპრობაცია და პუბლიკაცია. დისერტაციაში განხილულ საკითხებზე მოხსენებით გამოვდიოდი საუნივერსიტეტო და საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე. გამოკვლევების შედეგები სისტემატურად ეცნობოდა საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტის დეპარტამენტს. დასრულებული სახით ნაშრომი განხილული და რეცენზირებული იქნა, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტის მშენებლობისა და ტრანსპორტის დეპარტამენტის გაერთიანებულ სხდომებზე.

კვლევის ძირითადი შედეგები მოხსენებათა სახით წარმოდგენილ იქნა IV საერთაშორისო კონფერენციებზე „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი; IX საერთაშორისო კონფერენცია „თანამედროვე პრობლემები არქიტექტურასა და მშენებლობაში“, შოთა რუსთაველის სახელობის ბათუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი.

პუბლიკაციები დისერტაციის ძირითად შედეგებზე გამოქვეყნებულია ხუთ სამეცნიერო ნაშრომში.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა:

ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და დასკვნისაგან. ნაშრომს დაერთვის გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა და ინტერნეტით მოძიებული მასალების მისამართები.

შესავალში დასაბუთებულია სადისერტაციო თემის შერჩევის მიზანი და ამოცანები, გამოკვლეულია აქტუალობა, თეორიული და პრაქტიკული ღირებულება, განსაზღვრულია პრობლემა, მითითებულია კვლევის პროცესში გამოყენებული მეთოდები, ჩამოყალიბებულია ძირითადი დებულებები.

ნაშრომის მოკლე დახასიათება

პირველ თავში - „მშენებლობაში გამოყენებული ლითონის მასალებით დამზადებული სამშენებლო კონსტრუქციების მიმოხილვა და მათი შედარება თანამედროვე ფოლადის მსუბუქი თხელკედლიანი მასალებით დამზადებულ სამშენებლო კონსტრუქციებთან“ (შედგება ექვსი ქვეთავისაგან) მოცემულია ლითონის მასალებით დამზადებული სამშენებლო კონსტრუქციების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა. დღემდე არსებული მზიდი ლითონის კონსტრუქციების სახეები და ტიპები და საკვლევ თემასთან დაკავშირებული სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვა. არსებული სამეცნიერო ნაშრომების კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია კვლევის ამოცანები. აღინიშნულია თხელკედლიანი მსუბუქი კონსტრუქციების ძირითადი უპირატესობა ტრადიციულ აგურის, რკინა-ბეტონის, ხის და აგრეთვე ფოლადის (ე.წ. ცხლადნაგლინი „შავ“ ლითონებიდან) კონსტრუქციებთან:

1. კონსტრუქციების სიმსუბიუქე სიმტკიცესთან და მდგარდობასთან „შეთანხმებაში“, დატვირთვების შემცირება საკუთარი წონის გამო;

2. სეისმური და სხვა დინამიკური ზემოქმედების ამაღლებული მდგრადობა. ნაგებობებს თხელკედლიანი მსუბუქი კონსტრუქციებისაგან შეუძლიათ გაუძლონ ცხრა ბალიან მიწისძვრას რიხტერის შკალით, რაც შეიძლება აიხსნას ნაგებობის ფოლადის კარკასის ელასტიურობით;
3. სატრანსპორტო ხარჯების შემცირება კონსტრუქციების მცირე მასის გამო. მშენებლობის ადგილზე კონსტრუქციების სრული კომპლექტის და მათი ელემენტების მიტანა ნებისმიერი ტრასპორტით;
4. შრომის დანახარჯების და ენერგო მოხმარების შემცირება მონტაჟის დროს;
5. მშენებლობის ვადების შემცირება კონსტრუქციების დამზადების, მიტანის და მონტაჟის დროის შემცირების გამო;
6. სამშენებლო მანქანების მინიმალურად გამოყენება, განსაკუთრებით დიდი ტვირთამწეობის ამწე-სატრანსპორტო მანქანებისა;
7. თითქმის „სველი“ ტექნოლოგიური სამუშაოების სრული არ არსებობა, რაც საშუალებას იძლევა სამუშაოები მიმდინარეობდეს წლის ნებისმიერ დროს, ნებისმიერ ამინდში;
8. ღრმა ფუნდამენტის მოწყობის (1.5-2.0 მ) საჭიროების არ არსებობა. ფოლადის მსუბუქ თხელკედლიან კონსტრუქციების კარკასისათვის საკმარისია მცირე ზომის ფუნდამენტის მოწყობა;

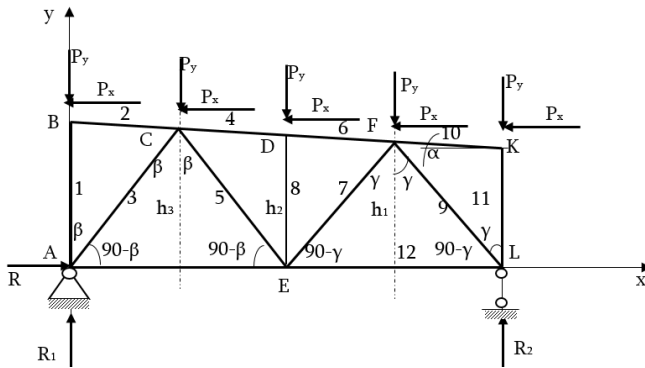
დადებითთან ერთად ფოლადის მსუბუქ თხელკედლიან კონსტრუქციებისათვის განხილულია მათი ნაკლოვანებები:

1. ფოლადის მსუბუქი თხელკედლიანი კონსტრუქციების მუშაობის ხანგრძლივობა აგრესიულ გარემოში არ აღემატება 25 წელს;
2. გადახურვების მცირე მდგრადობა, რომელიც დაკავშირებულია მათ დეფორმაციულობასთან და მცირე მასასთან;
3. კონსტრუქციების დაბალი ცეცხლმდეგობა;
4. ფოლადის მსუბუქი თხელკედლიანი კონსტრუქციების დაზიანების მეტი ალბათობა მათი ტრანსპორტირების, დატვირთვა-გადმოტვირთვისთვის და მონტაჟის დროს.

მეორე თავში - „სივრცითი ღეროვანი სისტემების გაანგარიშების მეთოდები“ (შედგება სამი ქვეთავისაგან) განიხილება სივრცითი ღეროვანი სისტემების გაანგარიშების მეთოდები, შენობის გადახურვის ღეროვანი ლითონკონსტრუქციის გაანგარიშების მეთოდის ძირითადი განტოლებები, მისი გაანგარიშება, ძირითადი განტოლებების რიცხვითი ამოხსნა Mathcad - ის სისტემაში.

მეთოდოლოგიური თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი იყო განსხვავების წარმოდგენა სტატიკურად რკვევად და სტატიკურად ურკვევ სისტემებს შორის და გაანგარიშების მეთოდების დამუშავება. სტატიკურად ურკვევი სისტემებისათვის. ასეთებია: ძალთა მეთოდი, გადაადგილების მეთოდი, შერეული მეთოდი, რიცხვითი მეთოდების დამუშავება, სასრული ელემენტების მეთოდი. კონსტრუქციული თვალსაზრისით სტატიკურად ურკვევ სისტემაში ცალკეული ელემენტების მწყობრიდან

გამოსვლა არ იწვევს კონსტრუქციის მწყობრიდან გამოსვლას კატასტროფულად. თუმცა ყოველი ელემენტი დაკავშირებულია დამატებით ხარჯებთან და თუ შესაძლებელია სტატიკურად რკვევადი და კინემატიკურად უცვლელი ღეროვანი სისტემით უზრუნველვყოთ კონსტრუქციის სიმტკიცე და სიხისტე, არჩევანი მასზე უნდა გავაკეთოთ. ასეთი კონსტრუქციები მსუბუქია და სამონტაჟო სამუშაოების შესრულების თვალსაზრისით უფრო ტექნოლოგიური. სტატიკურად რკვევად მზიდ კონსტრუქციებში არ წარმოიქმნება დამატებითი ძაბვები დაკავშირებული საყრდენების დაჯდომასთან. ფერმებში ღეროები კვანძებში შეერთებულია ან მოქლონურად, ან შედუღებით, ანუ ხისტად. როგორც გაანგარიშებები აჩვენებს, ლითონურ ფერმებზე კვანძებში მოქმედი ძალებისას, ფერმის ღეროებში აღძრული ძალები ხისტი შეერთებისას მცირედით განსხვავდება იმ ძალებისაგან, რომლებიც აღძვრება ღეროებში სახსრულად შეერთებისას კვანძებში. ამიტომ გაანგარიშებისას განვიხილავთ ფერმას, რომლის ყველა ელემენტი კვანძებში შეერთებულია სახსრულად (იდეალური სახსრებით)



ნახ. 2

$$X = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \\ X_9 \\ X_{10} \\ X_{11} \\ X_{12} \\ X_{13} \\ X_{14} \\ X_{15} \\ X_{16} \end{Bmatrix}, \quad B = \begin{Bmatrix} P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ -P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ -P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ 0 \\ 0 \\ P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$A = \begin{Bmatrix} 0 & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \beta & -\cos \alpha & -\sin \beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \beta & \sin \alpha & \cos \beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\cos \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin \gamma & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \gamma & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\cos \alpha & -\sin \gamma & 0 & \sin \gamma & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \gamma & 0 & \cos \gamma & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \beta & 0 & \cos \gamma & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin \beta & 0 & \sin \gamma & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \cos \beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin \beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

წრფივ ალგებრულ განტოლებათა სისტემა ეფექტურად ამოიხსნება რიცხობრივად გაუსის მეთოდით. ალგებრულ განტოლებათა სისტემის რიცხვითი ამონახსნის პოვნის შემდეგ ვადგენთ ღეროს, რომელშიც აღიმკვრება აბსოლუტური

მნიშვნელობით მაქსიმალური ნორმალური ძალა და გავიანგარიშებთ მაქსიმალური ძაბვის მნიშვნელობას.

შესაბამისად, სიმტკიცის პირობიდან გვაქვს:

$$\sigma_{\max} = \left| \bar{X}_{i\max} \right| P / A; \quad (A \text{ განივკვეთის ფართია}). \quad (5)$$

$$\frac{\left| \bar{X}_{i\max} \right|}{A} P \leq \frac{\sigma_{dn}}{n} \quad (6)$$

აქედან გამომდინარე შეიძლება განვსაზღვროთ ძალის სიდიდე P თუ მოცემულია ღეროს განივი კვეთის ფართი ან პირიქით.

განტოლებათა სისტემის ამოხსნა მოსახერხებელია რიცხობრივად. მით უფრო წრფივ განტოლებათა სისტემის ამოხსნის სტანდარტული პროგრამები, ჩაშენებული ფუნქციები არის პერსონალური კომპიუტერებისათვის თავსებად ყველა სისტემაში. ჩვენ ავირჩიეთ Mathcad - ის სისტემა.

რიცხვითი გაანგარიშებისათვის საჭიროა ფერმის გეომეტრიის პარამეტრების შეტანა. საჭიროა ასევე შეტანილი იქნას A და B მატრიცები. მაქსიმალური განსხვავება რიცხვით გაანგარიშებასა და ანალიზურ ამონახსნს შორის ნაკლებია 3%-ზე.

რიცხვითი გაანგარიშების შედეგების მიხედვით:

$$\left| \bar{X}_{i\max} \right| = \left| \bar{X}_3 \right| = 2,038$$

ჩვენ მიერ შესრულებული გაანგარიშებისას $|X_{i_{max}}|$ მიღებული იქნა 1,98 - ის ტოლი.

Mathcad-ის სისტემაში შედგენილი პროგრამა მნიშვნელოვნად ამცირებს გაანგარიშების მოცულობას და საშუალებას იძლევა ავტომატიზირებულ რეჟიმში შევასრულოთ რიცხვითი ექსპერიმენტები.

მესამე თავში - „თხელკედლიანი პროფილებისაგან დამზადებული შენადული სამშენებლო კონსტრუქციების ოპტიმალური ტექნოლოგიების დამუშავება“ (შედგება ცხრა ქვეთავისაგან) მოცემულია თხელკედლიანი პროფილებისაგან დამზადებული შენადული სამშენებლო კონსტრუქციების ოპტიმალური ტექნოლოგიების დამუშავება, კერძოდ: სამშენებლო ფოლადები და მათი კლასიფიკაცია, მშენებლობაში გამოყენებული ფოლადების ქიმიური შედგენილობა და მექანიკური თვისებები, საშემდუღებლო მავთულისა და ელექტროდის, შედუღების ხერხის, მეთოდის, რეჟიმების შერჩევა და ოპტიმალური ვარიანტის დამუშავება, საშემდუღებლო მოწყობილობების შერჩევა, ნივნივა ფერმის დამზადების და მონტაჟის ტექნოლოგია.

ლითონის კონსტრუქციების დამზადებისას მისი ცალკეული ელემენტებს ერთმანეთთან შესაერთებლად გამოიყენება შენადული, ჭანჭიკური და მოქლონური შეერთებები. შეერთების სახის შერჩევა დამოკიდებულია შესაერთებელი ელემენტების ფორმაზე, შეერთების მუშაობის პირობებზე კონსტრუქციის ელემენტების განლაგებაზე და სხვა.

აღნიშნული შეერთების ტიპებიდან ყველაზე მეტად გავრცელებულია შენადული შეერთება. მისი გამოყენების შემთხვევაში საჭიროა გაცილებით ნაკლები დრო ლითონის კონსტრუქციების დასამზადებლად, ვიდრე ჭანჭიკური და

მოქლონური შეერთებისას. შედეგებით შეერთების გამოყენებისას შესაძლებელია ნებისმიერი სირთულის კონსტრუქციის დამზადება. შედეგების გამოყენება უზრუნველყოფს შეერთების მაღალ სიმტკიცეს, პროცესის ავტომატიზაციას, შენადული შეერთების მაღალ ხარისხს, სამუშაოს შესრულებას არამარტო საქარხნო პირობებში, არამედ სამშენებლო მოედანზე სამონტაჟო სამუშაოების შესასრულებლად. აღნიშნული განაპირობებს მის გამოყენებას ყველა ტიპის ლითონის კონსტრუქციების დასამზადებლად. შედეგებით შეერთებაზე მოდის დამზადებული ლითონის კონსტრუქციების 80%-ზე მეტი. ლითონის კონსტრუქციების დასამზადებლად შედეგების ძირითადი ხერხია დნობით ელექტრორკალური შედეგება.

სამშენებლო კონსტრუქციების დაპროექტების, წარმოების და ექსპლუატაციის პროცესზე მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს ფოლადების (ლითონის) ქიმიურ და მექანიკურ თვისებებს.

სამშენებლო კონსტრუქციებში ლითონის მუშაობა ხასიათდება მისი სიმტკიცით, პლასტიკურობით, დრეკადობით, შედეგებადობით და სხვა მექანიკური თვისებებით, რომლებიც მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ამ ფოლადების ქიმიურ შედგენილობაზე.

სამშენებლო კონსტრუქციებში ფოლადის გამოყენების ერთ-ერთი განმსაზღვრელი ფაქტორია მათი საკმაო პლასტიკურობა მაღალ სიმტკიცესთან ერთად.

საკონსტრუქციო ფოლადებს მექანიკური თვისებები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მათში მავნე მინარევების (გოგირდი, ფოსფორი, ჟანგბადი, აზოტი) შემცველობაზე, რომლებიც მნიშვნელოვნად ზრდიან სიმყიფეს და ამიტომ მათი შემცველობა მკაცრად კონტროლდება. ასევე მნიშვნელოვანია

მათში მალეგირებელი ელემენტების (ნიკელი, ქრომი, მოლიბდენი) შემცველობის კონტროლი, რომლებიც ზრდიან სიმტკიცეს, პლასტიკურობას და შედუღებადობას, თუმცა იზრდება წრთობადაც.

განჯანგვის ხერხის მიხედვით მშენებლობაში გამოიყენება მშვიდი და ნახევრადმშვიდი ფოლადები.

ნორმატივებიდან გამომდინარე, სამშენებლო კონსტრუქციების დიდი პასუხისმგებლობიდან გამომდინარე, მათ დასამზადებლად გამოიყენება გ. ჯგუფის ფოლადები, ქიმიური შედგენილობისა და მექანიკური შედგენილობისა და მექანიკური თვისებების საგარანტიო მახასიათებლებით.

მექანიკური თვისებების მიხედვით, საკონსტრუქციო ფოლადები დაყოფილია: ჩვეულებრივი (C 235 - C 285), ამაღლებული (C 345 - C 390) და მაღალი სიმტკიცის (C440 - C590) ფოლადებად.

მშენებლობაში კონსტრუქციების დასამზადებლად ყველაზე მეტად გამოყენებულია შემდეგი საკონსტრუქციო ფოლადები - C 235 (B CT3KN2), c245 (BCT3nc6), c255 (BCT 3cn5) და ამაღლებული სიმტკიცის ფოლადები - C 345 (09ГЗ), C 345 (14 ГЗ), C 345 (09 ГЗC), C 390 (10T2C1), C 390 (10 XCHD).

განსაკუთრებით საშიშ ზემოქმედებას სამშენებლო კონსტრუქციებზე ლითონის დაღლილობა ახდენს, რაც გამოიხატება ლითონის რღვევაში მრავალჯერ განმეორებადი, ნიშანცვალებადი + დატვირთვების ზემოქმედებისას. ასეთ შემთხვევაში კონსტრუქციის რღვევა, როგორც წესი მყისიერია მყიფე რღვევის გამო.

ლითონის კონსტრუქციების დამზადებისას ძირითადი ლითონის ტოლფასი უდეფექტო შენადული შეერთების მისაღებად დიდი მნიშვნელობა აქვს საშემდუღებლო მასალების

სწორ შერჩევას. საშემდუღებლო მასალების არჩევა ხდება უკვე შერჩეული შედუღების ხერხისა და მეთოდის გათვალისწინებით. ჩვენ მიერ ფერმების დასამზადებლად და მათი მონტაჟისათვის შერჩეული იყო დამცავ აირებში ნახევრადავტომატური შედუღება და ხელით დნობადი ელექტროდით შედუღება.

შენადული კონსტრუქციების ექსპლუატაციის პრაქტიკა გვაჩვენებს, რომ უმრავლეს შემთხვევაში შედუღების ძაბვები არ ამცირებენ კონსტრუქციების ზიდვითუნარიანობას, მაგრამ ისეთი პლასტიკური ლითონიც კი როგორც დაბალნახშირბადიანი ფოლადია გარკვეულ პირობებში (დაბალი ტემპერატურა, ძაბვების კონცენტრაცია, დეფექტების არსებობა) შეიძლება იმყოფებოდეს მყიფე მდგომარეობაში (არ ექვემდებარება პლასტიკურ მდგომარეობას) და რამაც შეიძლება გამოიწვიოს მისი ზიდვითუნარიანობის შემცირება.

აღნიშნულის გათვალისწინებით სამშენებლო კონსტრუქციების აწყობა-შედუღების ტექნოლოგია საჭიროა დამუშავდეს იმის გათვალისწინებით, რომ უზრუნველყოფილი იყოს შედუღები ძაბვების მინიმალური მნიშვნელობა.

იმ შემთხვევაში, თუ შედუღების ძაბვების მნიშვნელობა მიაღწევს ლითონის დენადობის ზღვარს ისინი გამოიწვევენ მის პლასტიკურ დეფორმაციას და შედეგად შენადული კონსტრუქციის ზომებისა და ფორმის ცვლილებას ანუ დეფორმაციას (დაბრეცვას).

შედუღების ძაბვების და დეფორმაციების სიდიდე და ხასიათი ბევრ ფაქტორთანაა დაკავშირებული, მათ შორისაა შედუღების ხერხი და მეთოდი: ძირითადი და საშემდუღებლო მასალები; შედუღების რეჟიმები; საშემსრულებლო მოწყობილობა; შესადუღებელი დეტალების ჩამაგრება; ნაკრების შესრულების თანმიმდევრობა და სხვა.

ამ ფაქტორების გათვალისწინება და სწორი გადაწყვეტილებების მიღება მნიშვნელოვნად განაპირობებს თხელკედლიანი პროფილისაგან დამზადებული სამშენებლო კონსტრუქციების მუშაუნარიანობას და საიმედოობას და ვიზუალურ მხარეს.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე შედეგების ხერხის და მეთოდის შერჩევისას გათვალისწინებული უნდა იქნას პროცესის და საშემდუღებლო მოწყობილობის სიმარტივე, შენადული ნაკერების კარგი ფორმირება და საიმედოობა, შენადულ შეერთებაში დეფექტების წარმოქმნის მიმართ წინააღმდეგობა და სხვა.

მშენებლობაში ლითონის კონსტრუქციების დასამზადებლად ძირითად ელექტრორკალური შედეგების სხვადასხვა ხერხებს და მეთოდებს იყენებენ.

ნაკერის ფორმირების, მისი ხარისხის და პლასტიკური დეფორმაციის ზონის შემცირების თვალსაზრისით საუკეთესო შედეგს იძლევა ფლუსის საფარში ავტომატური შედეგება. ფლუსის საფარში ელექტრორკალურ შედეგებასთან შედარებით უფრო მოსახერხებლად და რაციონალურად შეიძლება ჩაითვალოს ხელით ელექტრორკალური შედეგება და დამცავ აირებში (CO_2 – ში) ნახევრადავტომატური შედეგება. დამცავ აირში ნახევრადავტომატური შედეგება უკეთეს შედეგს იძლევა ფერმის დამზადების პროცესში. მისი ეკონომიურობას, სისწრაფის და ხარისხის გათვალისწინებით, თუმცა სამონტაჟო სამუშაოების შესრულების დროს უპირატესობა უნდა მივანიჭოთ ხელით ელექტრორკალურ შედეგებას. ხელით ელექტრორკალური შედეგების უპირატესობად შეიძლება ჩაითვალოს მოწყობილობის სიმარტივე, შედეგების შესაძლებლობა ყველა სივრცულ მდებარეობაში და კვების

წყაროების გამოყენება, რომლებიც მუშაობენ როგორც ცვლად, ისე მუდმივ დენზე.

საწყის ეტაპზე ჩატარებული გამოთვლებიდან და შერჩეული ელექტროდის დიამეტრის და დენის ძალის მნიშვნელობებმა გამჭოლი „ჩადნობის“ თავიდან ასაცილებლად გვაჩვენა, რომ ნაკერის ფორმირება დამაკმაყოფილებელია, მაგრამ 1,2 მმ ელექტროდი მავთულისათვის საჭირო შეიქნა დენის ძალის გაზრდა 150 ა-მდე. თუმცა ნაკერის ხარისხთან ერთად საჭირო იყო მწარმოებლობის გაზრდა.

ანგარიშით მიღებული შედეგების რეჟიმები შევამოწმეთ ლაბორატორიის პირობებში. სამუშაოები შესრულდა ნახევრადავტომატების გამოყენებით. ისე როგორც დამცავ აირებში ნახევრადავტომატური შედეგებისას ხელით ელ. რკალური შედეგებისას ელექტროდის დიამეტრით 3 მმ ნაკერის ხარისხი დამაკმაყოფილებელია და ადგილი არ ჰქონია ნაკერის ლითონის გაწვას და გადინებას შედეგების ზონიდან მიუხედავად იმისა, რომ ნაკერის ხარისხი და მწარმოებლობა უკეთესია დამცავ აირში ნახევრადავტომატური შედეგებისას ხელით ელექტრორკალური შედეგების გამოყენების აუცილებლობა განაპირობა იმან, რომ სამონტაჟო სამუშაოების შესრულებისას მოწყობილობას სიმარტივე საშუალებას იძლევა შედეგება შესრულდეს ნებისმიერ სივრცულ მდებარეობაში, თუმცა გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ შენადული შეერთების ხარისხი დამოკიდებულია შემდეგების კვალიფიკაციაზე და განსაკუთრებით ეს ფაქტორი აქტუალურია თხელკედლიანი კონსტრუქციების შემთხვევაში.

საშემდეგებლო მოწყობილობების შერჩევა და გამართული მუშაობა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტია კონსტრუქციების აკრების პროცესში და მნიშვნელოვნად

განაპირობებს უდევფექტო შენადული შეერთების მიღების საკითხს.

შედულების ლაბორატორიაში ჩატარებული სამუშაოებისათვის გამოყენებული იყო სამემდულებლო ნახევრადავტომატი და ხელით შედულებისათვის მრავალპოსტიანი კვების წყარო BDM-1202 სამშენებლო ობიექტზე ფერმების დამზარების და მონტაჟის პროცესში გამოყენებული გვექონდა სამემდულებლო ნახევრადავტომატი POWERTEC-5000.

შენადულ შეერთებაში წარმოქმნილი დეფექტები განლაგების მიხედვით გვხვდება როგორც შინაგანი (ნაკერის შიგნით), ისე გარეგანი (ამოდის ნაკერის ზედაპირზე).

შენადული კონსტრუქციების დამზადების პროცესში შეინიშნება ცალკეული ელემენტების ან შეიძლება მთელი კონსტრუქციის ფორმის ცვლილება, რომელიც განსხვავდება პროექტით განსაზღვრული ზომებისაგან. ეს გადახრებიც, რომელიც გამოწვეულია ნაკეთობის დეფორმაციით (დაბრეცვით) ან ნაკერის „ჩაჯდომი“, ითვლება დეფექტებად.

ქ. ქუთაისში წერეთლის ქუჩაზე მიმდინარე სავაჭრო ცენტრის გადახუდვის მოწყობისათვის მსუბუქი თხელკედლიანი ფერმების დამზადება მოხდა კოპირების მეთოდით. რაც შემდეგში მდგომარეობს: პირველ ფერმას, რომელიც დამზადებულია მოცემული ზომების მონიშვნით და შემდგომი აკრება-შედულებით, ათავსებენ სტელაჟზე და ის გამოიყენება თარგად. ყოველი მომდევნო ფერმის დამზადებისას დეტალებს განლაგებენ თარგი ფერმის დეტალების შესაბამისად და ხდება მათი მოჭიდებზე აყვანა. მას შემდეგ, რაც ყველა ფერმა აიკრიბება, ხდება მათი გადატანა შედულების ადგილზე იმ რეკომენდაციების მიხედვით, რომელიც ითვალისწინებს

უდეფექტო შენადული შეერთების მიღებას და ნარჩენი ძაბვების და დეფორმაციების მინიმალურ მნიშვნელობას. გარდა ამისა, შედუღების პროცესში სრულად უნდა იქნეს გადადნობილი მომჭიდების ლითონი, რომელიც მართალია შესრულებულია იმავე მარკის საშემდუღებლო მასალებით, რომლითაც ნაკერები დულდება, მაგრამ გამდნარი ლითონის მცირე მოცულობის გამო არსებობს მათში დეფექტების არსებობის ალბათობა.

ფერმის აკრება მომჭიდებით იწყება ფასონურების მიმაგრებით ზედა და ქვედა სარტყელის მონიშნულ ადგილებზე, ამის შემდეგ, ზომიან დაჭრილი დგარები და ირიბანები ელექტროხერხით იჭრება შუაზე ფასონურების ზომების მიხედვით და უერთდება ფასონურების კვანძებში ცენტრირების გათვალისწინებით. საგულისხმოა ის გარემოებაც, რომ დგარებს და ირიბანებს გაჭრის ადგილი აქვს დეფორმაციის, რის გამოც მათი ფასონურებთან მიერთებისას ადგილი აქვს არათანაბარ ღრეჩოს, რამათ შეიძლება გამოიწვიოს დეფექტების წარმოქმნა შენადულ შეერთებაში, ამიტომ აუცილებელია მათი მომჭიდებზე აყვანის წინ მექანიკური დამჭერების დახმარებით ღრეჩოს ზომების გათანაბრება.

ფერმის კვანძების შედუღება იწყება მისი შუა ადგილიდან საყრდენებისაკენ, რომელიც უფრო „დამყოლ“ მდგომარეობაში იმყოფება, ვიდრე ფერმის შუა ნაწილი, ამ შემთხვევაში ფერმის კვანძებში ძაბვები იქნება მინიმალური. სხვადასხვა კვეთის ზომის ნაკერების შემთხვევაში დასაწყისში ადუღებენ დიდი კვეთის ნაკერს, შემდეგ კი მცირე კვეთისას. ერთმანეთთან ახლოს განლაგებული ნაკერები არ შეიძლება შედუღებული იქნას ერთმანეთის მიყოლებით. საჭიროა გაცივდეს ძირითადი ლითონის ის უბანი, რომელზედაც უნდა შესრულდეს მეორე ახლომდებარე ნაკერი ლითონის გადახურების თავიდან

ასაცილებლად და საშემდუღებლო პლასტიკური დეფორმაციების შესამცირებლად. ნაკერები უნდა შესრულდეს მიდუღებული ელემენტების ბოლოს მიმართულებით. ნაკერები სრულდება წინასწარშერჩეული შედუღების რეჟიმების და საშემდუღებლო მოწყობილობის მიხედვით.

დამზადებული კონსტრუქციების შენადული ნაკერების შესამოწმებლად ძირითადად იყენებენ ვიზუალურ ოპტიკურ მეთოდს, კონტროლის ამ მეთოდის გამოყენების არსი ითვალისწინებს ნაკერების გეომეტრიული ზომების გაზომვას და ვიზუალურ დათვალიერებას, ნაკერების გარეგანი დათვალიერება ბევრ შემთხვევაში საკმაოდ ინფორმაციულია, შედარებით იაფი და კონტროლის ოპერატიული მეთოდია. როგორც შეუიარაღებელი თვალით, ისე გამადიდებელი შუშის გამოყენებით შეიძლება შევამოწმოთ ბზარები, ფორები, გაწვა, ლითონის ჩამოდნობა, ფუძის ნაკერის შეუდუღებლობა და სხვა. ჩამოთვლილი დეფექტებიდან ზოგიერთი დაუშვებელია შენადულ ნაკერში და აუცილებელია მათი ამოჭრა და ხელახლა შედუღება. დათვალიერებისას ასევე შეიძლება აღმოჩენილი იქნას ნაკერის ფორმის დეფექტები, ნაკერის სიმაღლის და სიგანის ცვლილება მის სიგრძეზე, რაც შეიძლება რკალის სიმძლავრის ცვლილების მიზეზის იყოს, ასევე არათანაბარი ზედაპირი რკალის არამდგრადი წვის გამო.

დამცავ აირებში შედუღებისას ნაკერი უნდა იყოს გლუვი, ბრჭყვიალა და ღრმულების გარეშე. ნაკერის გეომეტრიულ ზომებს ამოწმებენ შაბლონების ან მზომი ინსტრუმენტების დახმარებით.

მეოთხე თავში „თხელკედლიანი ლითონის კონსტრუქციებში წარმოქმნილი ძაბვების ანალიზი ტენზორეზისტორების გამოყენებით“, განხილულია შენადულ

სამშენებლო კონსტრუქციების კერძოდ თხელკედლიანი ლითონით დამზადებული ფერმის საიმედოობის კვლევის ექსპერიმენტული მეთოდი.

შენადულ კონსტრუქციების დაპროექტებისა და ექსპლუატაციისას ხშირად მათ ელემენტებში წარმოიქმნება ძაბვები, რომელთა განსაზღვრა შესაძლებელია როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტული მეთოდებით.

კონსტრუქციების და მათი ელემენტები, როგორც წესი მუშაობენ ცვლადი დატვირთვების პირობებში, მათ მასალაში წარმოიქმნება რთული დამაბული მდგომარეობა, რომელსაც თან სდევს სხვადასხვა დადლილობითი მოვლენები. ამავე დროს კონსტრუქციებს ახასიათებს რთული გეომეტრიული ფორმები, სადაც მრავლადაა ერთი ზედაპირიდან მეორეზე მკვეთრი გადასვლის ადგილები, რომლებიც წარმოადგენს ადგილობრივი ძაბვების კონცენტრატორებს. როგორც ექსპლუატაციის პრაქტიკა აჩვენებს, მათი რღვევა უმრავლეს შემთხვევებში სწორედ ამ ადგილებში ხდება. მაგალითად კონცენტრატორების ზონაში 300-350 მპა საშუალო ძაბვებისას, უდიდესი ძაბვები შეიძლება 900-1000 მპა-ს სიდიდისა იყოს. ცხადის, რომ კონსტრუქციის საიმედოობა და ხანგამძლეობა ამ უდიდესი ძაბვებით განისაზღვრება.

ძაბვების თეორიული გაანგარიშებები ბევრ შემთხვევაში მეტად მიახლოებულია და არ ასახავს დამაბული მდგომარეობის ნამდვილ სურათს. ზოგიერთ შემთხვევაში ძაბვების განსაზღვრის ამოცანას ჯერაც არ აქვს თეორიული გადაწყვეტა. ასეთ შემთხვევებში დიდ მნიშვნელობას იძენს ძაბვების განსაზღვრის ექსპერიმენტული მეთოდები, რომელთა მეშვეობით შესაძლებელია დამაბული მდგომარეობის ნამდვილი სურათის განსაზღვრა, მაგალითად, სხვადასხვა დატვირთვების დროს. ამასთან დაკავშირებით, ძაბვების განსაზღვრის

ექსპერიმენტული მეთოდები როგორც თეორიული კვლევის მეთოდების დამატებითი (ზოგჯერ კი შემცვლელიც) მეთოდები სულ უფრო დიდ მნიშვნელობას იძენს.

ამჟამად ძაბვების განსაზღვრის რამდენიმე ექსპერიმენტული მეთოდი, რომელთაგან ყველაზე დიდი გამოყენება ჰპოვა ტენზომეტრულმა მეთოდმა. ტენზომეტრული მეთოდი დაფუძნებულია კონსტრუქციის ელემენტების ზედაპირებზე დეფორმაციების უშუალო გაზომვაზე მექანიკური, მავთულის და სხვა სახის ტენზომეტრების გამოყენებით. ყველაზე უნივერსალურია ელექტროტენზომეტრირების მეთოდი მავთულის ტენზომეტრების გამოყენებით.

ექსპერიმენტალური და თეორიული მნიშვნელობების შედარებით ვადგენთ ფარდობით ცდომილებას

$$\psi = \frac{N_{LE} - N_{LE}^{eqsp.}}{N_{LE}} \cdot 100\% . \quad (7)$$

მიღებული შედეგების შედარებამ გვაჩვენა რომ სხვაობა შეადგენს 8 პროცენტს.



სურ. 1. კონსტრუქციის გამოსაცდელი სტენდი

დისერტაციის ბოლოს მოყვანილია ძირითადი შედეგები და დასკვნები

- 1) გაანგარიშებით დადგენილია და ექსპერიენტალურად შემოწმებულია, რომ შესაძლებელია გადახურვისთვის მსუბუქი ლითონ კონსტრუქციის დამზადება მილკვადრატების გამოყენებით, რომელიც საიმედოა საექსპლუატაციო პირობებში.
- 2) დადგენილია, რომ თხელკედლიანი კონსტრუქციების დასამზადებლად შეერთების სხვა სახეებთან ერთად შესაძლებელია შედუღებით შეერთების გამოყენება.
- 3) ლეროვანი სივრცითი კონსტრუქციის ელემენტების (ნივნივა ფერმას) სიმტკიცის და სიხისტის უზრუნველსაყოფად საჭირო კვეთის შერჩევის და გაანგარიშებისათვის შედგენილია და გამოყენებულია საანგარიშო მოდელი.
- 4) შედგენილია გამოყენებითი პროგრამა და ამოხსნილია ამოცანები, რიცხვითი გაანგარიშებები შესრულებულია Mathcad-ში.
- 5) გაანგარიშებით დადგენილია და ექსპერიმენტალურად დადასტურებულია შედუღების ოპტიმალური რეჟიმები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მივიღოთ ნაკერის საჭირო პარამეტრები.
- 6) თხელკედლიანი პროფილის ქიმიური შედგენილობის და მექანიკური თვისებების გათვალისწინებით შერჩეულია საშემდუღებლო მასალები, რომლებიც დადგენილ შედუღების რეჟიმებზე იძლევიან შესაძლებლობას, მივიღოთ

ძირითადი ლითონის ტოლფასი შენადული შეერთება დეფექტების გარეშე.

- 7) კონსტრუქციის ზომების, შენადული ნაკერის ზომების და სივრცული მდებარეობის გათვალისწინებით შერჩეულია საშემდუღებლო მოწყობილობა.
- 8) დადგენილია ნივნივა ფერმის აკრებისა და შედუღების დაწყების ადგილი და ნაკერების შესრულების თანმიმდევრობა, რომელიც უზრუნველყოფს ნარჩენი ძაბვებისა და დეფორმაციის მინიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას.
- 9) თხელკედლიანი კონსტრუქციების შედუღებით დამზადებისათვის ნაკერიდან სითბოს არიდების და ნაკერების ოპტიმალური სიჩქარით გაცივებისათვის ექსპერიმენტალურად შერჩეულია შედუღების ხერხი და მეთოდი.
- 10) დამუშავებულია თხელკედლიანი კონსტრუქციების (ნივნივა ფერმის) შედუღებით დამზადების ოპტიმალური ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს კონსტრუქციის საიმედოობას, მინიმალურ ნარჩენ დეფორმაციას და ძირითადი ლითონის ტოლფასი უდეფექტო შენადული შეერთების მიღებას.
- 11) ექსპერიმენტალურად გაანგარიშებულია ნარჩენი ძაბვები და დეფორმაციები წამწის ელემენტებში და მიღებული შედეგები შემოწმებულია, რეალურ კონსტრუქციებში.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია
ნაშრომებში:**

1. დოგრაშვილი მ., ყიფიანი პ., მინდაძე ს., ფხაკაძე თ. ნარჩენი ძაბვებისა და დეფორმაციების შემცირების გზები მსუბუქი ლითონის კონსტრუქციების დამზადების დროს, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მოამბე, №2 (20), ქუთაისი, 2022. გვ. 175-181. ISSN: 2233-3711.
2. დოგრაშვილი მ., კიკვიძე ო. ღეროვანი სისტემების გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება Mathcad - ის სისტემაში, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მოამბე, №1 (19), ქუთაისი, 2022. გვ. 207-214. ISSN:2233-3711.
3. დოგრაშვილი მ., ყიფიანი პ., მინდაძე ს. ფოლადის თხელკედლიანი მსუბუქი პროფილებისაგან სამშენებლო კონსტრუქციების დამზადების შესაძლებლობა, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მოამბე, №2 (18), ქუთაისი, 2021. გვ. 168-176. ISSN: 2233-3711.
4. Dograshvili M., Kipiani P., Geradze P. The development of practical methods for the calculation of thin-walled rod systems, Proceedings of 9th international conference contemporary problems of architecture and construction, Batumi, 2017. Pg. 162-164. ISBN: 978-9941-26-089-6.
5. დოგრაშვილი მ., ყიფიანი პ., გერაძე პ., მინდაძე ს. მშენებლობაში ენერგო და რესურსდამზოგი ტექნოლოგიები მსუბუქი, თხელკედლიანი ფოლადის კონსტრუქციების გამოყენებით, IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: ენერგეტიკა, რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები, მოხსენებათა კრებული, ქუთაისი, 2016, გვ. 240-242. ISBN: 978-9941-453-03-8.

Ministry of Science and Education of Georgia
Akaki Tsereteli State University
Faculty of Engineering and Technology

As a manuscript

Malkhaz Dograshvili

**Study of the reliability of building structures made of
modern metal materials**

07.19 – Industrial engineering and technology

ABSTRACT

Dissertation submitted for an academic degree
Doctor of Engineering

Kutaisi 2023

The work was carried out in the Department of Construction and Transport of the Faculty of Engineering and Technology of Akaki Tsereteli State University

Scientific adviser: Parmen Kipiani - Professor of Akaki Tsereteli State University

Official reviewers: Marlen Shalamberidze - Professor-Emeritus of Akaki Tsereteli State University
Amiran Grdzelishvili - Associate Professor of Akaki Tsereteli State University

The dissertation can be found in the scientific library of Akaki Tsereteli State University at the address: Georgia, Kutaisi, st. Tamar mepe, No. 59.

The defense of the dissertation will take place on 09. 02. 2023 at 14 hours, at a meeting of the dissertation commission established by the dissertation council of the Faculty of Engineering and Technology. Address: 4600, Kutaisi, st. Tamar mepe, No. 59, Building I, room No. 1114.

The abstract was sent to 12. 01. 2023

Secretary of the dissertation council,
associate professor _____ /N. P. Sakhanberidze/
signature

GENERAL DESCRIPTION OF WORK

Relevance of the topic. The recently increased pace of construction largely determines the ever-increasing use of metal structures, which is explained by their versatility, high strength and appropriate plasticity. In addition, their use significantly reduces costs and construction time. As the analysis of buildings built in recent years shows, in the construction of shopping malls, sports halls, warehouse facilities, and especially in the reconstruction of old buildings, either completely metal structures are used, or most of the structures are metal.

As usual, during the period of operation, buildings and structures are affected by both constant (own weight of structures, weight of technological pipelines, weight of various equipment, etc.), and temporary (wind, snow) loads.

When designing, calculating metal structures and developing their manufacturing technology, it is necessary to use such metal materials that will significantly reduce the weight of the structure, which, in turn, will reduce the load on the structure. This issue is especially relevant in the reconstruction of old buildings and is even more important when installing attic floors on old buildings, since the foundation of such buildings has a limited (limited) margin of safety.

In this direction, in recent years, the use of light thin-walled structures has been actively carried out, for the manufacture of which a variety of both open and closed thin-walled profiles are widely used, including squares, I-beams, channels, square or round pipes, and

others. Although there are still questions regarding their use and reliability.

The interest in these issues and the beginning of scientific research was primarily due to the observations and accumulated experience of a student of the Department of Construction and Transport of the Faculty of Engineering and Technology of Akaki Tsereteli State University, which during our joint participation in conferences and joint educational work contributed to the desire to more deeply study the advantages and disadvantages of using thin-walled steel materials.

It should be noted that this problem is relevant at the present time and is of interest to researchers.

The conducted studies revealed that when using thin-walled steel structures:

1. There is no need to prepare bases (foundations) of large sizes;
2. Due to the light weight of the profiles, the structure can be assembled relatively easily and quickly;
3. There is no need to use large-sized trucks;
4. The absence of so-called "wet work" allows you to work throughout the year;
5. There is a possibility of effective repair and reconstruction.
6. The weight of the structure has been reduced.
7. Materials are used ecotomically.

The studied empirical material is a bar metal structure used for building floors (Fig. 1), the span of which is 7020 mm. The height of one side of the ceiling is 1841 mm, and the second - 2500 mm (Fig. 2). The overlap slope is $2500-1841=659$ mm.

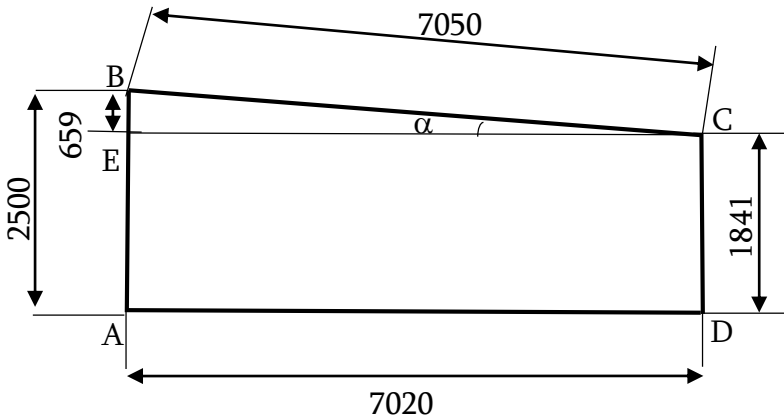


Fig. 1.

When covering buildings and structures, as well as in enclosing structures, a large proportion falls on roof trusses and rods made up of two squares, which are interconnected with gussets, are widely used. This traditional solution allows you to design different types of trusses and, taking into account all the loads, select the cross-sectional area, effective joints, etc.

When selecting a section, they try to ensure that the number of squares of different profiles does not exceed 4-6 for the entire farm. Although often the cross-sectional area of the square and the safety factor are significantly increased.

Both in our country and abroad, the accumulated experience regarding production, design and operation shows that the use of pipes instead of double angles in trusses not only reduces metal losses, but also helps to reduce the complexity of manufacturing the structure, increase its reliability and strength.

Thin-walled profiles in the form of square and rectangular pipes are more constructive and manufacturable than round pipes, since their use greatly simplifies the nodal connections of the rods and manufacturing technology.

Another advantage of thin-walled rectangular profiles is that their cross sections can be easily unified.

Today, in the context of the development of such technologies, it is very important, along with the analytical method, to use numerical methods to solve the problems we have set. The use of a modern computer software package, in particular the MathCAD software package, allows you to quickly perform the great work that is necessary to solve the structure under study by calculating by analytical methods. These programs are open to researchers and practitioners. They are widely introduced into the educational process in the training of engineers, which, in our opinion, is a solid foundation for the system we have selected.

The purpose of the dissertation work was determined by those specific tasks that emerged in the process of research and determined further scientific work. In order to significantly reduce construction costs and deadlines, despite the widespread use of reinforced concrete in construction, the consumption of metal is increasing, especially in those constructions where the use of reinforced concrete is irrational and unjustified.

At the modern stage, the technical-economic justification of the selection of the type of building constructions is the most important stage during the design of buildings. The presented thesis is dedicated to the research of the mentioned issues.

In the work, it is studied in a complex way:

1. Advantages and disadvantages of thin-walled light steel constructions;
2. Types of metal welded constructions (farms) for roofing of buildings, their outline and lattice schemes;
3. To ensure the strength, stiffness and stability of rod spatial constructions, selection of rod sections-calculation based on the calculation model;
4. Solving the system of equations numerically using standard programs with built-in functions in personal computers, namely the MathCAD system;
5. Steels and welding materials used in construction;
6. Types of various connections used for making light constructions;
7. Selection of welding method and technique;
8. Selection of welding modes and processing of the optimal variant;
9. Optimum technology of manufacture and installation of Nivniva farm.
10. Determination of residual stresses and deformations in the elements of thin-walled constructions with the help of tensometry method.

Scientific news. The paper discusses the manufacturing of construction structures by welding from thin-walled light steel profiles and the possibility of their use during the performance of various types of construction and reconstruction works; The advantages of thin-walled steel light constructions are shown at the expense of reducing

the loads caused by their own weight in buildings and their significant economic effect in reducing materials, constructions, installation time, and also when performing installation works without heavy equipment.

Theoretical and practical significance of the work. The research presented in the paper and its results will be useful and useful for the development of such an important field in the country as construction and for researchers interested in the topic of light thin-walled steel materials, for its more complete study.

The results of the research presented in the paper can be used for the production of real constructions, an example of which is the roofing trusses made with the technology processed according to the results obtained by us, in the city of Arrangement of the roof of the shopping center under construction on #186 Tsereteli Avenue in Kutaisi.

Research methodology. The methodological and theoretical basis of the work is the scientific works of researchers studying the reliability of building structures made of metal materials, technical scientific literature, where the theoretical and practical issues of light thin-walled steel materials are discussed, the latest methodological approaches are used in the research process: their essence is thoroughly discussed in the doctoral thesis based on the experimental part.

Material and technical base of the research: during the period of work on the dissertation, it was possible to experimentally confirm the theoretically obtained results in the laboratories of the Department of Construction and Transport of the Engineering-Technical Faculty of Akaki Tsereteli State University and In Kutaisi, at the construction site of Tsereteli #186 shopping center under construction.

We present the following provisions for protection: the possibility of making constructions by welding; Calculation of the rod metal construction of the building roof; Selection of cross sections of Nivniva truss elements made of thin-walled metal profiles; Numerical solution of basic equations in MathCAD system; Selection of the welding method and method, taking into account the optimal cooling rate and heat transfer from the welded joint; optimal welding modes, which allows us to obtain a defect-free welded joint equivalent to the base metal; the sequence of execution of seams, which ensures the minimum value of residual deformations and stresses; Methodology of experimental research of analysis of stresses and deformations using tensometry method.

Proofreading and publication of the paper. I gave a report on the issues discussed in the thesis at university and international scientific conferences. The results of the investigations were systematically reported to the Department of the Engineering-Technical Faculty. The finished paper was discussed and reviewed at the joint meetings of the Construction and Transport Department of the Engineering-Technical Faculty of Akaki Tsereteli State University.

The main results of the research were presented in the form of reports at IV international conferences "Energy: regional problems and development prospects", Akaki Tsereteli State University, Kutaisi; IX international conference "Modern problems in architecture and construction", Shota Rustaveli Batumi State University.

Publications on the main results of the thesis have been published in five scientific papers.

Volume and structure of the work:

The work consists of an introduction, four chapters and a conclusion. A list of used literature and addresses of materials found on the Internet will be attached to the work.

In the introduction, the purpose and tasks of the selection of the dissertation topic are justified, the relevance, theoretical and practical value are investigated, the problem is defined, the methods used in the research process are specified, and the main provisions are established.

SHORT SUMMARY OF THE WORK

In the first chapter - "Review of building structures made of metal materials used in construction and their comparison with building structures made of modern light steel thin-walled materials" (consists of six sub-chapters) a brief historical overview of building structures made of metal materials is given. Types and types of load-bearing metal constructions available to date and review of scientific literature related to the research topic. Based on the critical analysis of the existing scientific works, research tasks are formulated. The main advantages of thin-walled light constructions over traditional brick, reinforced concrete, wood, and also steel (from the so-called hot-rolled "black" metals) constructions are noted:

1. Compactness of constructions "in agreement" with strength and stability, reduction of loads due to own weight;
2. Increased stability of seismic and other dynamic impacts. Buildings made of thin-walled light structures can withstand a nine-

point earthquake on the Richter scale, which can be explained by the elasticity of the steel frame of the building;

3. Reduction of transport costs due to the small mass of constructions. delivery of a complete set of constructions and their elements to the construction site by any means of transport;

4. Reduction of labor costs and energy consumption during installation;

5. Reduction of construction terms due to reduction of time of construction, delivery and installation;

6. minimal use of construction vehicles, especially heavy-duty crane-transport vehicles;

7. Almost complete absence of "wet" technological works, which allows works to be carried out at any time of the year, in any weather;

8. No need for a deep foundation (1.5-2.0 m). For the frame of light thin-walled steel constructions, it is enough to arrange a small foundation;

Along with the advantages, their disadvantages are discussed for light thin-walled steel constructions:

1. The service life of light thin-walled steel constructions in an aggressive environment does not exceed 25 years;

2. low stability of roofs, which is related to their deformability and small mass;

3. Low fire resistance of constructions;

4. Greater probability of damage to steel light thin-walled structures during their transportation, loading and unloading and installation.

The second chapter - "Calculation methods of spatial rod systems" (consists of three sub-chapters) discusses the calculation methods of spatial rod systems, the main equations of the method of calculating the rod metal construction of the building roof, its calculation, the numerical solution of the main equations in the MathCAD system.

From the methodological point of view, it was important to present the difference between statically stable and statically uncertain systems and to develop calculation methods. for statically uncertain systems. These are: force method, displacement method, mixed method, processing of numerical methods, finite element method. Disruption of individual elements in a structurally indeterminate system does not lead to a catastrophic failure of the structure. However, each element is associated with additional costs, and if it is possible to ensure the strength and rigidity of the structure with a statically clear and kinematically invariant rod system, we should make a choice on it. Such constructions are light and more technological in terms of installation work. In statically clear load-bearing structures, no additional stresses are generated due to the settlement of supports. In trusses, the rods are joined at the nodes either by riveting, or by welding, i.e. rigidly. As the calculations show, in the case of forces acting on metal trusses at the nodes, the forces induced in the truss rods during rigid connection are slightly different from the forces induced in the rods during the soft connection at the nodes. Therefore, in the calculation, we consider a truss, all elements of which are connected at the nodes in a rigid manner (with ideal joints).

The system of equations can be presented in vector matrix form

$$AX = B$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} a_{12} \dots a_{1n} \\ a_{21} a_{22} \dots a_{2n} \\ \dots \dots \dots \\ a_{n1} a_{n2} \dots a_{nn} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} y_{1p} \\ y_{2p} \\ \dots \\ y_{np} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \\ X_9 \\ X_{10} \\ X_{11} \\ X_{12} \\ X_{13} \\ X_{14} \\ X_{15} \\ X_{16} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ -P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ -P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ 0 \\ 0 \\ P \sin \alpha \\ -P \cos \alpha \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\beta & -\cos\alpha & -\sin\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\beta & \sin\alpha & \cos\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\cos\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & 0 & \sin\alpha & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin\gamma & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\gamma & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\cos\alpha & -\sin\gamma & 0 & \sin\gamma & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\gamma & 0 & \cos\gamma & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\beta & 0 & \cos\gamma & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin\beta & 0 & \sin\gamma & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \cos\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

The system of linear algebraic equations is efficiently solved numerically by the Gaussian method. After finding the numerical solution of the system of algebraic equations, we determine the rod in which the absolute maximum normal force is induced and calculate the value of the maximum voltage

$$\sigma_{\max} = \left| \bar{X}_{i\max} \right| P / A; \quad (A - \text{cross-sectional area}). \quad (5)$$

Accordingly, from the strength condition we have:

$$\left| \frac{\bar{X}_{i\max}}{A} \right| P \leq \frac{\sigma_{dn}}{n} \quad (6)$$

Therefore, we can determine the magnitude of the force P if the cross-sectional area of the rod is given or vice versa.

Solving the system of equations is convenient numerically. Even standard programs for solving systems of linear equations, built-in functions are compatible with all systems for personal computers. We chose the Mathcad system.

For the numerical calculation, it is necessary to enter the geometry parameters of the farm. The A and B matrices must also be included. The maximum difference between the numerical calculation and the analytical solution is less than 3%.

According to the numerical calculation results:

$$\left| \bar{X}_{i \max} \right| = \left| \bar{X}_3 \right| = 2,038$$

In our calculation, $\left| X_{i \max} \right|$ it was equal to 1.98.

The program compiled in the Mathcad system significantly reduces the amount of calculation and allows to perform numerical experiments in an automated mode.

The third chapter - "Development of optimal technologies of welded constructions made of thin-walled profiles" (consists of nine sub-chapters) contains the development of optimal technologies of welded constructions made of thin-walled profiles, namely: construction steels and their classification, chemical composition and mechanical properties of steels used in construction, welding wire and Selection of electrode, welding method, method, modes and processing of the optimal option, selection of welding equipment, manufacturing and installation technology of Nivniva farm.

In the manufacture of metal structures, welding, bolting and riveting connections are used to connect its individual elements together. The selection of the type of connection depends on the shape of the elements to be connected, the working conditions of the connection, the arrangement of the construction elements, and others.

Of the mentioned types of connections, the most common is the welding connection. If it is used, it takes much less time to make metal structures than when bolted and riveted connections are made. When using the welding connection, it is possible to make a structure of any complexity. The use of welding ensures the high strength of the connection, the automation of the process, the high quality of the welded connection, the performance of the work not only in factory conditions, but also for the installation work on the construction site. This makes it possible to use it for the production of all types of metal constructions. More than 80% of manufactured metal structures are joined by welding. The main method of welding for the production of metal structures is electric arc welding.

The chemical and mechanical properties of steels (metals) have a significant impact on the process of designing, manufacturing and operating construction structures.

The performance of metal in building constructions is characterized by its strength, plasticity, ductility, weldability and other mechanical properties, which significantly depend on the chemical composition of these steels.

One of the determining factors for the use of steel in building constructions is their considerable plasticity along with high strength.

The mechanical properties of structural steels significantly depend on the content of harmful impurities (sulfur, phosphorus, oxygen, nitrogen) in them, which significantly increase brittleness, and

therefore their content is strictly controlled. It is also important to control the content of non-alloying elements (nickel, chromium, molybdenum) in them, which increase the strength, plasticity and weldability, although the ductility also increases.

Depending on the method of oxidation, quiet and semi-quiet steels are used in construction.

Based on the norms, based on the great responsibility of building constructions, G. is used for their manufacture. Steels of the group, with guaranteed characteristics of chemical composition and mechanical composition and mechanical properties.

According to mechanical properties, structural steels are divided into: ordinary (C 235 - C285), high (C345 - C 390) and high strength (C440 - C 590) steels.

In construction, the following structural steels are most often used - C 235 (B CT3KN2), c245 (BCT3nc6), C255 (BCT 3cn5) and high strength steels - C 345 (09ГZ), C 345 (14 ГZ), C 345 (09 ГZC), C 390 (10T2C1), C 390 (10 XCHD).

Metal fatigue has a particularly dangerous effect on building constructions, which is manifested in metal breakage when exposed to repeated, sign-changing + loads. In such a case, the failure of the structure is usually instantaneous due to brittle failure.

In the production of metal structures, the correct selection of welding materials is of great importance in order to obtain a defect-free welded joint equal to the base metal. The selection of welding materials is made taking into account the already selected welding technique and method. Semi-automatic welding in shielding gases and manual welding with a melting electrode were selected by us for the production of trusses and their installation.

The practice of operation of welded structures shows us that in most cases welding stresses do not reduce the tensile strength of structures, but even such a plastic metal as low-carbon steel under certain conditions (low temperature, stress concentration, presence of defects) can be in a brittle state (not subject to a plastic state) and which can lead to reducing its carrying capacity.

Taking into account the mentioned, the technology of assembly and welding of building constructions needs to be processed taking into account the minimum value of welding voltages.

If the value of welding voltages reaches the limit of metal flow, they will cause its plastic deformation and, as a result, a change in the size and shape of the welded construction, or deformation (cracking).

The magnitude and nature of welding stresses and deformations are related to many factors, including the welding method and method: basic and welding materials; welding modes; performance equipment; Fastening of details to be welded; Set performance order and more.

Taking into account these factors and making the right decisions significantly determines the workability and reliability of building structures made of thin-walled profiles, as well as the visual side.

Based on the above, the simplicity of the process and the welding equipment, good formation and reliability of the welding seams, resistance to the formation of defects in the welding joint, etc.

In construction, various ways and methods of basic electric arc welding are used to manufacture metal structures.

In terms of seam formation, its quality and reduction of the plastic deformation zone, automatic welding in flux coating gives the best results. Manual electric arc welding and semi-automatic welding in shielding gases can be considered more convenient and rational compared to electric arc welding in a flux shield. Semi-automatic

welding in shielding gas provides better results in the truss fabrication process. Considering its economy, speed and quality, however, manual electric arc welding should be preferred during installation work. The advantages of manual electric arc welding can be considered the simplicity of the device, the possibility of welding in all spatial locations and the use of power sources that work on both alternating and direct current.

From the calculations carried out at the initial stage and the selected values of the diameter of the electrode and the current force in order to prevent the penetrating "set-in", we showed that the formation of the seam is satisfactory, but for the 1.2 mm electrode wire, it was necessary to increase the current force to 150 A. However, along with the quality of the seam, it was necessary to increase the productivity.

We checked the welding modes obtained from the report in laboratory conditions. Works were performed using semi-automatic machines. As well as during semi-automatic welding in shielding gases, manual e. During arc welding with an electrode diameter of 3 mm, the quality of the seam is satisfactory and there was no burning and flow of the seam metal from the welding zone, despite the fact that the quality and productivity of the seam is better in the shielding gas. It can be performed in any spatial location, although it should be taken into account that the quality of the welding connection depends on the qualification of the welder, and this factor is especially relevant in the case of thin-walled structures.

The selection and proper operation of welding equipment is one of the important components in the process of assembling a structure and to a large extent determines the issue of obtaining a defect-free welded joint.

For the work performed in the welding laboratory, a semi-automatic welding machine was used and for manual welding - a multi-station power source BDM-1202. At the construction site, a POWERTEC-5000 semi-automatic welding machine was used in the process of manufacturing and assembling the truss.

Depending on the location, the defects formed in the welded joint are both internal (inside the seam) and external (on the surface of the seam).

In the process of making welded constructions, a change in the shape of individual elements or maybe the entire construction, which differs from the dimensions determined by the project, is observed. These deviations, which are caused by the deformation of the product or the "squatting" of the seam, are considered defects.

St. In Kutaisi, light thin-walled trusses were manufactured using the copying method to cover the existing shopping center on Tsereteli Street. Which is as follows: the first truss, which is made by marking the given dimensions and then welding, is placed on the rack and it is used as a template. At the manufacture of each subsequent truss, the details are arranged in accordance with the details of the template truss and are mounted on the grips. After all the trusses are assembled, they are transferred to the welding site according to the recommendations, which take into account the receipt of flawless welding joints and the minimum value of residual stresses and deformations. In addition, during the welding process, the metal of the clamps must be completely re-melted, although they are made with the same brand of welding materials with which the seams are welded, but due to the small volume of molten metal, there is a possibility of defects in them.

Assembling the truss with clamps begins by attaching the fittings to the marked places of the upper and lower girders, after that, the cut-

to-size uprights and beams are cut in half with a power saw according to the dimensions of the fittings and joined, taking into account the centering of the fittings at the nodes. It is also significant that there is a place for deformation when cutting the uprights and rails, due to which there is an uneven gap when they are connected to the fittings, which can cause defects in the welding connection, so it is necessary to equalize the dimensions of the gap with the help of mechanical clamps before mounting them on the clamps.

The welding of the truss nodes begins from its middle to the supports, which is in a more "lean" position than the middle of the truss, in this case the stresses in the truss nodes will be minimal. In the case of seams of different cross-section sizes, the seam of the large cross-section is welded first, and then the seam of the small cross-section. The seams located close to each other Cannot be welded one after the other. It is necessary to cool the area of the base metal on which the second adjacent seam is to be performed to prevent overheating of the metal and to reduce welding plastic deformations. The seams should be performed in the direction of the end of the welded elements.

The visual optical method is mainly used to check the welded seams of manufactured constructions. The essence of using this control method is to measure the geometric dimensions of the seams and visually inspect them. In many cases, the external inspection of the seams is quite informative, relatively cheap and an operative method of control. Both with the naked eye and using a magnifying glass, we can check for cracks, pores, burning, melting of metal, non-welding of the base seam and others. Some of the listed defects are not allowed in the welding seam and it is necessary to cut them out and re-weld them. Inspection can also reveal defects in the shape of the seam, changes in the height and width of the seam along its length, which can be the

reason for the change in arc power, as well as uneven surfaces due to unstable arc burning.

When welding in shielding gases, the seam should be smooth, shiny and without pits. The geometric dimensions of the seam are checked with the help of templates or measuring instruments.

In the fourth chapter "Analysis of voltages generated in thin-walled metal constructions using tensor resistors", the experimental method of reliability research of welded constructions, in particular the truss made of thin-walled metal, is discussed.

During the design and operation of welded constructions, stresses are often generated in their elements, which can be determined by both theoretical and experimental methods.

Structures and their elements usually work under variable loads, a complex stress state is formed in their material, which is accompanied by various fatigue events. At the same time, the constructions are characterized by complex geometric shapes, where there are many places of sharp transition from one surface to another, which are the concentrators of local stresses. As the exploitation practice shows, in most cases, their rupture occurs in these places. For example, in the area of switches with average stresses of 300-350 MPa, the greatest stresses can be 900-1000 MPa. It is clear that the reliability and durability of the construction is determined by these great stresses.

Theoretical stress calculations are in many cases very approximate and do not reflect the true picture of the stressed state. In some cases, the task of determining voltages still does not have a theoretical solution. In such cases, experimental methods of stress determination gain great importance, through which it is possible to determine the true picture of the stressed state, for example, under different loads. In this regard, experimental methods of stress

determination as additional (and sometimes even replacing) methods of theoretical research are gaining more and more importance.

Currently, there are several experimental methods for determining voltages, of which the tensometric method has found the greatest use. The tensometric method is based on the direct measurement of deformations on the surfaces of construction elements using mechanical, wire and other types of tensometers. The most universal is the method of electrotensimetry using wire tensiometers. Experimental and theoretical values are compared with relative errors

$$\psi = \frac{N_{LE} - N_{LE}^{eqsp.}}{N_{LE}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Comparison of the obtained results showed that the difference is 8%.



test stand

**The main results and conclusions are given
at the end of the thesis**

1) It has been established by calculation and experimentally verified that it is possible to manufacture a light metal structure for a roof using squares, which is reliable under operating conditions.

2) It is established that for the manufacture of thin-walled constructions, it is possible to use welding connections together with other types of connections.

3) For the selection and calculation of the cross section necessary to ensure the strength and rigidity of the elements of the rod spatial construction (Nivniva Ferma), a calculation model has been drawn up and used.

4) An application program is compiled and problems are solved, numerical calculations are performed in Mathcad.

5) The optimal welding modes are determined by calculation and experimentally confirmed, which allow to obtain the required parameters of the seam.

6) Taking into account the chemical composition and mechanical properties of the thin-walled profile, welding materials are selected, which provide the opportunity to obtain a weld joint equal to the base metal without defects at the specified welding modes.

7) Welding equipment is selected taking into account the dimensions of the construction, the dimensions of the welding seam and the spatial location.

8) The starting place of assembling and welding of the Nivniva truss and the sequence of execution of seams, which ensures the

minimum allowable value of residual stresses and deformation, is determined.

9) For manufacturing of thin-walled constructions by welding, the method and method of welding has been experimentally selected to avoid heat from the seam and to cool the seams at an optimal speed.

10) The optimal technology for manufacturing thin-walled structures (Nivniva Farm) by welding has been developed, which ensures the reliability of the structure, minimal residual deformation, and obtaining a defect-free welded joint equal to the base metal.

11) The residual stresses and deformations in the eyelash elements are experimentally calculated and the obtained results are checked in real constructions.

The main content of the thesis is published in the works:

1. Dograshvili M., Kipiani P., Mindadze S., Pkhakadze T. Ways of reducing residual stresses and deformations during the manufacture of light metal structures, Moambe of Akaki Tsereteli State University, No. 2 (20), Kutaisi, 2022. p. 175-181. ISSN: 2233-3711.
2. Dograshvili M., Kikvidze O. Development of the method of calculation of stem systems in the Mathcad system, Moambe of Akaki Tsereteli State University, No. 1 (19), Kutaisi, 2022. p. 207-214. ISSN:2233-3711.
3. Dograshvili M., Kipiani P., Mindadze S. The possibility of manufacturing building structures from thin-walled light steel

profiles, Moambe of Akaki Tsereteli State University, No. 2 (18), Kutaisi, 2021. p. 168-176. ISSN: 2233-3711.

4. Dograshvili M., Kipiani P., Geradze P. The development of practical methods for the calculation of thin-walled rod systems, Proceedings of the 9 th international conference contemporary problems of architecture and construction, Batumi, 2017. Pg. 162-164. ISBN: 978-9941-26-089-6.
5. Dograshvili M., Kipiani P., Geradze P., Mindadze S. Energy and resource-saving technologies in construction using light, thin-walled steel structures, IV International Scientific Conference: Energy, Regional Problems and Development Prospects, collection of reports, Kutaisi, 2016, p. 240-242. ISBN: 978-9941-453-03-8.

შენიშვნები/Comments: