

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო
უზრუნველყოფის ინსტიტუტი
ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ლითონის კონსტრუქციები

პროფესორ მამუკა სანიკიძის საერთო რედაქციით

თბილისი 2017

ლითონის კონსტრუქციები. საერთო კურსი: სახელმძღვანელო უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლების სტუდენტებისათვის / მამუკა სანიკიძე, ნოდარ წიგნაძე, გიორგი მეძმარიაშვილი, გიზო ფარცხალაძე, თემურ ქიქავა; მ. სანიკიძის საერთო რედაქციით. – თბილისი, LTD “Smarty”, 2017 – 338 გვ. ილ.

სახელმძღვანელოში განხილულია: ლითონის სამშენებლო კონსტრუქციების დაპროექტების საფუძვლები; ლითონის კონსტრუქციების შეერთებები; კოჭები; სვეტები; ფერმები; ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების კარკასები; მრავალსართულიანი შენობების კარკასები; დიდმალიანი ჩარჩოვანი კონსტრუქციები; თაღოვანი კონსტრუქციები; გისოსოვანი ნაოჭები; ბადისებრი კამარები; ორმაგი სიმრუდის გადახურვების კონსტრუქციები; ჯვარედინა-ღეროვანი კონსტრუქციები; კიდული გადახურვები. ძირითადი ყურადღება ეთმობა კონსტრუქციების ფორმაწარმოქმნის საკითხებს, კვანძებისა და დეტალების გადაწყვეტებს, კონსტრუქციების გაანგარიშების მიახლოებით ხერხებს და სხვ.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია "სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის" სპეციალობის ბაკალავრიატის სტუდენტების, მაგისტრანტების, დოქტორანტების, ინჟინრების, დამპროექტებლების, მეცნიერ-თანამშრომლებისა და ამ საქმით დაინტერესებული ყველა პირისათვის.

რეცენზენტები: პროფესორი თამაზ ხმელიძე

ასოცირებული პროფესორი ომარ ხაზარაძე

© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტი.

ISBN 978-9941-27-423-7

შესავალი

ცნება “ლითონის კონსტრუქციები” აერთიანებს მათ კონსტრუქციულ ფორმას, დამზადების ტექნოლოგიასა და მონტაჟის ხერხებს. ლითონის კონსტრუქციების განვითარების დონე განისაზღვრება მათი გამოყენების მოთხოვნილებისა და ტექნიკური ბაზის შესაძლებლობებით: მეტალურგიის, ლითონდამუშავების, სამშენებლო მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარებით. აქედან გამომდინარე, ლითონის კონსტრუქციების განვითარების ისტორია შეიძლება დაიყოს შემდეგ პერიოდებად:

I პერიოდი (მე-12 საუკუნიდან მე-17 საუკუნის დასაწყისამდე) ხასიათდება იმ დროისათვის უნიკალურ ნაგებობებში (სახახლები, ტაძრები და ა. შ.) ლითონის გამოყენებით საკოჭებისა და სამაგრების სახით ქვის წყობისთვის.

II პერიოდი (მე-17 საუკუნის დასაწყისიდან მე-18 საუკუნის დასაწყისამდე) დაკავშირებულია ლითონის ნივთიერებისა და ტაძრების სიერცითი გუმბათოვანი კონსტრუქციების გამოყენებასთან.

III პერიოდი (მე-18 საუკუნის დასაწყისიდან მე-19 საუკუნის შუა წლებამდე) დაკავშირებულია თუჯის ღეროებისა და დეტალების ჩამოსხმის პროცესის ათვისებასთან. შენდება თუჯის ხიდები და სამოქალაქო და სამრეწველო შენობების გადახურვის კონსტრუქციები. თუჯის ელემენტების შეერთებები კეთდება საკეტებით ან ჭანჭიკებით.

IV პერიოდი (მე-19 საუკუნის 30-ანი წლებიდან მე-20 საუკუნის 20-იან წლებამდე) დაკავშირებულია სწრაფ ტექნოლოგიურ პროგრესთან იმ დროის ტექნიკის ყველა სფეროში, კერძოდ, მეტალურგიასა და ლითონდამუშავებაში. 80-ანი წლების ბოლოს თუჯისგან რკინის გამოდნობა წარმოებდა მარტენისა და კონვერტორულ ღუმელებში. 1840 წელს ათვისებულ იქნა პროფილური ნაგლისისა და ნაგლინი ფურცლების მიღების პროცესი. 1830-იან წლებში შეიქმნა მოქლონური შეერთებები. ფოლადმა, თვისებებით უფრო სრულყოფილმა მასალამ, თითქმის მთლიანად ჩაანაცვლა თუჯი სამშენებლო კონსტრუქციებში. წამწების კონსტრუქციული ფორმა თანდათანობით იხვეწებოდა: ირიბების შემოტანით გისოსმა მიიღო დასრულებული ფორმა; საკვანძო შეერთებები ჭანჭიკების ნაცვლად კეთდება მოქლონებით ფასონურების გამოყენებით.

V პერიოდი (მე-20 საუკუნის 20-ანი წლებიდან მე-20 საუკუნის 70-იან წლებამდე) ხასიათდება დამოკლონებული კონსტრუქციების თითქმის მთლიანად შეცვლით უფრო მსუბუქი და ეკონომიური შენადული კონსტრუქციებით. ფართო განვითარება პოვეს: ფურცლოვანმა კონსტრუქციებმა ნათობის, გაზის, ქიმიური და მეტალურგიული მრეწველობისათვის; კაეშირგაბმულობის მაღლიემა ნაგებობებმა; ელექტროგადამცეში სადენების საყრდენებმა; დიდი ტეირთამწეობის ხიდურა ამწეებიანმა სამრეწველო შენობებმა; საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებმა. ლითონის კონსტრუქციების საწარმოო ბაზა გადაიქცა ინდუსტრიის მძლავრ დარგად.

VI პერიოდი (მე-20 საუკუნის 70-ანი წლების შემდეგ). სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის განვითარებამ გამოიწვია ლითონის კონსტრუქციების დიდი მრავალფეროვნება, რომელთა მზიდი კონსტრუქციები-სათვის ფოლადი წარმოადგენს შეუცვლელ სამშენებლო მასალას. ფართო გამოყენება პოვეს ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებულმა მსუბუქმა კონსტრუქციებმა. დამუშავდა და პრაქტიკაში დაინერგა მიწისზედა და კოსმოსური ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები. ლითონის კონსტრუქციების მეცნიერული საფუძვლების განვითარებამ, განსაკუთრებით თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის დანერგვამ, მნიშვნელოვნად სრულყო და გაამრავალფეროვნა კონსტრუქციული ფორმა, რასაც შედეგად მოყვა მასალებისა და შრომის ნაკლები დანახარჯები.

ლითონის კონსტრუქციები საინჟინრო ნაგებობებში გამოიყენება ღეროვანი ან მთლიანი სისტემების სახით. კონსტრუქციული ფორმისა და დანიშნულების მიხედვით ისინი შეიძლება დაიყოს შემდეგ სახეებად:

1. **სამრეწველო შენობები.** ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების კონსტრუქციები ლითონის ან შერეული კარკასით. ლითონის კარკასი ძირითადად გამოიყენება დიდი მაღის, სიმაღლისა და ტეირთამწეობის ხიდურა ამწეებით აღჭურვილ შენობებში. შერეულ კარკასიან შენობებში გადახურვის ლითონის კონსტრუქციები ეყრდნობა რკინაბეტონის სვეტებს.

2. **მრავალსართულიანი შენობების კარკასები.** მრავალსართულიანი შენობები ლითონის კარკასით ძირითადად გამოიყენება სამოქალაქო მშენებლობაში დიდი ქალაქების მჭიდრო განაშენიანობის პირობებში და ზოგიერთი სახეობის სამრეწველო შენობებისთვის.

3. **შენობების დიდმალიანი გადახურვები.** 100-150მ-დე მაღის მქონე საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობები (სპორტული ნაგებობები, თეატრები, საგამოფენო პავილიონები, ბაზრები და სხვ.), საწარმოო შენობები (ლაბორატორიები, თვითმფრინავმშენებელი საამქროები, ანგარები, გამთმშენებელი ელინგები და სხვ.). დიდმალიანი გადახურვის სისტემები და კონსტრუქციული ფორმები მრავალფეროვანია. შესაძლებელია, როგორც ბრტყელი, ასევე სივრცითი სისტემები: კოჭოვანი, ჩარჩოვანი, თაღოვანი, გუმბათოვანი, გარსისებრი, კიდული, კომბინირებული.

4. **კოშკები და ანძები.** გამოიყენებიან რადიოკავშირისა და სატელევიზიო კოშკებად, ელექტროგადამცემი სადენების საყრდენებად, ნავთობისა და გეოდეზიურ კოშკურებად, საკვამლე და სავენტილაციო მიღებად, სამრეწველო ეტაჟერებად, შახტისზედა ურნალებად და ბევრ სხვა ნაგებობებში.

5. **ხიდები და ესტაკადები.** ხიდებიც, დიდმალიანი გადახურვების მსგავსად, გამოირჩევიან მრავალფეროვანი სისტემებით: კოჭოვანი, თაღოვანი, კიდული, კომბინირებული.

6. **ფურცლოვანი კონსტრუქციები.** ფურცლოვანი კონსტრუქციები წარმოადგენენ სხვადასხვა ფორმის თხელკედლიან გარსს და უნდა იყოს არა მხოლოდ მტკიცე, არამედ მეკრივიც (სითხე- და აირშეუღწევადი). გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულების რეზერვუარებში, გაზგოლდერებში, ბუნკერებში, სილოსებში, დიდი დიამეტრის მიღგაყვანილობებში, საბრძმედე კომპლექსის, ქიმიური და ნავთობგადამამუშავებელი წარმოების სხვადასხვა ნაგებობებში. მათი ექსპლუატაცია ხშირად ხორციელდება მაღალი ან დაბალი ტემპერატურის პირობებში. კონსტრუქციის მუშაობის ამ პირობებს კარგად აკმაყოფილებს ფოლადი და ალუმინის შენადნობები.

7. **ამწებები და სხვა მოძრავი კონსტრუქციები.** აქ გაერთიანებულია ხიდურა, კოშკურა, ჯოჯგინა და გადამტვირთავი ამწეები, დიდი ექსკავატორებისა და სხვადასხვა დანიშნულების სამშენებლო მანქანების კონსტრუქციები, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საკეტები და ჭიშკარი და სხვ.

8. **უნიკალური დანიშნულების კონსტრუქციები.** მათ შეიძლება მივაკუთვნოთ მიწისზედა და კოსმოსური ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები – გასაშლელ-დასაკეცი ხიდები და გასაშლელი რეფლექტორული ანტენები, რადიოტელესკოპები კოსმოსური რადიოკავშირისათვის, ნავთობისა და

ბუნებრივი აირის დაზევერვისა და მოპოვების საზღვაო პლატფორმები, მზის კონცენტრატორები, ატომური ენერგიის მრეწველობის კონსტრუქციები და სხვ.

კონსტრუქციული ფორმისა და სტატიკური სქემების მრავალფეროვნება განპირობებულია კონსტრუქციის დანშნულებით, კსპლუატაციის თავისებურებებითა და მოქმედი დატვირთვების ხასიათით. კონსტრუქციების ეს მრავალფეროვნება გაერთიანებულია ორი ძირითადი ფაქტორით:

1. ლითონის კონსტრუქციებისათვის საწყის მასალას წარმოადგენს ნაგლინი ლითონი, რომელიც იწარმოება სტანდარტის (სორტამენტის) მიხედვით: ფურცელი, კუთხედი, შევლერი, ტესებრი, ორტესებრი, მილი და ა. შ. ამ მასალისაგან იქმნება მრავალფეროვანი კონსტრუქციული ფორმები.

2. ყველა კონსტრუქცია ერთიანდება დამზადების ერთი ტექნოლოგიური პროცესით, რასაც საფუძვლად უდევს ლითონის ცივი დამუშავება (ჭრა, ღუნვა, გახვრეტა და ა. შ.) და დეტალების შეერთება კონსტრუქციულ ელემენტებად და სისტემებად (ასაწყობ-შესადულებელი და ასაწყობ-დასამოქლონებელი ოპერაციები).

ლითონის კონსტრუქციების გამოყენების ფართო დიაპაზონი (რომლებზეც მოქმედებს დიდი დატვირთვები საკუთარი წონისა და დანადგარებისაგან, აქვთ დიდი მალეები და სიმაღლე) განპირობებულია რიგი დადებითი თვისებებით, უპირველეს ყოვლისა, საიმედოობით, მაღალი სიმტკიცითა და სიმსუბუქით.

ლითონის კონსტრუქციების საიმედოობა უზრუნველყოფილია მათი რელური მუშაობის (ძაბვებისა და დეფორმაციების განაწილება) ახლო თანხვედრით საანგარიშო მონაცემებთან. ლითონის კონსტრუქციების მასალა (ფოლადი, ალუმინის შენადნობები) ხასიათდება სტრუქტურის დიდი ერთგვაროვნებით (ერთნაირი მექანიკური თვისებებით ყველა მიმართულებით) და საკმარის უახლოედება თეორიულ-საანგარიშო წინაპირობებს მასალის დრეკადი და დრეკად-პლასტიკური მუშაობის შესახებ.

სიმსუბუქე. მზიდ კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალებიდან (ლითონის, რკინაბეტონის, ქვის, ხის) ლითონის კონსტრუქციები ყველაზე მსუბუქია, მიუხედავად ფოლადის მაღალი სიმკვრივისა ($\rho = 7850$ კგ/მ³) ბეტონთან ($\rho = 2400$ კგ/მ³) და მერქანთან ($\rho = 500$ კგ/მ³) შედარებით.

კონსტრუქციის სიმსუბუქის მაჩვენებელი C მ¹, განისაზღვრება მასალის სიმკვრივის შეფარდებით საანგარიშო წინაღობასთან $C=p/R_y$, რაც ნაკლებია C -ს მნიშვნელობა, მით მსუბუქია კონსტრუქცია. საანგარიშო წინაღობის მაღალი მნიშვნელობებიდან გამომდინარე, მცირედნახშირბადიანი C245 ფოლადისთვის $C=3.2 \cdot 10^{-4}$ მ¹, მაღალი სიმტკიცის C590 ფოლადისთვის $C=1.3 \cdot 10^{-4}$ მ¹, AD31-T1 ალუმინის შენადნობისთვის $C=2.16 \cdot 10^{-4}$ მ¹, D16-T დურადუმინისთვის $C=1.1 \cdot 10^{-4}$ მ¹, B20 კლასის ბეტონისთვის $C=21.4 \cdot 10^{-4}$ მ¹, ფიჭვის მერქნისთვის $C=3.6 \cdot 10^{-4}$ მ¹.

ალუმინის შენადნობისგან დამზადებულ კონსტრუქციებს, რომლის სიმტკიცეც ახლოსაა მცირედნახშირბადიანი ფოლადის სიმტკიცესთან, ხოლო სიმკვრივე ($\rho = 2700$ კგ/მ³) დაახლოებით სამჯერ ნაკლებია ფოლადის სიმკვრივეზე, გააჩნია სიმსუბუქის C მაჩვენებლის ყველაზე დაბალი მნიშვნელობა.

ინდუსტრიულობა. ლითონის კონსტრუქციები ძირითადად მზადდება ქარხნებში, რომლებიც აღჭურვილი არიან თანამედროვე დანადგარებით, რაც უზრუნველყოფს მათი დამზადების ინდუსტრიულობის მაღალ ხარისხს. მათი მონტაჟი მშენებლობის ადგილზე ასევე ხორციელდება ინდუსტრიული მეთოდებით – მაღალმწარმოებლური ტექნიკის გამოყენებით, რაც მინიმუმამდე ამცირებს ხელის მძიმე სამუშაოებს და აჩქარებს ნაგებობის ექსპლუატაციაში შეყვანას.

სითხე შეუღწევადობა და აირ შეუღწევადობა. ლითონს გააჩნია არა მარტო მაღალი სიმტკიცე, არამედ მაღალი სიმკვრივეც, რაც უზრუნველყოფს აირისა და სითხის შეუღწევადობას. ლითონისა და შენადნული შეერთებების სიმკვრივე წარმოადგენს აუცილებელ პირობას ფურცლოვანი კონსტრუქციების დასამზადებლად.

მექანიკური დაზიანებებისადმი ნაკლები მიდრეკილება გადაზიდვის, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის პროცესში.

რემონტის შესაძლებლობა. ლითონის კონსტრუქციები შედარებით ადვილად ექვემდებარება გაძლიერებას, ტექნიკურ გადაიარაღებას და რეკონსტრუქციას. კარგად ეთვისება სხვადასხვა კომუნიკაციის, ახალი ტექნიკური მოწყობილობის არსებულ კარკასთან მიმაგრებას შედულების საშუალებით.

ლითონის კონსტრუქციებს გააჩნიათ უარყოფითი თვისებებიც, რომელთა აღმოსაფხვრელად საჭიროა სპეციალური ზომების მიღება.

კოროზია – ლითონის დაშლა გარემოსთან ქიმიური და ელექტრო-ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად. ლითონის კონსტრუქციებს ახასიათებთ შედარებით დაბალი კოროზიამდევლობა, განსაკუთრებით აგრესიულ გარემოში. ფოლადი, რომელიც არ არის დაცული ტენისგან, მაგნე აირებით დაბინძურებული ატმოსფეროსგან, მარილებისგან, მტვერისგან, იჟანგება და უვარგისი ხდება ექსპლუატაციისთვის. არახელსაყრელ პირობებში, თანდათანობით, ორი-სამი წლის შემდეგ ხდება სრული რღვევა.

მნიშვნელოვნად მაღალია ალუმინის შენადნობების კოროზიამდევლობა. კოროზიას კარგად ეწინააღმდეგება თუჯი.

ლითონის კონსტრუქციების კოროზიამდევლობის გასაზრდელად ფოლადს უმატებენ სპეციალურ მალეგირებელ ელემენტებს, კონსტრუქციას პერიოდულად ფარავენ დამცავი აფსკით (ლაქი, საღებავი და სხვ.), აგრეთვე, გასუფთავებისა და დაცვის გასაიოლებლად, აპროექტებენ რაციონალური კონსტრუქციული ფორმის ელემენტებს უბეებისა და ხვრელების გარეშე, სადაც შეიძლება თავი მოიყაროს ტენმა და მტვერმა.

დაბალი ცეცხლმდევლობა. ლითონის კონსტრუქციებს გააჩნიათ შედარებით დაბალი ცეცხლმდევლობის ზღვარი, რომელიც განისაზღვრება იმ დროის მონაკვეთით, რომლის განმავლობაშიც კონსტრუქცია ინარჩუნებს მზიდუნარიანობას.

$t = 200^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს იწყება ფოლადის დრეკადობის მოდულის შემცირება, ხოლო როდესაც $t = 600^{\circ}\text{C}$ (ალუმინის შენადნობებისთვის $t = 300^{\circ}\text{C}$) ფოლადი მთლიანად გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში, დეფორმირდება და კარგავს მზიდუნარიანობას. ამიტომ სახანძრო თვალსაზრისით საშიში შენობების ლითონის კონსტრუქციები (საწოლები საწვავი და ადვილად აალებადი მასალებით, საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობები და ა.შ.) დაცული უნდა იყოს ცეცხლგამძლე შემოსვით (ბეტონი, კერამიკა, სპეციალური საფარი და სხვ.).

ლითონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები:

ექსპლუატაციის პირობები. საპროექტო დავალებაში მოცემული ექსპლუატაციის პირობების დაკმაყოფილება წარმოადგენს ძირითად

მოთხოვნას დამპროექტებლისათვის. ეს მოთხოვნა ძირითადად განსაზღვრავს სისტემას, ნაგებობის კონსტრუქციულ ფორმასა და მასალის სახეობას.

ტექნიკური მოთხოვნები. მდგომარეობს სიმტკიცის, მდგრადობისა და სიხისტის უზრუნველყოფაში. ეს მოთხოვნები განისაზღვრება ლითონის კონსტრუქციების დაპროექტების სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით. აქვე განიხილება საიმედოობის მოთხოვნა, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ კონსტრუქციამ უნდა იმუშაოს შეუფერხებლად ექსპლუატაციის მოცემული საანგარიშო პერიოდის განმავლობაში, და კონსტრუქციის ხანგამძლეობაც, რაც განისაზღვრება მისი ფიზიკური და მორალური ცვეთის ვადით. ფიზიკური ცვეთა ძირითადად დაკავშირებულია კოროზიის პროცესთან, ხოლო მორალური ცვეთა, ექსპლუატაციის პირობების ცვლილებასთან.

ლითონის ეკონომია. სამშენებლო კონსტრუქციებში ლითონის გამოყენება მიზანშეწონილია მაშინ, როდესაც მისი შეცვლა სხვა მასალით არარაციონალურია. ლითონის ეკონომიის მოთხოვნა განპირობებულია მრეწველობის ყველა დარგში მისი დიდი მოთხოვნილებით და შედარებით მაღალი ღირებულებით (ლითონის ღირებულება შეადგენს მთლიანად კონსტრუქციის ღირებულების ნახევარზე მეტს).

კონსტრუქციის ტრანსპორტაბელურობა. ლითონის კონსტრუქციების ქარხანაში დამზადებიდან გამომდინარე, პროექტში გათვალისწინებული უნდა იყოს მშენებლობის ადგილზე მისი ტრანსპორტირება მთლიანად ან ნაწილებად (გასაგზავნი ელემენტები) შესაბამისი სატრანსპორტო საშუალებების გამოყენებით. გასაგზავნი ელემენტი უნდა ჩაეტიოს საავეტომობილო ან სარკინიგზო გაბარტიში.

ტექნოლოგიურობა. კონსტრუქცია უნდა დაპროექტდეს დამზადების ტექნოლოგიისა და მონტაჟის მოთხოვნების შესაბამისად თანამედროვე მოწინავე ტექნოლოგიების გათვალისწინებით, რაც უზრუნველყოფს შრომატევადობის მაქსიმალურად შემცირებას.

სწრაფი მონტაჟი. კონსტრუქცია უნდა ექვემდებარებოდეს მცირე დროში აგებას თანამედროვე სამონტაჟო საშუალებების გამოყენებით. ნაგებობის სწრაფი შეყვანა ექსპლუატაციაში იძლევა დამატებითი მოგების საშუალებას.

სწრაფი მონტაჟის მთავარი პრინციპია მიწაზე კონსტრუქციის წინასწარი აწყობა მსხვილ ბლოკებად, შემდეგ მისი აწევა და დაყენება

საპროექტო მდგომარეობაში მინიმალური მოცულობის სამონტაჟო სამუშაოების ჩატარებით სიმაღლეზე.

ესთეტიურობა. კონსტრუქციას, დანიშნულებისგან დამოუკიდებლად, უნდა ქონდეს ჰარმონიული ფორა, სასიამოვნო გარეგნული იერი, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საზოგადოებრივი შენობებისა და ნაგებობებისთვის, უნდა ასახავდეს ეროვნულ თავისებურებებსა და ტრადიციებს.

შენობების და ნაგებობების დაპროექტება მოიცავს საძიებო, საანგარიშო და საკონსტრუქტორო სამუშაოებს, რომელიც მიმართულია შენობებისა და ნაგებობების ოპტიმალური მოცულობით-გეგმარებითი და საკონსტრუქტორო გადაწყვეტისაკენ.

დაპროექტება მოიცავს ორ სტადიას – დამკვეთის მიერ გაცემული საპროექტო დაცალბა და მუშა ნახაზები.

საპროექტო დავალებაში ღვინდება მშენებლობის ტექნიკური შესაძლებლობა და ეკონომიკური მიზანშეწონილობა. ფუნქციური მოთხოვნებისა და ექსპლუატაციის პირობების გათვალისწინებითა და სამშენებლო ნორმებისა და წესების დაცვით, მუშავდება კონსტრუქციის გაერთმთლიანება. დაპროექტების სტადიაში ხდება არქიტექტურულ-სამშენებლო გადაწყვეტების მოკლე აღწერა და დასაბუთება, განიხილება ლითონის კონსტრუქციების გამოყენების მიზანშეწონილობა, განისაზღვრება ნაგებობის ძირითადი კონსტრუქციული სქემა, შეირჩევა შესაბამისი კონსტრუქციები. მუშავდება ძირითადი ნახაზები: გეგმები და ჭრილები მზიდ და შემომზღუდავი კონსტრუქციების სქემატური გამოსახულებით.

ლითონის კონსტრუქციების სამუშაო პროექტი შედგება ორი ნაწილისაგან – სამუშაო ნახაზები "ლკ" (ლითონის კონსტრუქციები) და დეტალების სამუშაო ნახაზები "ლკდ" (ლითონის კონსტრუქციები, დეტალები). "ლკ" პროექტს ასრულებს საპროექტო ორგანიზაცია (განმარტებითი ბარათი, გაანგარიშება, გაერთმთლიანების სქემა, ძირითადი კვანძების ნახაზები, ლითონის სპეციფიკაცია). "ლკდ" პროექტს "ლკ"-ს საფუძველზე ასრულებს ქარხნის საკონსტრუქტორო ბიურო ქარხნის ტექნიკური თავისებურებების გათვალისწინებით.

თავი 1. ღაპროექტების საშუაპვლები

1.1. მშენებლობაში ზამოყენებული ლითონების ღახასიათება

მშენებლობაში ძირითადად გამოიყენება ჩეულებრივი ხარისხის ფოლადები და ალუმინის შენადნობები.

კონსტრუქციაში ლითონის მუშაობა ხასიათდება სიმტკიცით, დრეკადობით, პლასტიკურობით, შედუღებადობით და სხვა მექანიკური თვისებებით, რომლებიც თავის მხრივ დამოკიდებულია ლითონის ქიმიურ შემადგენლობაზე, გამოდნობის მეთოდსა და განჟანგვის ხარისხზე.

სამშენებლო კონსტრუქციებში ფოლადის გამოყენების ერთ-ერთი მთავარი განმსაზღვრელი ნიშანია მასში ნახშირბადის პროცენტული შემცველობა. ამ ნიშნის მიხედვით ისინი იყოფა ნახშირბადმცირე (0.09–0.22%) ფოლადებად, რომლებიც გამოიყენება სამშენებლო კონსტრუქციებში, საშუალონახშირბადიან (0.25–0.5%) ფოლადებად – მანქანათმშენებლობაში და მაღალნახშირბადიან (0.6–1.2%) ფოლადებად – საიარალო მრეწველობაში. ნახშირბადმცირე ფოლადი ხასიათდება მაღალი პლასტიკურობით, ჭედადობით, კარგი შედუღებადობით და არ გააჩნია მყიფე რღევეის ტენდენცია. ყველა ეს თვისება სავსებით პასუხობს სამშენებლო ფოლადების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.

კონსტრუქციული ფოლადების მექანიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად მათი დაშადებისას მკაცრად კონტროლდება მავნე ელემენტების შემცველობა, როგორიცაა ფოსფორი, გოგირდი, ჟანგბადი და აზოტი, რომლებიც ზრდიან სიმყიფეს. ასევე კონტროლდება მაღლეგრებელი ელემენტები – ნიკელი, ქრომი, ტიტანი, მოლიბდენი და სხვ., რომლებიც ზრდიან სიმტკიცეს, პლასტიკურობას და, მასალის შედუღებადობისა და წრთობადობის თვისებებს.

განჟანგვის ხარისხის მიხედვით ფოლადი იყოფა მდულარე, ნახევრად მშვიდ და მშვიდ სახეებად. მდულარე ეწოდება ფოლადს, რომლის მიღების პროცესში ხდება გაზების დიდი რაოდენობით გამოყოფა (დუღილი), რაც ხელს უწყობს გაზების მცირე ბუშტების წარმოქმნას და მათ გარშემო სხედასხვა არაღითონური ჩანართებისა და მინარევეების კონცეტრაციას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ფოლადის ხარისხს. მშვიდი ფოლადი, რომელიც

ცივდება გაზების ინტენსიური გამოყოფის გარეშე, მიიღება მასში სხვადასხვა განმჟანგავების შეყვანით – სილიციუმის, მანგანუმის, ალუმინისა და სხვ. დანამატების სახით, რის შედეგადაც სხმულის ზედაპირზე წარმოიქმნება (15%) წიდა, ხოლო სხმულის დანარჩენი ნაწილი მაღალი ხარისხის ერთგვაროვანი ფოლადია.

მშენებლობაში უპირატესად გამოიყენება ნახევრადმშვიდი ფოლადი, რომელსაც მშვიდ ფოლადთან შედარებით აქვს უფრო მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები და დაბალი ღირებულება. თუმცა, ამაღლებული და მაღალი სიმტკიცის ფოლადები ძირითადად მზადდება მშვიდი ფოლადისაგან, რომელიც ხასიათდება უფრო მაღალი ერთგვაროვნებით და მეიფე რღვევისადმი წინააღმდეგობით.

ნორმატივებიდან გამომდინარე, ფოლადის სამრეწველო მიწოდება ხორციელდება სამი – ა, ბ და გ ჯგუფის მიხედვით. სამშენებლო კონსტრუქციების დიდი პასუხისმგებლობიდან გამომდინარე, მათი დამზადებისთვის გამოიყენება გ ჯგუფის ფოლადი, მექანიკური თვისებებისა და ქიმიური შემადგენლობის საგარანტიო მახასიათებლებით.

ნებისმიერი მარკისათვის, ფოლადის კატეგორია ხასიათდება ქიმიური შემადგენლობით, დროებითი წინალობით, ფარდობითი წაგრძელებითა და სხვა მახასიათებლებით, რომლებსაც ითვალისწინებენ კონსტრუქციული ფორმების დაპროექტებისას.

მექანიკური თვისებების მიხედვით, კონსტრუქციული ფოლადები იყოფიან: ჩვეულებრივი (C235—C285), ამაღლებული (C345—C390) და მაღალი სიმტკიცის (C440—C590) ფოლადებად. ჩვეულებრივი სიმტკიცის ყველაზე გაერცელებულ კონსტრუქციულ ფოლადებს მიეკუთვნება: ნახშირბადიანი ფოლადები – C235 (BCr3mn2), C245 (BCr3mn6), C255 (BCr3mn5) და C255 (BCr3Mn5). ამაღლებული სიმტკიცის ფოლადებს მიეკუთვნება: მცირედ ლეგირებული მანგანუმიანი – C345 (09Г2), C345 (14Г2); სილიციუმმანგანუმიანი – C345 (09Г2C), C390 (10Г2C1); ქრომსილიციუმნიკელიანი სპილენძის შემცველობით – C345 (15XCHД), C390 (10XCHД); მცირედ ლეგირებული ვანადიუმისა და სპილენძის შემცველობით – C390 (15XГ2CФД) და მცირედ ლეგირებული ფოლადები ნიტრიდული განმტკიცებით – C390 (14Г2АФ), C390 (15Г2АФДн). მაღალი სიმტკიცის ფოლადებს მიეკუთვნება: თერმულად განმტკიცებული

ლეგირებული ფოლადები – C440 (15Г2СФ), C440 (16Г2АФ), C590 (12Г2СМФ) და სხვ.

ნახშირბადიანი ფოლადების აღნიშვნაში (მაგალითად ВСТ3псн): ასო В განსაზღვრავს მიწოდების ჯგუფს; СТ3 – ფოლადის მარკას, пс – ნახევრად მშეიდს, განგანგის ხარისხით; რიცხვი 6 – მიწოდების კატეგორიას. მცირედ ლეგირებული ფოლადებისათვის გამოიყენება მალეგირებელი ელემენტების ასოებით აღნიშვნა (Г – მანგანუმი; С – სილიციუმი; Х – ქრომი; Н – ნიკელი; Д – სპილენძი; А – აზოტი; Ф – ვანადიუმი; П – ფოსფორი; Т – ტიტანი; М – მოლიბდენი; Р – ბორი) და ციფრები, რომლებიც მიუთითებენ ელემენტების შემცველობას პროცენტებში. ასე მაგალითად, მცირედ ლეგირებული 15Г2СФ მარკის ფოლადი გაიშიფრება შემდეგი სახით: ნახშირბადის შემცველობა 0.15%, მანგანუმის – 2%, სილიციუმისა და ვანადიუმის – 0.3–1% (ასო რიცხვის გარეშე აღნიშნავს ელემენტის შემცველობას 0.3–1%).

კონსტრუქციებში ასევე გამოიყენება დეფორმირებადი ალუმინის შენადნობების პროფილები, რომლებიც მზადდება წნევით დამუშავებით – დაწნეხით, გამოჭიმვით, გლინვით და შტამპვით. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით განასხვავებენ ალუმინის შენადნობების ხუთ ჯგუფს, რომლებიც გამოიყენება მშენებლობაში: ალუმინ-მანგანუმიანი (АМпМ); ალუმინ-მაგნიუმიანი (АМг2М, АМг21/2Н); სილიციუმ-მაგნიუმიანი (АД31Т, АД31Т1, АД31Т5); თუთია-მაგნიუმიანი (1915, 1915Т, 1925, 1925Т); სპილენძ-მაგნიუმიანი (Д1, Д6, Д16, Д18 და ა.შ.).

ალუმინის შენადნობების დამუშავების ხასიათი დაფიქსირებულია შენადნობის მარკის აღნიშვნაში დამატებით ასოებით და ციფრებით: М – რბილი (მომწვარი); Н – მოპირსაღებელი (ცივნაჭედი); 1/2Н – ნახევრად მოპირსაღებელი; Т – ნაწრთობი და ბუნებრივად დაძველებული; Т1 – ნაწრთობი და ხელოვნურად დაძველებული; ТН – წრთობის შემდეგ მოპირსაღებელი (ცივნაჭედი) და ხელოვნურად დაძველებული. სილიციუმ-მაგნიუმიანი შენადნობების მარკების (АД და АД31) აღნიშვნებში: А – ალუმინის შენადნობი; Д – დეფორმირებადი; 31 – შენადნობის ნომერი, ხოლო თუთია-მაგნიუმიან შენადნობებში (1915, 1925): ციფრი 1 აღნიშნავს ალუმინის შენადნობს, ციფრი 9 მიუთითებს თუთიის შემცველობას, ბოლო ორი ციფრი – შენადნობის ნომერს.

დასაპროექტებელ კონსტრუქციებში გამოსაყენებელი ფოლადებისა და ალუმინის შენადნობების მარკებს ირჩევენ სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნების მიხედვით.

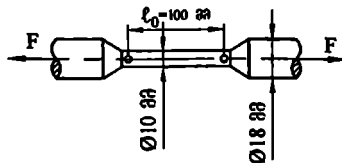
12. ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მექანიკური თვისებები

ფოლადის მექანიკური თვისებების ძირითადი მახასიათებლებია: სიმტკიცე, დრეკადობა, პლასტიკურობა და მიდრეკილება მყიფე რღვევისადმი. მასალის სიმტკიცე განისაზღვრება გარე ძალოვანი ზემოქმედებისადმი წინააღობით. დრეკადობა არის მასალის თვისება, აღიდგინოს პირვანდელი მდგომარეობა გარე ძალოვანი ზემოქმედებების მოხსნის შემდეგ. პლასტიკურობა ახასიათებს მასალის თვისებას, გარე დატვირთვების მოხსნის შემდეგ მიიღოს ნარჩენი დეფორმაციები (არ დაუბრუნდეს პირვანდელ მდგომარეობას). სიმყიფე ხასიათდება მასალის რღვევით მცირე დეფორმაციის დროს, დრეკადი მუშაობის საზღვრებში.

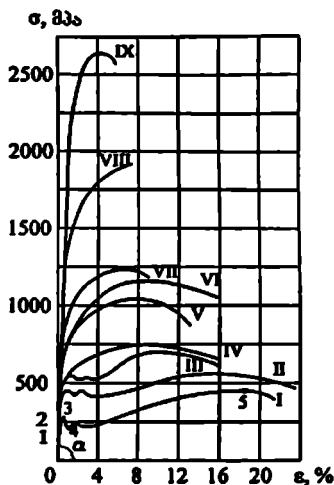
ფოლადის სიმტკიცე, დრეკადობა და პლასტიკურობა განისაზღვრება ფოლადის სპეციალური ნიმუშების გაჭიმვაზე გამოცდის მიხედვით (ფიგ. 1). გამოცდის შემდეგ იგება გაჭიმვის დიაგრამა (ფიგ. 2), რომელიც გამოსახულია ძაბვებსა და ფარდობით წაგრძელებებში:

$$\sigma = F/A; \quad \varepsilon = \Delta l \cdot 100\% / l_0, \quad (1)$$

სადაც σ არის ნორმალური ძაბვა, მპა; F – დატვირთვა, კნ; A – ნიმუშის კვეთის საწყისი ფართობი l სიგრძის საზღვრებში, სმ²; ε – ფარდობითი წაგრძელება, %; l_0 – ნიმუშის საწყისი საკონტროლო სიგრძე, სმ; Δl – ელემენტის წაგრძელება საკონტროლო უბანზე, სმ.



ფიგ. 1. ფოლადის გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშის სქემა



ფიგ. 2. სხვადასხვა მარკის ფოლადის გაჭიმვის შედეგებითი დიაგრამები

I – ჩვეულებრივი ხარისხის; *II* – ამაღლებული სიმტკიცის;

III-V – მაღალი სიმტკიცის; *VI-IX* – მაღალი სიმტკიცის ბაგირების

ნახშირბადმცირე ფოლადის ნიმუშის (მრუდი *I*) გაჭიმვის შემთხვევაში ფოლადს გააჩნია დრეკადი მუშაობის მცირე უბანი, რომელიც ხასიათდება *0-I* მონაკვეთით.

σ ღერძზე *I*-ლი წერტილის პროექცია წარმოადგენს პროპორციულობის ზღვარს, ანუ უდიდეს ძაბვას, რომლის შემდგომი ზრდისას ირღვევა პროპორციული დამოკიდებულება ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის, რაც გამოისახება ჰუკის კანონით

$$E = \sigma / \varepsilon = \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

სადაც *E* არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, ანუ დრეკადობის მოდული, მპა.

σ ღერძზე მე-2 წერტილის პროექცია, რომელიც მდებარეობს *I*-ლ წერტილზე ზევით, ახასიათებს ფოლადის დრეკადობის ზღვარს *R_e*, ანუ უდიდეს ძაბვას, რომლის შემდგომი ზრდისას, გარე დატვირთვის მოხსნის შემდეგ, ნიმუშში რჩება ნარჩენი დეფორმაციები. მე-3 წერტილის მიღწევისას იწყება მასალის დენადობა, ანუ დეფორმაციების ზრდა, პრაქტიკულად მუდმივი ნორმალური ძაბვის პირობებში. მასალის ამ მდგომარეობის

დამახასიათებელი ძაბვის მნიშვნელობას ეწოდება დენადობის ზღვარი R_m , ხოლო პირობითად პორიზონტალურ უბანს მე-3 და მე-4 წერტილებს შორის ეწოდებენ დენადობის უბანს. ნახშირბადმცირე ფოლადებისათვის დენადობის ზღვრად მიიღება ძაბვა, რომელსაც შეესაბამება ფარდობითი წაგრძელება სიდიდით 0.2%.

დატვირთვის შემდგომი ზრდისას ნიმუშში ძაბვები იზრდება, თუმცა დეფორმაციები ძაბვებზე გაცილებით სწრაფად იზრდება. მასალის მუშაობის ამ არეს ეწოდება პლასტიკურობის სტადია, რომლის გამოყენებაც კონსტრუქციების გაანგარიშებისას წარმოადგენს მნიშვნელოვან ინტერესს ფოლადის ეკონომიის თვალსაზრისით.

მასალის სიმტკიცე ხასიათდება უდიდესი ძაბვით, რომლის მიღწევისას იწყება ნიმუშის რღვევა (წერტილი Δ). ამ ძაბვას ეწოდება დროებითი წინაღობა R_m , ან სიმტკიცის ზღვარი. გაჭიმვის დიაგრამიდან ჩანს, რომ რბილ სამშენებლო ფოლადებს შეესაბამება ზღვრული ფარდობითი წაგრძელება $\varepsilon = 20-25\%$.

ფოლადის სიმტკიცის გაზრდისას (მრუდები II და III) შეინიშნება დენადობის უბნის შესაძინევი შემცირება, ხოლო ზოგიერთი ფოლადებისათვის მისი სრული არქონა. ეს თვისება ამცირებს ფოლადის საიმედოობას, ზრდის რა მის მიდრეკილებას მყიფე რღვევისადმი.

ძირითადი მაჩვენებლები, რომლებიც ახასიათებს ფოლადის პლასტიკურ თვისებებს, არის ფარდობითი წაგრძელება δ_5 (%), და პირობითი დარტყმითი სიბლანტე $a_k = \frac{W}{S \cdot l}$. დარტყმითი სიბლანტე ახასიათებს ფოლადის მიდრეკილებას მყიფე რღვევისადმი და წარმოადგენს კუთრ სამუშაოს, რომელიც იხარჯება სტანდარტული ნიმუშის დასარღვევად. ნახშირბადმცირე ფოლადებისათვის, ნორმალური ტემპერატურის დროს $a_k = 70-100$ ჯ/სმ². ტემპერატურის აწევისას დარტყმითი სიბლანტე იზრდება, ხოლო კლებისას – მცირდება.

ნაგლინის მექანიკური თვისებების, სახისა და სისქის, აგრეთვე მასალის მუშაობის გამოყენების ხარისხის მიხედვით კონსტრუქციული ფოლადები იყოფა 21 ჯგუფად. სასწაელო მიზნებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას 1 და 2 ცხრილებში მოყვანილი საანგარიშო მახასიათებლები.

ცხრილი 1

ფოლადის ნაბჯინის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები
ბაზირებაზე, კუმშვასა და ღუნვასზე

ფოლადი	ნორმატიული წინაღობა, მპა		საანგარიშო წინაღობა, მპა	
	დენადობის ზღვარის მიხედვით R_m	დროებითი წინაღობის მიხედვით R_m	დენადობის ზღვარის მიხედვით R_f	დროებითი წინაღობის მიხედვით R_u
C235	235	360	230	350
C45	245	370	240	360
C255	245	370	240	360
C285	275	390	270	380
C345	325	470	320	460
C375	355	490	345	480
C390	390	540	380	525
C440	440	590	430	575
C590	590	685	575	670

ცხრილი 2

ფოლადის ნაბჯინის საანგარიშო წინაღობები თემაზე

დროებითი წინაღობა R_m , მპა	საანგარიშო წინაღობა, მპა		
	თემა		საგორაგების დიამეტრული კუმშვა (თავისუფალი შეხებისას, შეზღუდული მოძრაობის კონსტრუქციებში) R_{ef}
	ტრასული ზედაპირის (მორგების შემთხვევაში) R_p	ადგილობრივი ცილინდრულ სახსრებში (მჭიდროდ შეხებისას) R_p	
360	351	176	9
370	361	180	9
380	371	185	9
390	380	190	10
400	390	195	10
430	420	210	10
440	429	215	11
450	439	220	11
460	449	224	11
470	459	229	11
480	468	234	12
490	478	239	12
510	498	249	12
540	527	263	13
570	556	278	14
590	576	288	14

დრეკადობის სტადიაში მუშაობისას, გაჭიმვის, კუმშვის და ღუნვის საანგარიშო წინაღობა განისაზღვრება მასალის დენადობის ზღვარის მიხედვით შემდეგი ფორმულით

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m}, \quad (3)$$

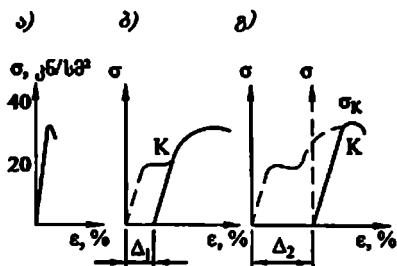
ხოლო დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში მუშაობისას კი ფორმულით

$$R_u = \frac{R_{un}}{\gamma_m}, \quad (4)$$

სადაც R_{ym} არის ფოლადის დენადობის ზღვარი, მპა; R_{um} – ფოლადის სიმტკიცის ზღვარი, მპა; γ_m – მასალის საიმედოობის კოეფიციენტი, $\gamma_m=1.025$ (C590 და C590K ფოლადების გარდა); C590 და C590K ფოლადებისთვის $\gamma_m=1.05$.

სამშენებლო ფოლადების მნიშვნელოვანი მექანიკური თვისებებია: ცივჭედვა, დაძველება, ძაბვებისა და დაღლილობის არათანაბარი განაწილება.

ცივჭედვა არის ფოლადის დრეკადი მუშაობის არის გაზრდა $\sigma_{adm} > R_{ym}$ დენადობის ზღვარის ზევით წინასწარი გაჭიმვით (ფიგ. 3). ფოლადის ხელმეორედ დატვირთვისას ის იწყებს დრეკად მუშაობას დასაშვებ ძაბვამდე σ_{adm} , თუმცა ამ დროს მნიშვნელოვნად იზრდება მისი სიძვიფე.

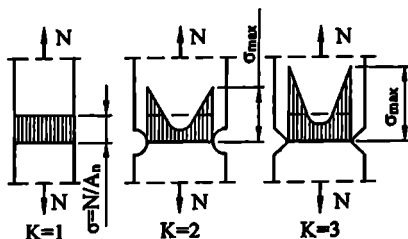


ფიგ. 3. ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამა ცივჭედვისას

a – მაღალი სიმტკიცის ფოლადის დიაგრამა; *b* – რბილი ფოლადის დიაგრამა, გაჭიმული პლასტიკურ მდგომარეობამდე (წყვეტილი ხაზი) და დატვირთვის მოხსნისა და ხელმეორედ დატვირთვის შემდეგ (მთლიანი ხაზი); *c* – ფოლადის დიაგრამა განტვირთვისას, რომელიც შეესაბამება პლასტიკური მუშაობის ზღვრულ არეს

დეფორმაციული და თერმული დაბეჭდების შედეგად ფოლადი იცვლის თავის თვისებებს დროთა განმავლობაში, უმჯობესდება დრეკადი თვისებები და მცირდება პლასტიკურობა.

ლითონის კონსტრუქციების რღვევის ყველაზე დიდი საშიშროება მაშინაა, როდესაც სამუშაო კვებებში წარმოიქმნება სხედასხვა სახის შესუსტება – ნახვრეტის, ამონაჩარხის ან ჩანაჭრის სახით (ფიგ. 4).



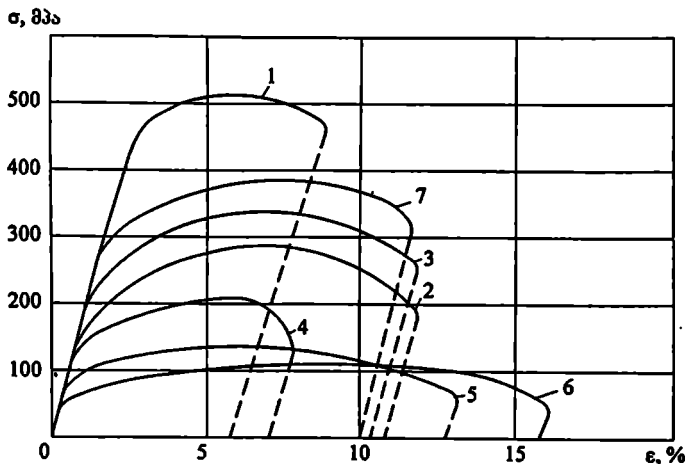
ფიგ. 4. ამონაჩარხების გაფლენა ძაბვებზე შესუსტებულ კვებში
(K – ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტი)

შესუსტების სახეზე დამოკიდებულების მიხედვით მათ ნაპირებთან წარმოიქმნება გაზრდილი ძაბვები (ძაბვების კონცენტრაცია), რომლებიც ორ-სამჯერ აღემატება ნორმალურ σ ძაბვებს შეუსუსტებულ კვებებში. გაანგარიშებისას ეს მოვლენა აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს მცირედ ლეგირებული ფოლადების გამოყენებისას. რბილ ნახშირბადიან ფოლადებში ეს მოვლენა არც ისე საშიშია, რადგან საანგარიშო სტადიაში ძაბვები თანაბრდება.

ყველაზე საშიშ ზემოქმედებას ლითონზე ახდენს დაღლილობა, რაც გამოიხატება ლითონის რღვევით მრავალჯერ განმეორებადი, განსაკუთრებით ნიშანცვლადი, დატვირთვის ზემოქმედებისას. ლითონის დაღლილობის შემთხვევაში კონსტრუქციის რღვევა, როგორც წესი, მყისიერი, მყიფეა.

დაღლილობისაგან რღვევისადმი კონსტრუქციის წინააღმდეგობას ამტანუნარიანობა ეწოდება. კონსტრუქციების დაპროექტებისას, რომლებიც მუშაობს დინამიკური და ნიშანცვლადი დატვირთვის პირობებში, მიღებული ნორმები ითვალისწინებს საანგარიშო წინააღმდეგობის დაწვეას, შენადული კონსტრუქციების და ძაბვების კონცენტრაციის გამომწვევი შეერთებების მოცულობის შემცირებას.

ალუმინის შენადნობების მექანიკური თვისებები დამოკიდებულია ქიმიურ შემადგენლობასა და მათი დამუშავების პირობებზე. აბსოლუტური სიდიდეების მიხედვით (ფიგ. 5) ისინი ახლოს არის ჩვეულებრივი და გაზრდილი სიმტკიცის ფოლადებთან, თუმცა არის უფრო დეფორმირებადი და ხასიათდება ნაკლებად გამოსატული პლასტიკური თვისებებით.



ფიგ. 5. სხვადასხვა მარკის ალუმინის გაჭიმვის დიაგრამები
1 – B95T1; 2 – B95M; 3 – 1915T; 4 – AD31T1; 5 – AD31T; 6 – AMu; 7 – D16T

ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობა (ცხრილი 3) გამოითვლება ფორმულით

$$R_d = R_n \cdot 1/\gamma_m \gamma_c, \quad (5)$$

სადაც R_n არის ნორმალური წინაღობა, რომელიც აიღება მინიმალური მნიშვნელობის ტოლი დენადობის ზღვარის მიხედვით R_m , რომლის მნიშვნელობადაც პირობითად მიიღება ძაბვა, რომელსაც შეესაბამება ფარდობითი ნარჩენი დეფორმაცია 0.2%; $\gamma_m > 1$ – უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით; $\gamma_c \leq 1$ – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ამცირებს საანგარიშო წინაღობას მძიმე პირობებში კონსტრუქციის ექსპლუატაციის შემთხვევაში.

მშენებლობაში გამოყენებულად რეკომენდებული ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობები, მპა

დაძაბული მდგომარეობა	თერმულად განუმტკიცებული ალუმინი		თერმულად განმტკიცებული ალუმინი			
	AMr2M	AMr21/2H	AD31T	AD31T1	1915, 1925, 1925T	1915T
გაჭიმვა, კუმშვა, ღუნვა R_y	70	125	55	125	180	200
ჭრა R_t	40	75	35	75	105	120
ტორსული ზედაპირის თელვა (მორგების დროს) R_p	105	185	80	185	270	300
ადგილობრივი თელვა მჭიდროდ შეხებისას R_b	50	90	40	90	135	150

13. ფოლადისა და ალუმინის პროფილების სორტამენტი

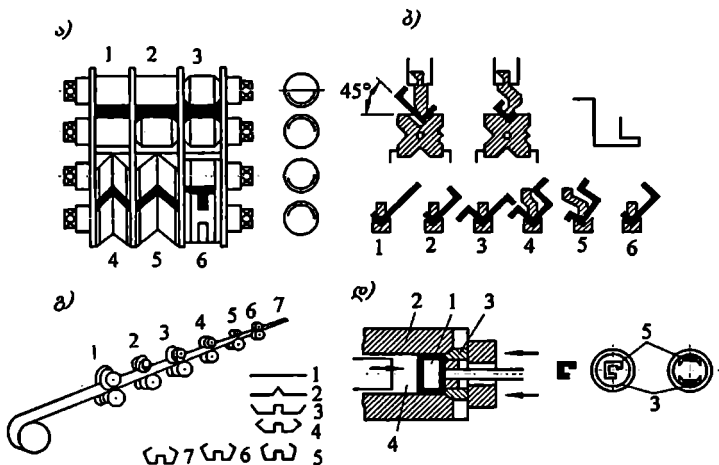
სორტამენტი ეწოდება ნაგლინი (ფიგ. 6, ა), ციწნალუნი (ფიგ. 6, ბ, გ) ან დაწნეხილი (ფიგ. 6, დ) ნახევარფაბრიკატებისა და ნაკეთობების კატალოგს, სადაც მითითებულია მათი ძირითადი გეომეტრიული ზომები, განიკეთის ფორმები, დაშვების მნიშვნელობები და სიგრძის ერთეულის მასები.

ფოლადისა და ალუმინის ნახევარფაბრიკატები სამშენებლო კონსტრუქციებისთვის იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად – ფურცლოვანი და პროფილური.

ფურცლოვან ფოლადსა და ალუმინს, გლუვი და დაპროფილებული ფურცლის სახით, აქვთ პროფილის სხედასხვა სისქე და სიმაღლე. ისინი ფართოდ გამოიყენება ბურულის, კედლების, კიდული ჭერების, გისოსოვანი კონსტრუქციების საკვანძო ფასონურების, შენადული ორტესებსრი კონსტრუქციების მოსაწყობად, აგრეთვე გარსების, მემბრანების და სხვა სპეციალური ფურცლოვანი კონსტრუქციების სახით. გარდა ამისა, ფურცლოვანი ფოლადი და ალუმინის შენადნობები გამოიყენება თხელკედლიანი ნაღუნი პროფილების საწარმოებლად.

გლიწვის მეთოდით მზადდება სქელკედლიანი ფოლადი სისქით 4–160 მმ, ფურცლის სიგანით 1250–2600 მმ და სიგრძით 8 მ-დე; ციწად ნაგლინი ფურცლოვანი ფოლადი სისქით 1 მმ-დე, ფურცლის სიგანით 2000 მმ და

სიგრძით 5 მ-დე დაპროფილებული ფენილებისთვის; უნივერსალური ფართოზოლიანი ფოლადი სისქით 6–60 მმ, სიგანით 200–1050 მმ და სიგრძით 18 მ-დე გამოიყენება შენადული კოჭებისა და სვეტებისათვის.



ფიგ. 6. პროფილების წარმოება

ა - ფოლადის ცხლად ნაგლინი საგლინავ დგანებზე: 1 - ზოლი; 2 - შევლერი; 3 - ორტესებრი; 4 - თანაბართაროებიანი კუთხოვანა; 5 - არათანაბართაროებიანი კუთხოვანა; 6 - ტესებრი; ბ - ფოლადის ცივად ნალუნი საღუნავ წნეხებზე: 1-6 - ოპერაციების თანმიმდევრობა; გ - ფოლადის ცივად ნალუნი ლილვაკებში გაწეულით: 1-7 - ოპერაციების თანმიმდევრობა; დ - ალუმინის ცხელი დაწნხით: 1 - ალუმინის ნამზადი; 2 - ძაღოვანი ცილინდრი; 3 - მატრიცა; 4 - პუნსონი; 5 - ნახერეტი მატრიცაში

დასამზადებლად ყველაზე უნივერსალური, კონსტრუქციულად ხელსაყრელი და ეკონომიურია - კუთხედი, ორტესებრი, შევლერი და მილისებრი პროფილი (ფიგ. 7).

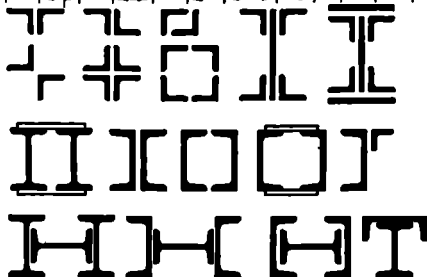
ფოლადის, თანაბართაროიანი და არათანაბართაროიანი კუთხედის პროფილები ფართოდ გამოიყენება იმ ელემენტებში, რომლებიც მუშაობენ ღერძულა ძალებზე (გაჭიმვა ან კუმშვა), აგრეთვე სხვადასხვა ელემენტების კომბინირებული კვეთებისა და შეერთებების მისაღებად. ორტესებრი კოჭები, თაროების დახრილი შიგა წახნაგებით, ძირითადად გამოიყენება ღუნვად

ელემენტებში – კოჭებსა და სვეტებში, აგრეთვე არაცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე შედგენილ კვებებში.

ა)



ბ)



ფიგ. 7. ნაგლინი ფოლადის პროფილების ძირითადი ტიპები

ა – სორტამენტი (სდერული ზომები მმ-ში); 1-2 – თანაბართაროიანი და არათანაბართაროიანი კუთხედი; 3 – ორტესებრი; 4 – ფართოთაროიანი ორტესებრი; 5 – შევლერი; 6 – ვიწრო, პარალელურთაროიანი შევლერი; 7 – ფართოთაროიანი ტესებრი; 8 – მილი; ბ – შედგენილი კვების მაგალითები

ფართოდაა გავრცელებული ფართოთაროებიანი ორტესებრი (პარალელურწახნაგებიანი თაროები) სიმაღლით 1000 მმ-დე და სიგანით 400 მმ-დე. ისინი რაციონალურად გამოიყენება სვეტებში, ამწისქვეშა კოჭებში, გადახურვის კონსტრუქციებსა და ხიდის მალის კოჭებში.

ჩვეულებრივ ორტესებრთან შედარებით, დიდი ეკონომიკური ეფექტურობით (14-19%) გამოირჩევა 120-300 მმ სიმაღლის, ვიწრო, პარალელურ თაროებიანი თხელკედლიანი ორტესებრი. მათ რაციონალურად იყენებენ მსუბუქ გადახურვებში.

შევლერები უფრო ხშირად გამოიყენება შედგენილ კვებებში (რომლებიც უპირატესად მუშაობენ ღერძულ ძალებზე და ღუნვაზე, იშვიათად არაცენტრალურ კუმშვაზე), სვეტებსა და ძელებში. გადახურვის გრძივებში და კედლის ჩალანგარის ელემენტებში გამოიყენება ნაგლინი თხელკედლიანი შევლერები ვიწრო, პარალელურწახნაგებიანი თაროებით. მასალის ხარჯის

მიხედვით ისინი 16-20%-ით მსუბუქია ჩვეულებრივად ნაგლინ შევლერებთან შედარებით.

ნიენიურ და ნიენიექეშა წამწებებში ზედა და ქვედა სარტყელებად ხშირად გამოიყენება ფართოთაროებიანი ტესები, რომელიც მიიღება ფართოთაროებიანი ორტესების გრძივი მიმართულებით ორ ნაწილად დაშლით.

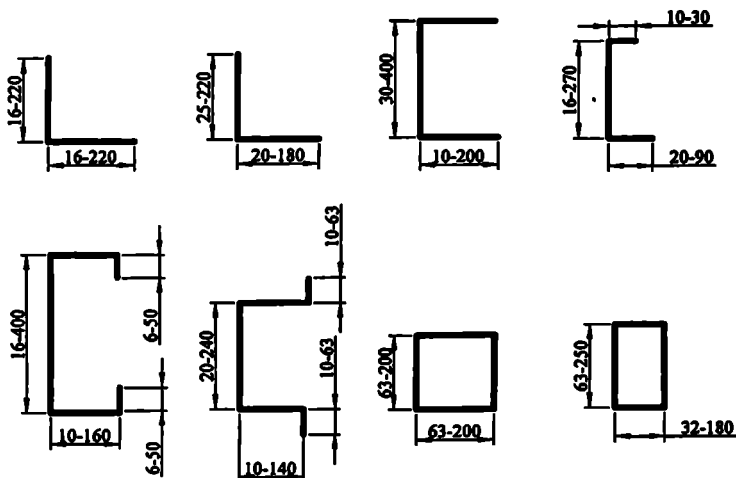
სიმაღლის ფართო დიაპაზონი (100–500 მმ) და თაროების სიგანე (100–400 მმ) საშუალებას იძლევა ეს პროფილები გამოყენებულ იქნას წამწებებში, რომლებიც განიცდიან მსუბუქ და მძიმე დატვირთვებს.

გისოსოვან კონსტრუქციებში – წამწებებში, თაღებში, ჩარჩოებში, გუმბათებში და სხვ. – ფართოდ გამოიყენება ელექტროშენადული მრგვალი და მართკუთხა მილები, აგრეთვე ცხლად ნაგლინი ნახშირბადოვანი და მცირედ ლეგირებული ფოლადის მრგვალი მილები. ნებისმიერი ცენტრალური ღერძის მიმართ თანაბარი ინერციის გამო, მილების გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია ცენტრალურად შეკუმშულ და ცენტრალურად გაჭიმულ ელემენტებში, აგრეთვე შეკუმშულ-გადუნულ ელემენტებში, ღუნვის სიბრტყის ცვლადი მიმართულებისას.

მილისებრი კეეთის გამოყენების მიზანშეწონილობა იზრდება კონსტრუქციაზე აგრესიული გარემოს ზექმედების პირობებში, აგრეთვე გაზრდილი არქიტექტურული მოთხოვნებისას, კერძოდ, შეკიდული ჭერის გარეშე კონსტრუქციის ექსპლუატაციის შემთხვევაში. ანალოგიურ კონსტრუქციებში მილისებრი პროფილების გამოყენება კუთხედებთან შედარებით, იძლევა ლითონტევადობის შემცირებას 20-25%-ით.

ფოლადის კონსტრუქციებში ნაგლინ პროფილებთან ერთად წარმატებით გამოიყენება ცივნალუნი პროფილები (ფიგ. 8). მათი გამოშვება ხორციელდება ნაგლინი პროფილების მსგავსად – თანაბართაროებიანი და არათანაბართაროებიანი კუთხედების, თანაბართაროებიანი შევლერების, C-ს მაგვარი, ვარცლისებრი და ზეტისებრი, აგრეთვე ჩაკეტილი სწორკუთხა პროფილების სახით. დამზადების პირობების მიხედვით ნალუნი პროფილების სისქე არ აღემატება 8 მმ, რაც ღიდწილად განაპირობებს მათ გამოყენებას მსუბუქ კონსტრუქციებში, რომლებიც იღებენ მცირე საანგარიშო დატვირთვებს, მაგ. გრძივები, მსუბუქი წამწებები, შუქფარების დგარები და ტიხრები.

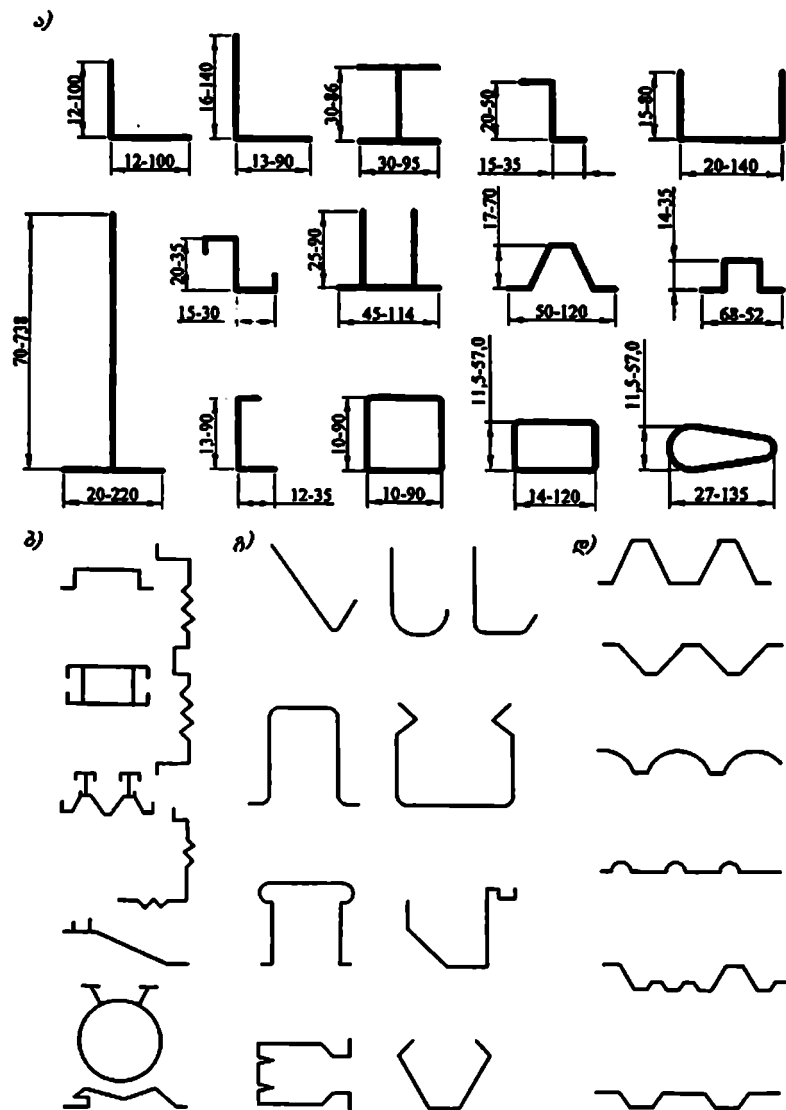
ნალუნი პროფილების ერთ-ერთი უპირატესობაა კვეთის ნებისმიერი ფორმის მიღების შესაძლებლობა გამოყენების პირობებიდან გამომდინარე.



ფიგ. 8. ფოლადის თხელკედლიანი ნალუნი პროფილები (ზღვრული ზომები მმ-ში)

მზიდ და შემომსაზღვრელ კონსტრუქციებში გამოყენებული ალუმინის დეფორმირებადი შენადნობების წარმოება ხორციელდება გლინული ფურცლებისა და ლენტების დაწნეხილი პროფილების, აგრეთვე სხედასხვა პროფილის გოფრირებული ფურცლების სახით (ფიგ. 9). მზიდ კონსტრუქციებში გამოყენებისათვის განკუთვნილი ალუმინის დაწნეხილი და ნალუნი პროფილების ფორმა ფოლადის ნაგლინი და ნალუნი პროფილების ანალოგიურია, მაგრამ შეზღუდულია ნაკლები ზომებით, რაც განისაზღვრება მატრიცის დიამეტრით (იხ. ფიგ. 6, დ.)

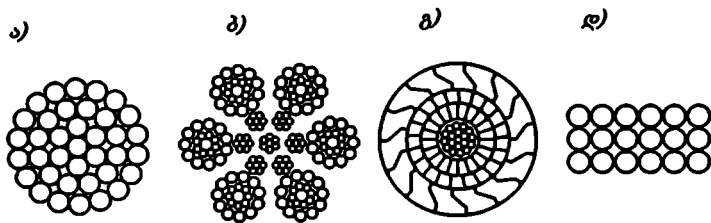
წინასწარ დაძაბულ და კიდულ კონსტრუქციებში გამოიყენება სხედასხვა ტიპის ფოლადის ბაგირები, რომლებიც მზადდება მაღალი სიმტკიცის მათეულისაგან დიამეტრით 0.22–4 მმ, გაგლეჯის (რღვევის) დროებითი წინაღობით 1200–2600 მპა (ფიგ 10).



ფიგ. 9. ალუმინის პროფილები

ა, ბ - დაწნეხილი პროფილების სორტამენტი (ზღვრული ზომები მმ-ში);
 გ - ცივნალუნი ღეროების კეუთები; დ - გოფირებული ფურცლების კეუთები

ბაგირებს ამზადებენ ერთმაგი შეგრეხით (ცალკეული მათეულების გადახლართვით), ორმაგი შეგრეხით – გეარლი (მათეულები, გადახლართული წნებად, ხოლო წნები – ბაგირად) და სამმაგი შეგრეხით – კაბელი (მიიღება რამდენიმე გეარლის გადახლართვით).



ნახ. 10. ფოლადის ბაგირებისა და კონების კვეთები

ა – სპირალური 37 მათეულისაგან ($1+6+12+18$); ბ – მრავალწნიანი გეარლი წნული გულანით; გ – სპირალური დახურული ტიპის, ორი ფენა სოლისებრი და ერთი ფენის ზეტისმაგვარი მათეულით; დ – პარალელურ მათეულებიანი კონა

კიდულ კონსტრუქციებში ფართოდაა გავრცელებული TK კონსტრუქციის 1×37 ($1+6+12+18$) სპირალური ტიპის ბაგირები, TJK-PO ტიპის 6×36 ($1+7+7/7+14+7+7$) ($1+6$) ორმაგი დაგრეხის ბაგირები (გეარლები), დახურული ტიპის ბაგირები და სხვ. ბაგირების ასოებით აღნიშვნა განსაზღვრავს: TK – მათეულების წერტილოვანი შეხება; TJK – მათეულების წერტილოვანი და ხაზოვანი შეხება. ციფრული აღნიშვნა განსაზღვრავს მათეულების განლაგების ფორმულას და მათ რაოდენობას ერთ გრეხილში.

მცირე მაღის კიდულ გადახურვებში გამოიყენება პერიოდული პროფილის ღეროვანი ცხლად გლინული ფოლადის არმატურა ღეროს ნომინალური დიამეტრით 16-40 მმ.

14. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხორციელდება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით – ძალოვან ზემოქმედებებზე, საყრდენების გადანაცვლებებზე, ტემპერატურასა და სხვა ზემოქმედებებზე.

ზღვრული ეწოდება კონსტრუქციის ისეთ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ის ევლარ აკმაყოფილებს საექსპლუატაციო მოთხოვნებს, ანუ კონსტრუქცია კარგავს გარეგან ზემოქმედებაზე წინააღმდეგობის გაწევის უნარს ან არ არის დაცული ნორმალური საექსპლუატაციო პირობები, ეინიდან დეფორმაციებმა მიაღწია დასაშვებზე მეტ სიდიდეს.

ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით კვეთის განსაზღვრისას იგი შეირჩევა მინიმალურად აუცილებელი, მაქსიმალურად შესაძლო ძალის ზემოქმედების პირობიდან გამომდინარე, ყველაზე არახელსაყრელ საექსპლუატაციო პირობებში.

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხორციელდება ზღვრული მდგომარეობის ორი ჯგუფის მიხედვით: მზიდუნარიანობის დაკარგვაზე და ნორმალური ექსპლოატაციის შეუძლებლობაზე.

ზღვრული მდგომარეობის პირველი ჯგუფის მიხედვით გაანგარიშება წარმოებს სიმტკიცეზე, მდგრადობაზე და ამტანუნარიანობაზე. მათემატიკურად ის ჩაიწერება უტოლობის სახით:

$$N_{cal}(EF_n\gamma) \leq \Phi(AR_{\gamma n}\gamma_c/\gamma_n\gamma_m), \quad (6)$$

სადაც N_{cal} არის საანგარიშო ძალვა კონსტრუქციაში, საანგარიშო დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი კომბინაციისას; Φ – კონსტრუქციის მზიდუნარიანობა, რომელიც წარმოადგენს კონსტრუქციის გეომეტრიული ზომებისა და მასალის წინააღობის ფუნქციას; F_n – ნორმატიული დატვირთვა, რომელიც შეირჩევა საშვებნებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით; γ – გადატვირთვის კოეფიციენტი, დატვირთვის ყოველი სახეობისთვის (საკუთარი მასისთვის $\gamma_g = 1.1+1.3$; დროებითი განაწილებული დატვირთვისთვის $\gamma_w = 1.2+1.4$; თოვლის დატვირთვისთვის $\gamma_s = 1.4+1.6$; ქარის დატვირთვისთვის $\gamma_v = 1.2+1.3$); A – კვეთის გეომეტრიული მახასიათებელი; $R_{\gamma n}$ – მასალის ნორმატიული წინააღობა; γ_c – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი; γ_n – საიმედოობის კოეფიციენტი დანიშნულების მიხედვით; γ_m – საიმედოობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით; კოეფიციენტები γ_c , γ_n , γ_m შეირჩევა საშვებნებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

ზღვრული მდგომარეობის პირველი ჯგუფის მიხედვით გაანგარიშება ხორციელდება ყველა მზიდი კონსტრუქციისთვის გამონაკლისის გარეშე.

ზღერული მდგომარეობის მეორე ჯგუფის მიხედვით გაანგარიშება ხორციელდება დასაშვები გადაადგილებების მიხედვით (ჩაღუნვები, ჯდომები, მობრუნების კუთხეები, რხევები და სხვა).

ზღერული მდგომარეობის მეორე ჯგუფი მათემატიკურად შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი უტოლობის სახით

$$f/l_f \leq [f/l], \quad (7)$$

სადაც f არის ჩაღუნვის ისარი ან კონსტრუქციის გადაადგილება ნორმატიული დატვირთვებისგან; $[f/l]$ – ფარდობითი ჩაღუნვის ან გადაადგილების ზღერული სიდიდე, რომელიც დადგენილია ლითონის კონსტრუქციების პროექტირების ნორმებით ან მითითებულია ტექნოლოგიურ დავალებაში; l_f – ღეროს საანგარიშო სიგრძე; l – ღეროს გეომეტრიული სიგრძე.

მეორე ჯგუფის ზღერული მდგომარეობის მიხედვით გაანგარიშდება მხოლოდ ის კონსტრუქციები, რომლებიც განიცდის დიდ დეფორმაციებს ან გადაადგილებები ზღუდავენ ნორმალური ექსპლუატაციას შესაძლებლობას.

დატვირთვები, რომლებიც შემოქმედებენ ლითონის კონსტრუქციებზე, მოქმედების ხანგრძლივობიდან გამომდინარე, იყოფა მუდმივ და დროებით დატვირთვებად. დროებითი დატვირთვები, თავის მხრივ, იყოფა ხანგრძლივ, ხანმოკლე და განსაკუთრებულ დატვირთვებად.

მუდმივ დატვირთვებს მიეკუთვნება: კონსტრუქციის საკუთარი მასა; გადახურვის, ჭერის, კედლების მასა; გრუნტის წნევა; წინასწარი დაძაბვის შემოქმედება და სხვ.

დროებით ხანგრძლივად მოქმედ დატვირთვებს მიეკუთვნება: დროებითი ტიხრების მასა, სტაციონალური დანადგარების მასა, დატვირთვა გადახურვებზე (საწყობების, ელვატორების და სხვა), აგრეთვე ხანგრძლივი ტემპერატურული ტექნოლოგიური შემოქმედებები.

ხანმოკლე დატვირთვებს მიეკუთვნება: ადამიანებისა და სარემონტო მასალების მასა; დატვირთვები, რომლებიც წარმოიქმნებიან დამზადების, გადაზიდვის და სამშენებლო კონსტრუქციის აგების დროს; დატვირთვები მოძრავი ამწე-სატრანსპორტო დანადგარებისაგან (ხიდური და კიდული ამწეებისგან); თოელის, ქარისა და ყინულის დატვირთვები.

განსაკუთრებულ დატვირთვებს მიეკუთვნება სეისმური და აფეთქებითი ზემოქმედებები; დატვირთვები, რომელიც გამოწვეულია ტექნოლოგიური პროცესების მკვეთრი დარღვევით და სხვ.

ექსპლუატაციის პროცესში ნაგებობები განიცდიან სხვადასხვა დატვირთვების ზემოქმედებას, ამიტომ სამშენებლო ნორმებისა და წესების თანახმად, გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ დატვირთვის თანწყობის ორ კატეგორიას: ძირითადი თანწყობა, რომელიც შედგება მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვებისაგან; განსაკუთრებული თანწყობა, რომელიც შედგება მუდმივი, ხანგრძლივი, შესაძლო ხანმოკლე და ერთ-ერთი განსაკუთრებული დატვირთვისაგან.

დატვირთვების ძირითად თანწყობაზე გაანგარიშებისას, ორი ან მეტი ხანმოკლე დატვირთვის შემთხვევაში, მათი ჯამი მრავლდება თანწყობის კოეფიციენტზე სიდიდით 0.9; განსაკუთრებულ თანწყობაზე გაანგარიშებისას – 0.8-ზე. განსაკუთრებული დატვირთვა ამ შემთხვევაში მიიღება შემცირების გარეშე.

1.5. ელემენტების ბაზანგარიშება ცენტრალურ ბაჯიმვაზე და კუმშვაზე

ელემენტების მუშაობა ცენტრალურ გაჭიმვასა და კუმშვაზე წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც გრძივი ძალა N გადის გასაანგარიშებელი ელემენტის სიგრძეზე ნებისმიერი განივი კვეთის სიმძიმის ცენტრში (ფიგ. 11). ცენტრალურად გაჭიმული და ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება მასალის მუშაობის დრეკად სტადიაში ხორციელდება ფორმულით:

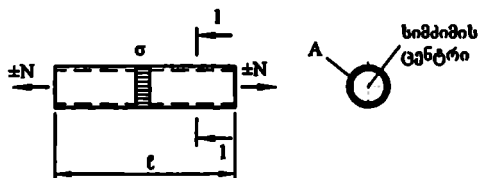
$$N/A_n \leq R_y \gamma_c, \quad (8)$$

სადაც A_n არის კვეთის ფართობი, ნეტო (შესუსტებების გამოკლებით); R_y – მასალის საანგარიშო წინაღობა დენადობის ზღვრის მიხედვით (იხ. ცხრ. 1).

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების, რომელთა ექსპლუატაცია შესაძლებელია ლითონის დრეკადი მუშაობის ზღვრის მიღმა, სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხორციელდება ფორმულით:

$$N/A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u, \quad (9)$$

სადაც R_{σ} არის მასალის საანგარიშო წინაღობა დროებითი წინაღობის მიხედვით (იხ. ცხრილი 1); $\gamma_r=1.3$ – საიმედოობის კოეფიციენტი კონსტრუქციის ელემენტებისათვის, რომლებიც გაანგარიშდება სიმტკიცეზე დროებითი წინაღობის მიხედვით.



ფიგ. 11. ღეროების მუშაობა ცენტრალურ გაჭიმვაზე და კუმშვაზე

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მზიდუნარიანობის ამოწურვა ხდება დენადობის ზღვარზე ნაკლები კრიტიკული ძაბვების დროს. ეს აიხსნება იმით, რომ ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები საექსპლუატაციო თვისებებს კარგავენ არა კვეთის რღვევის გამო, არამედ ღეროს მდგრადობის დაკარგვით (გამოზურცვა), ამიტომ ცენტრალურად შეკუმშული ღეროები გაანგარიშდება მდგრადობაზე გრძივი ღუნვის φ კოეფიციენტის გათვალისწინებით (რომელიც ამცირებს საანგარიშო წინაღობას), ფორმულით:

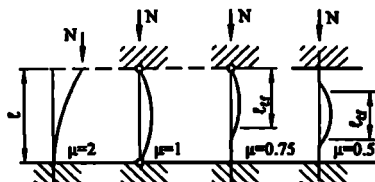
$$N/\varphi A \leq R_{\sigma} \gamma_c, \quad (10)$$

სადაც A არის ღეროს განივი კვეთი შესუსტებების გარეშე (ჭანჭიკებისა და მოქლონების ნახვრეტებისათვის).

φ კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ელემენტის მოქნილობაზე $\bar{\lambda}$, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$\bar{\lambda} = l_{ef}/i, \quad (11)$$

სადაც, $l_{ef} = \mu l$ არის ღეროს საანგარიშო სიგრძე: l – ღეროს გეომეტრიული სიგრძე (ელემენტის ჩამაგრების წერტილებს შორის მანძილი); μ – ღეროს სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტი, რომელიც გამოხატავს ელემენტის ბოლოების ჩამაგრების გავლენას (ფიგ. 12); i – ელემენტის განივი კვეთის ინერციის რადიუსი.



ფიგ. 12. ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრისათვის

პრაქტიკული მიზნებისათვის, μ კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება ინტერპოლაციით ცხრილი 4-ის და ცხრილი 5-ის მიხედვით, შესაბამისად, ფოლადის კონსტრუქციებისა და ალუმინის შენადნობებისათვის.

ცხრილი 4

ფოლადის ცენტრალურად შეკუმშული ძრავების ბაჰიში ღეროს
კოეფიციენტებისა და მნიშვნელობები

მოჭილობა, λ	კოეფიციენტი μ ფოლადის ელემენტებისათვის საანგარიშო წინაღობით R_p , მპა											
	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
10	988	987	985	984	983	982	981	980	979	978	977	977
20	967	962	959	955	952	949	946	943	941	938	936	934
30	939	931	924	917	911	905	900	895	881	887	883	879
40	906	894	883	873	863	854	846	849	832	825	820	814
50	869	852	836	822	809	786	785	775	764	746	729	712
60	827	805	785	766	749	721	696	692	650	628	608	588
70	782	754	724	687	654	623	595	568	542	518	494	470
80	734	686	641	602	566	532	501	471	442	414	386	359
90	665	612	565	522	483	447	413	380	349	326	305	287
100	599	542	493	448	408	369	335	309	286	267	250	235
110	537	478	427	381	338	306	280	258	239	223	209	197
120	479	419	366	321	287	260	237	219	203	190	178	167
130	425	364	313	276	247	223	204	189	175	163	153	145
140	376	315	272	240	215	195	178	164	153	143	134	126
150	328	276	239	211	189	171	157	145	134	126	118	111
160	290	244	212	187	167	152	139	129	120	112	105	099
170	259	218	189	167	150	136	125	115	107	100	094	089
180	233	196	170	150	135	123	112	104	097	091	085	081
190	210	177	154	136	122	111	102	094	088	082	077	073
200	191	161	140	124	111	101	0.93	086	080	075	071	067
210	174	147	128	113	102	093	0.85	079	074	069	065	062
220	160	135	118	104	094	0.86	0.77	073	068	064	060	057

შენიშვნა: კოეფიციენტ μ -ის მნიშვნელობები ცხრილში გადიღებულია 1000-ჯერ.

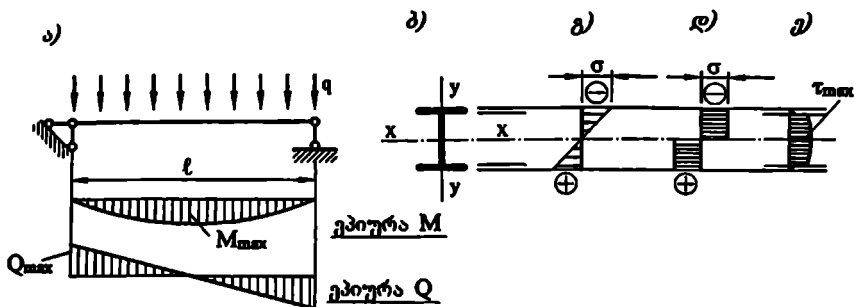
**ალუმინის ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების ბრკივი ღუნვის
კოეფიციენტების ϕ მნიშვნელობები**

მოქნილობა, λ	კოეფიციენტი ϕ ალუმინის ელემენტებისათვის მარკით						
	AMr2M	AMr21/2H	AD31T	AD31TI	AD31TS	1915, 1925, 1925T	1915T
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
20	982	936	995	936	946	915	910
30	915	865	930	865	880	838	830
40	860	802	880	802	818	770	758
50	812	740	835	740	763	696	676
60	766	675	793	675	705	615	590
70	717	605	750	605	644	530	500
80	665	542	706	542	590	440	385
90	608	450	656	450	510	348	305
100	555	367	610	367	432	882	246
110	506	313	562	313	382	233	204
120	458	262	518	262	330	196	171
130	415	227	475	227	290	167	146
140	362	197	435	197	255	144	126
150	313	168	400	168	212	125	110

შენიშვნა: კოეფიციენტ ϕ -ის მნიშვნელობები ცხრილში გადიდებულია 1000-ჯერ.

1.6. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება

ღუნვაზე მომუშავე ყველაზე გავრცელებული ელემენტებია ლითონის კოჭები, რომლებიც დატვირთულია კოჭის გრძივი ღერძის პერპენდიკულარულად ერთ ან ორ მთავარ სიბრტყეში ($x-x$ და $y-y$) თანაბრად განაწილებული, შეყურსული ან კომბინირებული დატვირთვით (ფიგ. 13).



ფიგ. 13. ღეროს მუშაობის სქემა ღუნვის დროს

ა - კოჭის საანგარიშო სქემა; ბ - განივი კვეთი; გ, დ - ნორმალური ძაბვების ეპიურები; ე - მხები ძაბვების ეპიურა

განივი ღუნვის დროს ლითონის ღეროს საანგარიშო კვეთებში წარმოიქმნება მღუნავი მომენტები და განივი ძალები. ამ დროს, მაქსიმალური ნორმატიული ძალების (მაქსიმალური მღუნავი მომენტის) მოქმედების ზონაში, საანგარიშო კვეთი შეიძლება იყოს მასალის დრეკადი მუშაობის საზღვრებში (ფიგ. 13, გ) ან მასალის მუშაობის პლასტიკურ სტადიაში (ფიგ. 13, დ). ელემენტების, რომლებიც იღუნებიან ერთ-ერთ მთავარ სიბრტყეში (მაგალითად $x-x$), სიმტკიცეზე გაანგარიშებას დრეკად სტადიაში ახორციელებენ ფორმულით:

$$M_x / W_{x \min} \leq R_y \gamma_c \quad (12)$$

სადაც M_x არის მღუნავი მომენტი, მოქმედი $x-x$ ღერძის მიმართ; $W_{x \min}$ - კვეთის (ნეტო) წინააღობის მინიმალური მომენტი $x-x$ ღერძის მიმართ.

ღუნვადი ელემენტების საანგარიშო კვეთებში მხები ძაბვების τ მნიშვნელობა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობას

$$\tau = Q_x S_x / J_x t \leq R_s \gamma_c \quad (13)$$

სადაც Q_x არის საანგარიშო განივი ძალა, მოქმედი $x-x$ ღერძის მიმართ; S_x - კვეთის (ბრუტო) ძერადი ნაწილის სტატიკური მომენტი $x-x$ ნეიტრალური ღერძის მიმართ; J_x - კვეთის (ბრუტო) ინერციის მომენტი $x-x$ ი ღერძის მიმართ; t - კოჭის კედლის სისქე; $R_s = 0.58 R_m / \gamma_m$ - მასალის საანგარიშო წინააღობა ძერაზე.

საანგარიშო კვეთში კოჭის კედლის ნახერტებით შესუსტებისას, მე-(13) ფორმულაში τ -ს მნიშვნელობა უნდა გამრავლდეს α კოეფიციენტზე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\alpha = a/(a - d), \quad (14)$$

სადაც a არის ნახერტების ბიჯი; d – ნახერტის დიამეტრი.

ორ მთავარ სიბრტყეში (x - x და y - y) ერთდროული ღუნვისას, სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხორციელდება ფორმულით:

$$M_{xy}/J_{xn} \pm M_{yx}/J_{yn} \leq R_y \gamma_c, \quad (15)$$

სადაც x და y არის კვეთის განსახილველი წერტილის კოორდინატები მთავარი ღერძების მიმართ.

ჭრადი და უჭრი მთლიანკვეთიანი კოჭების სიმტკიცეზე გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების და მომენტების გადანაწილების გათვალისწინებით, ხორციელდება სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად.

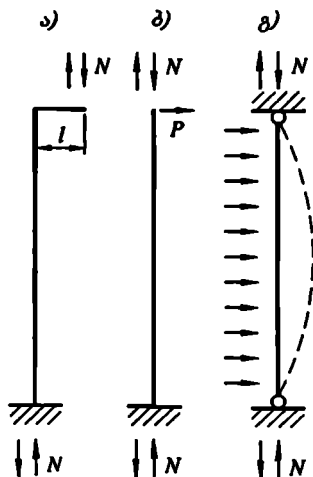
1.7. ღერძულ ძალასა და ღუნვაზე მომუშავე ელემენტების გაანგარიშება

არაცენტრალური კუმშვა და არაცენტრალური გაჭიმვა წარმოიქმნება ელემენტის საანგარიშო კვეთში მღუნავი მომენტის M და გრძივი მკუმშავი ან გამჭიმავი N ძალის ერთდროული მოქმედების დროს (ფიგ. 14).

590 მპა-დე დენადობის ზღერის მქონე ფოლადისაგან დამზადებული, არაცენტრალურად შეკუმშული, შეკუმშულ-გაღუნული, არაცენტრალურად გაჭიმული და გაჭიმულ-გაღუნული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება მუშაობის პლასტიკურ სტადიაში (იმ პირობით, რომ $\tau \leq 0.5R_s$, და $N/(A_n R_y \gamma_c) > 0.1$) ხორციელდება შემდეგი ფორმულით:

$$\left(\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \left(\frac{M_x}{c_x W_{xn, mtn} R_y \gamma_c} \right) + \left(\frac{M_y}{c_y W_{yn, mtn} R_y \gamma_c} \right) \leq 1, \quad (16)$$

სადაც n , c_x და c_y - კოეფიციენტები, რომლებიც დამოკიდებულია კოჭის კვეთის ზომებსა და ფორმაზე, შეირჩევა სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.



ფიგ. 14. არაცენტრალურად შეკუმშული და გაჭიმული ღეროების სქემები

მასალის დრეკადი მუშაობის დროს სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხორციელდება ფორმულით:

$$\frac{N}{A_n} \pm \left(\frac{M_x}{J_{xn}} \right) y \pm \left(\frac{M_y}{J_{yn}} \right) x \leq R_y \gamma_c. \quad (17)$$

არაცენტრალურად შეკუმშულმა და შეკუმშულ-გაღუნულმა ღეროებმა მდგრადობა შეიძლება დაკარგონ (λ_x და λ_y მოქნილობაზე დამოკიდებულობით), როგორც მღუნავი მომენტის (M_x) მოქმედების სიბრტყეში, ასევე მომენტის მოქმედების მართობულ სიბრტყეში, თუ $\lambda_y < \lambda_x$ (ღეროს I_{xeff} და I_{yeff} საანგარიშო სიგრძეების გათვალისწინებით).

მდგრადობაზე გაანგარიშება მომენტის მოქმედების სიბრტყეში ხორციელდება ფორმულით:

$$(N/\varphi_e A) \leq R_y \gamma_c. \quad (18)$$

სადაც φ_e არის არაცენტრალური კუმშვის დროს საანგარიშო წინააღობების შემცირების კოეფიციენტი; მთლიანკედლიანი ღეროებისათვის განისაზღვრება

“სამშენებლო ნორმებისა და წესების” მიხედვით; დამოკიდებულია პირობით მოქნილობაზე $\bar{\lambda}$ და დაყვანილ ფარდობით ექსცენტრისიტეტზე m_{ef}

$$m_{ef} = \eta m, \quad (19)$$

სადაც η – კვეთის ფორმის გავლენის კოეფიციენტი (იხ. სამშენებლო ნორმები და წესები); $m=eA/W_e$ – ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი ($e=m/N$ – ექსცენტრისიტეტი; W_e – კვეთის წინაღობის მომენტი ყველაზე შეკუმშული ბოჭკოსათვის), რომელიც გისოსებიანი და თამასებიანი გამჭოლი ღეროებისთვის, პირობით დაყვანილ მოქნილობასა $\bar{\lambda}_{ef}$ და ფარდობით ექსცენტრისიტეტზე დამოკიდებულებით, განისაზღვრება ფორმულით

$$m = eAa/I, \quad (20)$$

სადაც a არის მანძილი ღუნვის სიბრტყის პერპენდიკულარული, კვეთის მთავარი ღერძიდან ყველაზე შეკუმშული შტოს ღერძამდე, მაგრამ არანაკლებ შტოს კედლის ღერძამდე მანძილისა.

მდგრადობაზე გაანგარიშება მომენტის მოქმედების მართობულ სიბრტყეში წარმოებს ფორმულით:

$$N/c\varphi_y A \leq R_y \gamma_c, \quad (21)$$

სადაც c და φ_y – სიდიდეები, რომლებიც განისაზღვრება "სამშენებლო ნორმებისა და წესების" მიხედვით.

როდესაც $m_{ef} \leq 20$, მაშინ არაცენტრალურად შეკუმშული და შეკუმშულ-გაღუნული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება საჭირო არ არის; თუ მთლიანკედლიანი ღეროებისთვის $m_{ef} > 20$ და გამჭოლი ღეროებისთვის $m > 20$, მაშინ მდგრადობაზე გაანგარიშება საჭირო არ არის.

თავი 2. ლითონის კონსტრუქციების შეერთება

2.1. საერთო ცნებები

ლითონის კონსტრუქციების შეერთებები განკუთვნილია ცალკეული ელემენტების ერთმანეთთან შესაუღლებლად. შეერთების სახის შერჩევა დამოკიდებულია შესაერთებელი ელემენტების დაძაბული მდგომარეობის სახეზე, მოქმედი დატვირთვის სიდიდესა და ხასიათზე, შესაუღლებელი ელემენტების ფორმაზე, შეერთების მუშაობის პირობებსა და სხვ.

ლითონის კონსტრუქციებში გამოიყენება შენადული, ჭანჭიკური და მოქლონური შეერთებები.

ყველაზე გავრცელებულია შენადული შეერთებები. მათ გასაკეთებლად საჭიროა ნაკლები დრო და ლითონი ჭანჭიკურ და მოქლონურ შეერთებებთან შედარებით. შედუღების გამოყენება უზრუნველყოფს შეერთების მაღალ სიმტკიცეს, პროცესის ავტომატიზაციას, შენადული ნაკერის მაღალ ხარისხს მისი შესრულებისას არა მარტო საქარხნო პირობებში, არამედ სამშენებლო მოედანზეც. ამიტომ, შენადული შეერთებები გამოიყენება ყველა ტიპის ლითონის კონსტრუქციებში.

ჭანჭიკური შეერთებები გამოიყენება ასაწყობ-დასაშლელი და სტაციონარული კონსტრუქციების სამონტაჟო და მუშა შეერთებებში. მათი დადებითი თვისებებია: შეერთების სიმარტივე და საიმედოობა, ხოლო უარყოფითი: ლითონის გაზრდილი ხარჯი, შეერთების დამყოლობა (დეფორმირებადობა) ჭანჭიკისა და ნახერცის შორის ღრეჩოების არსებობის შედეგად. ჭრაზე და გაჭიმვაზე მომუშავე მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების გამოყენების შემთხვევაში მცირდება შეერთების დეფორმირებადობა, თუმცა იზრდება შრომატევადობა.

მოქლონური შეერთებები შეზღუდულად გამოიყენება, რადგანაც ისინი სხვა შეერთებებთან შედარებით უფრო შრომატევადი და ძვირადღირებულია. თუმცა, მოქლონური შეერთებების საიმედოობა ნიშანცვლადი და ვიბრაციული დატვირთვებისას, განსაზღვრავს მათი გამოყენების სფეროს მუშაობის მძიმე რეჟიმის კონსტრუქციებში (რკინიგზის ხიდებში, სამრეწველო ეტაჟერებში დინამიკური ზემოქმედების დროს და სხვ.).

2.2. შენადუღი შეერთებები.

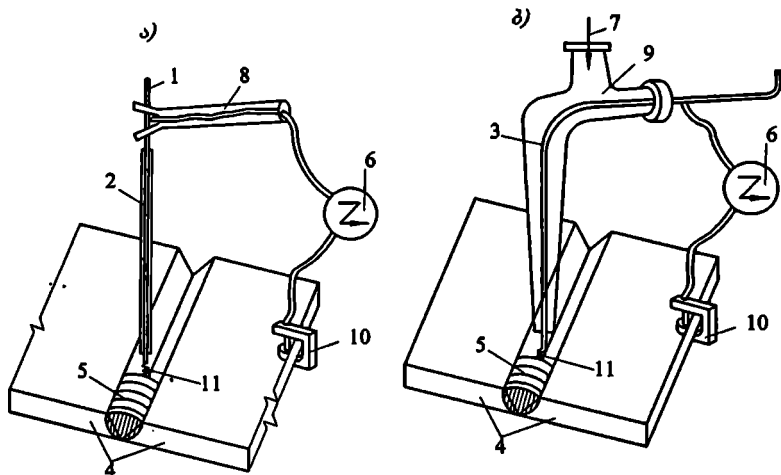
შედულების სახეები და მათი მოკლე დახასიათება

შედულების ძირითადი სახეა ელექტრორკალური შედულება, რომელიც დაფუძნებულია ელექტრული რკალის წარმოქმნაზე ფოლადის ღეროსა (ელექტროდსა) და შესადულებელ ფოლადის დეტალებს შორის (ფიგ. 15, ა). ელექტრული რკალი წარმოქმნის 1500°C ტემპერატურაზე მეტს. ამ ტემპერატურაზე ხდება ძირითადი ლითონისა და ელექტროდის დნობა რის შედეგადაც კონტაქტის ზონაში წარმოიქმნება შენადუღი ნაკერი, რომელიც აერთებს შესადულებელ ელემენტებს. მაღალი პლასტიკური თვისებების მქონე ხარისხიანი ნაკერის მისაღებად, შედულება ხორციელდება დაცულ აიროვან გარემოში, რომელიც წარმოიქმნება ნაკერის ზონაში ელექტროდზე დატანილი სპეციალური საგოზავის (საცხის) წვის შედეგად, რომელიც შეიცავს მაღეგირებელ დანამატებს და ქმნის წიღის ფენას, რაც იცავს ლითონს დაჟანგვისა და სწრაფი გაცივებისაგან.

ელექტრორკალურ შედულებასთან ერთად ფართოდ გამოიყენება აირელექტრული შედულება. მისი უპირატესობა ელექტრორკალურ შედულებასთან შედარებით არის მაღალი მწარმოებლურობა, დაბალი ღირებულება, მაღალი ტემპერატურა (3200°C) და ჩადულების მეტი სიღრმე (ფიგ. 15, ბ).

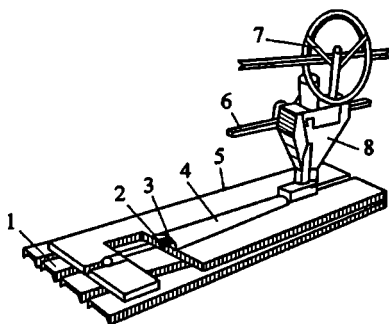
შენადუღი შეერთებების სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნაკერის სტრუქტურა – მიკროფორების არსებობა, ბზარები, სიმყიფე და სხვ. ნაკერებში ბზარების წარმოქმნა დაუშვებელია. განასხვავებენ ცხელი და ცივი შედულების ბზარებს. ცხელი ბზარები ჩვეულებრივ წარმოიქმნება ნაკერის გაცივებისას 1000°C -ზე მეტი ტემპერატურის დროს, ხოლო ცივი ბზარები – შეკლების შედეგად.

შედულების ღირსება ხასიათდება ნაკერის ჩანადუღის სიღრმით, ანუ დადულებული ლითონის შეღწევით ძირითად ლითონში, რაც ჩვეულებრივ შეადგენს 1.5–2 მმ. ეს მიიღწევა შესადულებელ ელემენტებს შორის არსებული ღრეჩოსა და ნაწიბურების სპეციალურად დამუშავების შედეგად.



ფიგ. 15. შედუღების სქემები

ა - ელექტროკალური; ბ - აირელექტრული; 1 - ლითონის ელექტროდი; 2 - სპეციალური საგოზი; 3 - შესადუღებელი მავთული; 4 - შესადუღებელი ელემენტები; 5 - შედუღების ნაკერი; 6 - დენის წყარო; 7 - ნახშირორჟანგი (ნახშირბადოვანი ფოლადების შედუღებისას) ან არგონის აირი (ალუმინის შენადნობების შედუღებისას); 8 - ელექტროსაჭერი; 9 - სანთურა; 10 - დამჭერი (ჭახრაკი); 11 - ელექტროკალი



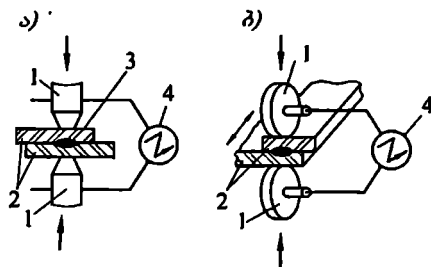
ფიგ. 16. ავტომატური შედუღების სქემა ფლუსის ქვეშ (განსაზღვრული ქიმიური შემადგენლობის მასალა)

1 - სტენდი; 2 - შენადნული ნაკერი; 3 - წიდის ქერქი; 4 - ფლუსი; 5 - ძირითადი ლითონი; 6 - თვითმავალი მექანიზმი; 7 - ელექტროდული მავთული; 8 - საშემდუღებლო თავი

ყველაზე ხარისხიანი ნაკერები მიიღება საშემდუღებლო აგრეგატებით შესრულებული ავტომატური შედუღებისას (ფიგ. 16).

ნახევრად ავტომატური შედუღებისას საშემდუღებლო აგრეგატი მოძრაობს ხელით, ხოლო შედუღების პროცესი ხორციელდება ავტომატურად (სარჩილისა და ფლუსის მიწოდება).

3 მმ-ზე მეტი სისქის ფურცლების შესადუღებლად გამოიყენება წერტილოვანი და ლილვაკური ელექტროშედუღება (ფიგ. 17), რომელიც სრულდება სპეციალურ საშემდუღებლო დანადგარებზე. ნაკლებად გამოიყენება აირული შედუღება, რომელიც დაფუძნებულია ჟანგბადის ნაკადში აცეტილენის წვის ზონაში ლითონის დნობაზე.



ფიგ. 17. ელექტროშედუღების სახეები

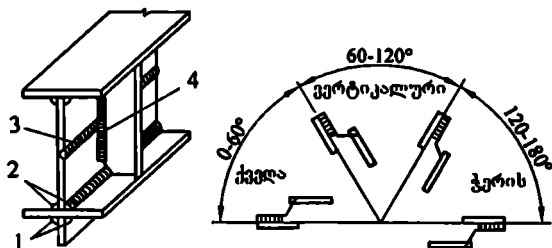
ა - წერტილოვანი; ბ - ლილვაკური; 1 - ელექტროდები ან გორგოლაჭები;

2 - შესადუღებელი ელემენტები; 3 - შენადული ნაკერი;

4 - დენის წყარო

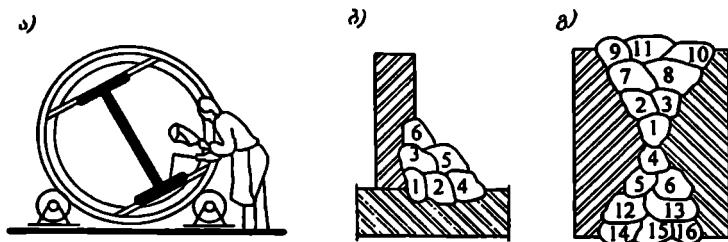
ნაკერების განლაგების მიხედვით ისინი შეიძლება იყოს ქვედა ($0-60^\circ$), ვერტიკალური ($60^\circ-120^\circ$) და ჭერის ($120^\circ-180^\circ$) (ფიგ. 18). სამუშაოდ ყველაზე მოსახერხებელი, ხარისხიანი და ეკონომიურია ქვედა ნაკერები. ვერტიკალური და ჭერის ნაკერები რთულია სამუშაოდ, ამიტომ მათ უპირატესად იყენებენ სამონტაჟო შედუღებისას. საქარხნო პირობებში ვერტიკალური და განსაკუთრებით ჭერის ნაკერების თავიდან ასაცილებლად გამოიყენება სპეციალური საბრუნავები (ფიგ. 19, ა).

ნაკერის დიდი სისქის შემთხვევაში, მისი ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით, შედუღების პროცესში ახორციელებენ ნაკერის თანამიმდევრობით გასქელებას, როგორც ფიგ. 19, ბ, გ-ზეა ნაჩვენები.



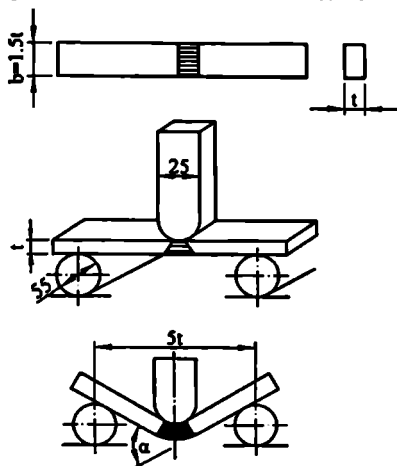
ფიგ. 18. ნაკერების კლასიფიკაცია სივრცეში მდებარეობის მიხედვით

1 - ჰორიზონტალური ნაკერი; 2 - ვერტიკალური ნაკერი; 3 - ჰორიზონტალური საპირაპირე ნაკერი; 4 - ვერტიკალური ნაკერი



ფიგ. 19. შედეგების სამუშაოების წარმოება

ა - მბრუნავი საგორავის სქემა; ბ - V-ს მაგვარი ნაკერის გასქელების თანმიმდევრობა; გ - X-ის მაგვარი ნაკერის გასქელების თანმიმდევრობა



ფიგ. 20. დადგენილი ღიბის გამოცდა ღუნაზე სიმტკიცისა და პლასტიკურობის განსაზღვრისათვის

შენადული ნაკერის ხარისხის შესაზოწმებლად, გაჭიმვაზე გამოცდის გარდა, მას აგრეთვე ცდიან ღუნვაზე (ფიგ. 20). ამ შემთხვევებში შეერთებიდან ამოჭრიან სპეციალურ ნიმუშს.

490 მპა-დე დენადობის ზღერის მქონე ფოლადის კონსტრუქციების შესადულებლად ელექტროდების ძირითადი ტიპებია: 3-42, 3-42A, 3-46, 3-46A, 3-50, 3-50A, ხოლო 500 მპა-ზე მეტი დენადობის ზღერის მქონე ფოლადის კონსტრუქციების შესადულებლად: 3-60, 3-70, და 3-85. დადულებული ლითონის მასის შესამცირებლად ნორმებით რეკომენდებულია უფრო მაღალი მარკის მქონე ელექტროდების გამოყენება, ვიდრე შესადულებელი ელემენტების ფოლადის მარკებია.

ალუმინის კონსტრუქციებს ადულებენ არგონრკალური შედულებით ალუმინის მავთულის მისართიანი უდნობი ვოლფრამის ელექტროდით და დნობადი ვოლფრამის ელექტროდით. ხარისხიანი ნაკერის მისადებად საჭიროა შესადულებელი ელემენტებისა და მავთულის გუღმოდგინე ქიმიური დამუშავება.

2.3. შენადული შეერთების ტიპები და მათი გაანგარიშება

კონსტრუქციის მიხედვით შენადული შეერთებები იყოფიან პირაპირა, პირგადადებით, კომბინირებულ და პირდგმულ სახეებად (ცხრილი 6). ყველაზე საიმედო და მასალის ხარჯის მიხედვით ეკონომიურია პირაპირა შეერთებები. შენადული ნაკერის თავსა და ბოლოში წარმოქმნილი კრატერისა და შეუდულებლობის გავლენის აღმოსაფხვრელად, აგრეთვე ნაკერისა და ძირითადი ლითონის თანაბარი სიმტკიცის მისაღწევად, პირაპირა შეერთებებში კეთდება ირიბი ნაკერი. პირაპირა ნაკერები გამოიყენება ფურცლების, ნაგლინი პროფილების (ორტესებრი, შეუღერი, კუთხედი და სხვ.), აგრეთვე გრძივ ძალებზე მომუშავე ელემენტების შესაერთებლად.

პირგადადებით შეერთებები, მასალის უფრო მეტი დანახარჯისა და ნაკლები საიმედოობის მიუხედავად (ძაბვების მნიშვნელოვანი კონცენტრაციის გამო), ასევე, ფართოდ გამოიყენება. ასეთ შეერთებებს აკეთებენ ზესადებებით ან მათ გარეშე – ძაღვის გასწვრივ განლაგებული ფლანგური, ან ძაღვის პერპენდიკულარულად განლაგებული ტორსული, კუთხური შედულებით.

ფულანგურ ნაკერებში წარმოქმნილი ძაბვები გამოირჩევა დიდი არათანაბრობით, თუმცა ზღერულ მდგომარეობაში ძაბვის ეპიურები ნაკერში თანაბრდება, რაც იძლევა საშუალებას კუთხური ნაკერების გაანგარიშება ჩატარდეს იმ დაშვებით, რომ ნაკერის სიგრძეზე და კვეთის ფართზე ძალები თანაბრადაა განაწილებული.

ასევე ფართოდ გამოიყენება კომბინირებული და პირდგმული შეერთებები, რომლებიც გამომდინარეობენ შეერთების პირველი ორი ძირითადი ტიპიდან.

ცენტრალურ გაცემვაზე ან კუმშვაზე მომუშავე შენადული პირაპირა ნაკერის გაანგარიშება წარმოებს ფორმულით (22), იმ დაშვებით, რომ ნაკერის სიგრძესა და განივ კვეთზე ძაბვები თანაბრადაა განაწილებული

$$N/t_{lw} \leq R_{wy} \gamma_c, \quad (22)$$

სადაც t არის შესაერთებელი ელემენტებიდან ყმცირესი სისქე; l_w – ნაკერის საანგარიშო სიგრძე, რომელიც ტოლია $2t$ სიდიდით შემცირებული მთლიანი სიგრძის, ან მთელი სიგრძის, როდესაც ნაკერის ბოლოები გადის პირაპირის გარეთ.

გრძივი ან განივი ძალების მოქმედებისას, კუთხურნაკერებიანი შენადული შეერთებები გაანგარიშდება ჭრაზე ორ კვეთში (ფიგ. 21) – ნაკერის ლითონში (კვეთი 1)

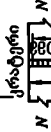
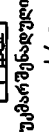
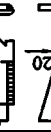
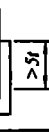
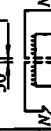
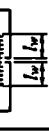
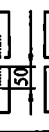
$$N/\beta_f k_f l_w \leq R_{wf} \gamma_w \gamma_c, \quad (23)$$

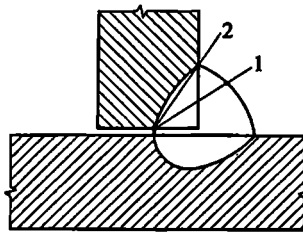
და შედნობის საზღვარზე ლითონში (კვეთი 2)

$$N/\beta_z k_f l_w \leq R_{wz} \gamma_w \gamma_c, \quad (24)$$

სადაც l_w არის ნაკერის საანგარიშო სიგრძე, რომელიც აიღება მთლიან სიგრძეზე 10 მმ-ით ნაკლები; β_f და β_z – კოეფიციენტები, რომლებიც დამოკიდებულია შედუღების სახეზე, შედუღების მათეულის დიამეტრზე, ნაკერის კათეტის სიმაღლესა და ფოლადის დენადობის ზღვარზე. 580 მპა-ზე დენადობის ზღერის მქონე ფოლადის ელემენტების შედუღებისას მათ იღებენ მე-7 ცხრილიდან; ხოლო როდესაც დენადობის ზღვარი 580 მპა-ზე მეტია, მაშინ $\beta_f=0.7$ და $\beta_z=1$; γ_w და γ_w – ნაკერის მუშაობის პირობების კოეფიციენტები ($\gamma_w = \gamma_w = 1$, თუ გარემოს ტემპერატურა -40°C -ზე ნაკლები სრ არის); k_f – ნაკერის კათეტი.

შენიშნული შემთავის სახეები

პირადი	პირდაპირად			კომბინირებული	პირდაცული	
	ზესადების გარეშე	ზესადებით	კუთხური ნაკერები		ტესტი	კუთხური ნაკერები
შეგირძპირების ნაკერი	ფლანგური	შუბლისა	ფლანგური	შუბლისა	პირაპირა და კუთხური ნაკერები	კუთხური
 45-60  კრატერი  უკრატერული  არა უკრატერული 25°	 20  20  20  20	 20  20  20  20	 20  20  20  20	 20  20  20  20	 20  20  20  20	 20  20  20  20



ფიგ. 21. კუთხურნაკერიათი შენადული შეერთების საანგარიშო კვეთების სქემა

1 – კვეთი ნაკერის ლითონში; 2 – კვეთი შედნობის საზღვარზე ლითონში

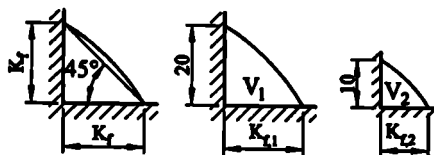
სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად, აგრეთვე ახორციელებენ კუთხურნაკერებიანი შენადული შეერთებების გაანგარიშებას ნაკერის ლითონში და შედნობის საზღვარზე ლითონში, ნაკერების განლაგების სიბრტყეში და სიბრტყის პერპენდიკულარულად მომენტის მოქმედებაზე (შეერთებებში, რომლებშიც ნაკერის ლითონის სიმტკიცე მეტია შესადულებელი ელემენტების ლითონის სიმტკიცეზე).

ფოლადის კონსტრუქციებში შენადული ნაკერების საანგარიშო წინააღობების მნიშვნელობები მოყვანილია მე-8 ცხრილში, ხოლო ალუმინის კონსტრუქციებში არგონრკალური შედულებით შესრულებული შენადული ნაკერების საანგარიშო წინააღობები – მე-9 ცხრილში.

შენადული ნაკერების კონსტრუირებისას უნდა ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი პირობით: კუთხური შენადული ნაკერის მინიმალური საანგარიშო სიგრძე არ უნდა იყოს 40 მმ-ზე ნაკლები და $85\beta_f k_f$ -ზე მეტი; კუთხური ნაკერის მაქსიმალური კათეტი k_f უნდა იყოს არა უმეტეს 12t, სადაც t – შესაერთებელი ელემენტების უმცირესი სისქეა; k_f -ის მინიმალური მნიშვნელობა არ უნდა იყოს 4 მმ-ზე ნაკლები, ხოლო მაქსიმალური არა უმეტეს 25 მმ.

შენადული ნაკერების სიმძლავრეების შედარებისას, მათი კათეტების k_f და მოცულობების V_f მიხედვით, ჩანს, რომ $k_{f1}/k_{f2} = 2$ და $V_{f1}/V_{f2} = 4$, ე.ი. ნაკერის კათეტის გადიდებით მისი სიმტკიცე იზრდება პირველ ხარისხში, ხოლო დადულებული ლითონის რაოდენობა კვადრატში (ფიგ. 22). ყველაზე ხელსაყრელად მიიჩნევა ნაკერები, როცა $k_f = 6 + 12$ მმ. პირაპირულ შენადულ ნაკერებს ყოველთვის აპროექტებენ უწყვეტი სახით, ხოლო კუთხური ფლანგური ნაკერები შეიძლება იყოს უწყვეტი და წვეტილი სახით. წვეტილ

ნაკერში მინიმალური სიგრძე და წვევბა კონსტრუქციული მოსაზრებებით არ უნდა იყოს 50 მმ-ზე ნაკლები (ცხრ. 10).



ფიგ. 22. ნაკერის სიმბლავრის და მოცულობის თანაფარდობა

ცხრილი 7

β_f და β_x კოეფიციენტების მნიშვნელობები, 580 მპა-ზე დენადობის
ზღვარის მქონე ზოლადის ელემენტების შემთხვევაში

შედულების სახე შესადულებელი მაეთულის დიამეტრის მიხედვით, d , მმ	ნაკერის მდებარეობა	კოეფიციენტი	β_f და β_x კოეფიციენტების მნიშვნელობები ნაკერის კათეტების შემთხვევაში, მმ			
			3-8	9-12	14- 16	18 და მეტ
აეტომატური, $d=35$	ნავისებრი	β_f	1.1			0.7
		β_x	1.15			1
	ქვედა	β_f	1.1	0.9		0.7
		β_x	1.15	1.05		1
აეტომატური და ნახევრადაეტომატური $d=1.4-2$	ნავისებრი	β_f	0.9		0.8	0.7
		β_x	1.05		1	
	ქვედა	β_f	0.9	0.8	0.7	
		β_x	1.05		1	
ხელით, ნახევრად აეტომატური მთლიანკეეთიანი მაეთულით $d<1.4$, ან ფხენილოვანი მაეთულით	ნავისებრი, ქვედა, პორიზონტალური, ვერტიკალური, ჭერის	β_f	0.7			
		β_x	1			

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: კოეფიციენტების მნიშვნელობები შეესაბამება შედულების
ნორმალურ რეჟიმს.

შენაღები შეძლების საანგარიშო წინაღობები ზოლადის
კონსტრუქციებში, მპა

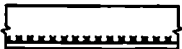
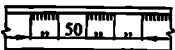
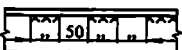
ნაგდღინის დროებითი წინაღობა $R_{\text{დ}}$	პირაპირა შეერთებები			ბერა $R_{\text{ბ}} = R_f$	ჭრახე მომუშავე კუთხური შეერთების ნაკერი		ელექტროდის ტიპი
	კუმშვა, გაჭიმვა და ღუნვა ავტომატური, ნახევრად ავტომატური და ხელით შედღეუბისას ნაკერის ხარისხის ფიზიკური კონტროლით		გაჭიმვა და ღუნვა ავტომატური, ნახევრად ავტომატური ან ხელით შედღეუბისას, $0,85 R_{\text{დ}}$		ნაკერის ლითონის მიხედვით $R_{\text{ლ}}$	ლითონის დანადღლის საზღვარზე $R_{\text{დ}}$	
	დენადღობის ზღვარის მიხედვით $R_{\text{დ}} = R_y$	დროებითი წინაღობის მიხედვით $R_{\text{დ}} = R_u$					
345	210	335	178	122	152	155	3-42, 3-42A
365	230	355	195	133	160	164	
390	280	380	238	162	172	175	
440	300	430	255	174	194	198	3-46, 3-46A
460	325	450	276	188	202	207	3-50, 3-50A
510	355	500	302	206	204	229	3-60
570	375	520	319	217	228	256	
590	400	535	340	232	240	265	
685	515	595	438	299	280	308	3-70

შ ე ნ ი შ გ ნ ა: საანგარიშო წინაღობები განსაზღვრულია სამშენებლო ნორმებისა
და წესების მიხედვით.

ალუმინის კონსტრუქციებში არბონაკალური შეღებვებით შესრულებული
შენაღები ნაპერვების სანაბარო ჟინალოები, მპა

ალუმინის მარკა	შესადუღებელი მათულის მარკა	შენადული ნაკერი		ნაკერის მიმდებარე სონაში			
		პირაპი- რა		კუთხური R_{af}	პირაპი- რა		ვლანგური $R_{af,1}$
		R_{ay}	R_{as}		$R_{ay,1}$	$R_{as,1}$	
AD1M	CBAl	25	15	20	25	15	25
AMuM	CBAMr3	40	25	30	40	25	40
AMr2M AMr21/2H	CBAMr3	65	40	45	65	40	65
AD31T	CBAMr3; 1557	55	35	45	55	35	50
AD31T5	CBAMr3; 1557 ვოლფრამის ელექტროდით	65	40	45	65	40	60
	იგივე დნობადი ელექტროდით	65	40	45	65	40	75
AD31T1	CBAMr3; 1557 ვოლფრამის ელექტროდით	80	50	45	80	50	80
	იგივე დნობადი ელექტროდით	80	50	45	80	50	105
1915	1557 ვოლფრამის ელექტროდით	145	90	110	145	90	130
	იგივე დნობადი ელექტროდით	145	90	110	145	90	145
1915 ($\tau=5...1288$)	1557 ვოლფრამის ელექტროდით	160	105	110	160	105	145
	იგივე დნობადი ელექტროდით	160	105	110	160	105	160

შენაღები ნაპერვების პირობითი აღნიშვნები

ნაკერები	ნაკერების აღნიშვნები	
	ქარხნული	სამონტაჟო
პირაპირა		
უწყვეტი კუთხური		
წყვეტილი კუთხური		

2.4 ჯანჯიკური და მოქლონური შეერთებები, მათი გაანგარიშება და კონსტრუქცია

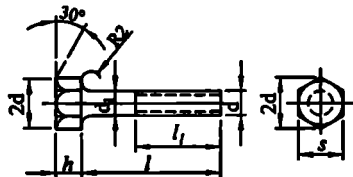
სამშენებლო კონსტრუქციების შეერთებებში გამოიყენება უხეში, ნორმალური და ამაღლებული სიზუსტის, აგრეთვე მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები.

უხეში და ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკებით შეერთებებს ახასიათებს დამყოლობა, რაც გამოწვეულია ჭანჭიკების წინასწარი მოჭერის ნაკლები სიდიდითა და ასევე, ჭანჭიკისა და ნახერგის კედლებს შორის დიდი ღრეჩობით (ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკების ღრეჩოები შეადგენს 0.3-0.5 მმ-ს, ხოლო უხეში სიზუსტის ჭანჭიკებისა – 2-3 მმ-ს). შეერთებების დეფორმაციის შესამცირებლად გამოიყენება ამაღლებული სიზუსტის ჭანჭიკები, რომლებსაც აქვთ უარყოფითი დაშვებები -0.43 -დან -0.52 მმ-დ, ან მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები, რომლებიც უზრუნველყოფენ N ძალების გადაცემას მიმხეხ სიბრტყეებს შორის წარმოქმნილი ხახუნის მეშვეობით. ამის გამო, უხეში და ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკები გამოიყენება ერთი ელემენტის მეორესთან დასამაგრებლად არაძირითად შეერთებებში, შექვარანების კონსტრუქციებში, კაეშირებში, ტექნოლოგიურ მოედნებზე და სხვ.

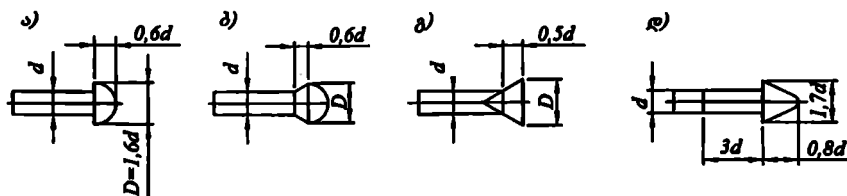
ძირითად მზიდი კონსტრუქციების (კოჭები, ფერმები, ჩარჩოები და სხვ.) სამუშაო და სამონტაჟო შეერთებებში გამოიყენება ამაღლებული სიზუსტისა და მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები. ჭანჭიკები მზადდება დიამეტრით 12-48 მმ და ღეროს სიგრძით 25-300 მმ (ფიგ. 23). ჩვეულებრივი ფოლადის ჭანჭიკები მზადდება ფოლადებისაგან მარკით: BCr3; BCr5; 14Г2; 15ГC და სხვ., ხოლო მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები, ფოლადებისაგან მარკით: 40X, 48XΦA, 30X3MΦ, 30X2HMΦA და სხვ. ფოლადების მექანიკური თვისებებიდან გამომდინარე ჭანჭიკები იყოფიან სიმტკიცის კლასების მიხედვით. ფოლადის კონსტრუქციებში ყველაზე გავრცელებული კლასებია: 4.6; 5.6; 8.8; 10.9;

შენადნულ შეერთებებთან შედარებით, მოქლონურ შეერთებებში მასალის ხარჯი და ღირებულება 10-15 %-ით მეტია, ხასიათდება დიდი შრომატევადობით. მოქლონები მზადდება სპეციალურ წნეხებში, მრგვალი ცილინდრული ფორმის (დიამეტრით 13-31.5 მმ), თავით. მეორე თავი კეთდება დამოქლონების დროს. ნახერგის დიამეტრი აიღება მოქლონის დიამეტრზე 1-1.5 მმ-ით მეტი. ნახერგის მომზადება ხდება ჩაჭყლვით, გაბურღვით, ან

ჯერ ჩატყლევით და შემდეგ საჭირო დიამეტრზე გაბურღვით. დანიშნულების მიხედვით მათ აქვთ თავის სხეადასხვა ფორმა (ფიგ. 24). შეერთებებში მოქლონები ყენდება დამოქლონების ცხელი ან ცივი ხერხით. უპირატესობა ენიჭება ცხლად დამოქლონების ხერხს, რადგანაც გაცივებისას მოქლონის ღერო მოკლდება და ხდება ფურცლების ძლიერი მოჭიმვა. მოქლონებისათვის გამოიყენება რბილი ფოლადი Cr2 და Cr3 დენადობის ზღვრით 220 მპა და მცირედ ლეგირებული ფოლადი 09Г2 დენადობის ზღვრით 300 მპა.



ფიგ. 23. ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკი

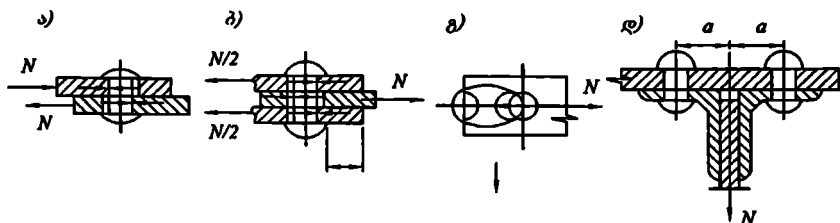


ფიგ. 24 მოქლონების ტიპები

- ა - ნახევარად წრიულთაყიანი; ბ - ნახევარად ფარულთაყიანი;
გ - ფარულთაყიანი; დ - ამაღლებულთაყიანი

აღუმიწის შემოზღუდ კონსტრუქციებში, შენადულ შეერთებებთან შედარებით, უპირატესობა ენიჭება ჭანჭიკურ და მოქლონურ შეერთებებს, რადგანაც ის არ იწვევს მასალის სტრუქტურულ ცვლილებებს და შედეგად, ექსპლუატაციისას გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით. აღუმიწის ჭანჭიკები და მოქლონები ჩვეულებრივ მზადდება იმავე მარკის აღუმიწისაგან, რომლითაც დამზადებულია შესაერთებელი ელემენტები - AMr21/2H, AD31T5, AD31T1, 1925 და 1915. აღუმიწის შენადნობებისაგან დამზადებული მოქლონები ყენდება ცივ მდგომარეობაში, რათა გამორიცხული იქნეს გახურების მანენ გაეღენა დამოქლონების პროცესში. აღუმიწის მზიდ კონსტრუქციებში ფართოდ გამოიყენება ამაღლებული და ნორმალური სიზუსტის და მოთუთიებული ან მოკადმიუმებული ფოლადის ჭანჭიკები.

ჭანჭიკური და მოქლონური შეერთებები ძირითადად მუშაობს ძვრაზე. ამ დროს ჭანჭიკების და მოქლონების რღვევა შეიძლება მოხდეს მათი ღეროების გადაჭრით ჭრის სიბრტყეში ან შესაერთებელი ელემენტების ნახერცების ზედაპირების თელვის შედეგად (ფიგ. 25). თელვის ძალები იწვევენ ფურცლის ამოტეხას ნახერცებს შორის ან ნახერცსა და ელემენტის კიდეს შორის (ფიგ. 25, გ). გარდა ამისა, ჭანჭიკური და მოქლონური შეერთებები მუშაობს გაჭიმვაზე.



ფიგ. 25. მოქლონური და ჭანჭიკური შეერთებების მუშაობის სქემები

ა - ღეროს ჭრა ერთჭრად შეერთებაში; ბ - ღეროს ჭრა ორჭრად შეერთებაში;
გ - ელემენტის თელვა; დ - გაჭიმვა

მიღებულია, რომ შეერთების სიმძიმის ცენტრში გამავალი გრძივი ძალა N თანაბრად ნაწილდება ყველა შეერთებაზე, რაც საშუალებას იძლევა თითოეული ჭანჭიკისა და მოქლონის მზიდუნარიანობა ჩაითვალოს თანაბრად. ასეთ შემთხვევაში, საანგარიშო ძალეა, რომლის ატანაც შეუძლია ცალკეულ ჭანჭიკს, გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

ჭრაზე

$$N_b = R_{bs} \gamma_b A_{ns} n_s; \quad (25)$$

თელვაზე

$$N_b = R_{bp} \gamma_b d \sum t; \quad (26)$$

გაჭიმვაზე

$$N_b = R_{bt} A_{bn}; \quad (27)$$

სადაც, R_{bs} , R_{bp} , R_{bt} არის ჭანჭიკური შეერთებების საანგარიშო წინაღობები, რომლებიც განისაზღვრება 11-14 ცხრილებიდან; $A = \pi d^2/4$ - ჭანჭიკის ღეროს განივი კვეთის საანგარიშო ფართობია; A_{bn} - ჭანჭიკის ღეროს განივი კვეთის ნეტო ფართობი, რომელიც მეტრულ კუთხვილიანი ჭანჭიკებისათვის აიღება

მე-15 ცხრილიდან; Σ – ერთი მიმართულებით თელეადი ელემენტების უმცირესი ჯამური სისქე; n – ერთი ტანჯიკის საანგარიშო ტრის რიცხვი (შესაერთებელ ელემენტების რაოდენობაზე ერთით ნაკლები); γ_b – შეერთების მუშაობის პირობის კოეფიციენტი, მისი მნიშვნელობა აიღება მე-16 ცხრილიდან.

შეერთებაში ტანჯიკების n რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით

$$n \geq N/\gamma_b N_{min}, \quad (28)$$

სადაც N_{min} არის ერთ ტანჯიკზე მოქმედი საანგარიშო ძალის უმცირესი მნიშვნელობა, განისაზღვრება 25, 26 და 27 ფორმულებით; γ_b – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც მრავალტანჯიკიან შეერთებებში ტოლია 1-ის, ხოლო ერთტანჯიკიან შეერთებებში სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

მოქლონური შეერთებები გაანგარიშდება ანალოგიური ფორმულებით.

ცხრილი 11

ფოლადის ზანზიკების საანგარიშო წინაღობები ზრახე და ბაზიზმზე, მკა

დაძაბული მდგომარეობა	საანგარიშო წინაღობები ტანჯიკებისათვის კლასით, მკა					
	4,6	4,8	5,6	5,8	6,6	8,8
ტრა, R_{tr}	150	160	190	200	230	320
გაჭიმვა, R_{st}	175	160	210	200	250	400

შენიშვნა: მოყვანილია საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობები ერთტანჯიკიანი შეერთებებისათვის.

ჯანსიკებით უმართავი ფოლადის ელემენტების თეფხის საანგარიშო
წინაღობები

შესაერთებელი ელემენტების ფოლადის დროებითი წინაღობა $R_{\text{შ}}$ მპა	ჭანჭიკებით შესაერთებ- ლი ელემენტების საანგარიშო წინაღობა თელვაზე $R_{\text{ჭ}}$, მპა		შესაერთებელი ელემენტების ფოლადის დროებითი წინაღობა $R_{\text{შ}}$ მპა	ჭანჭიკებით შესაერთებ- ლი ელემენტების საანგარიშო წინაღობა თელვაზე $R_{\text{ჭ}}$, მპა	
	ამაღლებუ- ლი სიზუსტის	ნორმალური და უხეში სიზუსტის		ამაღლებუ- ლი სიზუსტის	ნორმალური და უხეში სიზუსტის
345	370	335	460	580	520
365	400	365	510	685	610
390	445	400	570	820	725
440	540	485	590	870	—

ალუმინის ჯანსიკების საანგარიშო წინაღობები ზრახვი და გაზომვასი

ჭანჭიკები	დაძაბული მდგომარეობა	ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა მპა	
		AMr5n	ABT1
ნორმალური სიზუსტის	ჭრა, $R_{\text{ჭ}}$	80	85
ამაღლებული სიზუსტის		90	95
ნორმალური და ამაღლებული სიზუსტის	გაჭიმვა, $R_{\text{ჭ}}$	125	160

ალუმინის ელემენტების საანგარიშო წინაღობები თელევაზე მოქლონურ და ჰანჯიკურ შვერთებზე

შვერთები	საანგარიშო წინაღობა თელევაზე, მპა, ალუმინისთვის:							
	ADIM	AMuM	AMr2M	AMr21/2H, AD31T1	AD31T	AD31T5	1925T, 1925, 1915	1915T
მოქლონური, R_p	40	65	110	200	90	160	280	320
ჰანჯიკური, R_{bp}	35	60	100	180	80	145	250	290

ჰანჯიკების ბანიში კმეთის შატრობები

d , მმ	16	18	20	22	24	27	30	36	42	48
A_b , სმ ²	2.01	2.54	3.14	3.80	4.52	5.72	7.06	10.17	13.85	18.09
A_{bm} , სმ ²	1.57	1.92	2.45	3.03	3.52	4.59	5.60	8.26	11.20	14.72

ფოლადის ჰანჯიკური შვერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტები

შვერთებთან დახასიათება	მუშაობის პირობების კოეფიციენტი γ_b
მრავალჰანჯიკიანი, ჭრაზე და თელევაზე გაანგარიშებისას, შემდეგი ჯგუფის ჰანჯიკებისთვის: ამაღლებული სიზუსტის უხეში და ნორმალური სიზუსტის	1 0.9
ჰანჯიკური, 380 მპა-მდე დენადობის ზღვრის მქონე ფოლადის კონსტრუქციების ელემენტებში თელევაზე გაანგარიშებისას	0.85

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: კოეფიციენტები გათვალისწინებული უნდა იქნას ერთდროულად.

მაღალი სიმტკიცის ჯანვითების მძანნიკური თვისებები

ბრახნის ნომინალური დიამეტრი d , მმ	ფოლადის მარკა	უმცირესი დროებითი წინაღობა R_{bm} , ნ/მმ ²	ბრახნის ნომინალური დიამეტრი d , მმ	ფოლადის მარკა	უმცირესი დროებითი წინაღობა R_{bm} , ნ/მმ ²
16-27	40X „სელექტი“	1100	36	40X „სელექტი“	750
	38X „სელექტი“ 40XΦA „სელექტი“	1350		30X3MΦ	1100
	30X3MΦ	1550	42	40X „სელექტი“	650
	30X2HMΦA	1550		30X3MΦ	1000
30	40X „სელექტი“	950	48	40X „სელექტი“	600
	30X3MΦ, 35X2AΦ	1200		30X3MΦ	900

საინჟინერო-საპროექტო სამსახურის კომპეტენციური მოდელი სიმტკიცის
ჯანსიკაბით შეფასებისათვის

შესაერთებელი ზედაპირების დამუშავების (გასუფთავების) ხერხი	ტანჯიკე- ბის მოჭიმ- ვის რეგული- რების ხერხები	სახუნის კოეფი- ციენტი μ	კოეფიციენტი γ_n დატვირთვისას, და ნახერხებისა და ტანჯიკების ნომინალურ დიამეტრებს შორის სხვაობის შემთხვევაში დ, მმ	
			დინამიკური და როცა $\delta=3-6$; სტატიკური და როცა $\delta=5-6$	დინამიკური და როცა $\delta=1$; სტატიკური და როცა $\delta=1-4$
სილატაქელური, საფანტატეორცნი ან საფანტ- ტაქელური, ორი ზედაპირის, კვარცის ქეიშით ან საფანტით კონსერვაციის გარეშე	M α	0.58 0.58	1.35 1.2	1.12 1.02
იგივე, კონსერვაციით, მოლითონებით, თუთიის ან ალუმინის დახერხებით	M α	0.5 0.5	1.35 1.2	1.12 1.02
კვარცის ქეიშით ან საფანტით ერთი ზედაპირის კონსერვაციით პოლიმერული წებოთი და კორბორუნდის ფხენილის მოყრით, ფოლადის ჯაგრისით მეორე ზედაპირის კონსერვაციის გარეშე	M α	0.5 0.5	1.35 1.2	1.12 1.02
ირეალური, ორი ზედაპირის, კონსერვაციის გარეშე	M α	0.42 0.42	1.35 1.2	1.12 1.02
ფოლადის ჯაგრისებით, ორი ზედაპირის, კონსერვაციის გარეშე	M α	0.35 0.35	1.35 1.25	1.173 1.06
დამუშავების გარეშე	M α	0.25 0.25	1.7 1.52	1.3 1.2

შ ე ნ ი შ ე ნ ა ტანჯიკების მოჭიმვის რეგულირების ხერხების აღნიშვნები: M –
დაგრების მომენტის მიხედვით; α – ქანის მობრუნების კუთხის მიხედვით.

შეერთებაში მაღალი სიმტკიცის ტანჯიკების რაოდენობა n
განისაზღვრება ფორმულით

$$n \geq N / \gamma_c Q_{sk} \quad (30)$$

მადალი სიმტკიცის ჭანჭიკში წარმოქმნილი აუცილებელი ღერძული ძალვა, რომელიც მოწმდება ტარირებული ქანჩსაჭერით მოჭიმვის დროს, ტოლია

$$P_f = R_{\text{ფ}}/A_n. \quad (31)$$

ჭანჭიკებს შეერთებებში განალაგებენ რიგობრივი ან ჭადრაკული წესით, როგორც ეს ნაჩვენებია ფიგ. 27-ზე.

ჭანჭიკებს შორის უბნებზე შესაუღლებელი ელემენტების მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობიდან გამომდინარე, შემავრთებელ ჭანჭიკებს, როგორც წესი, განალაგებენ ერთმანეთისაგან მაქსიმალურ მანძილზე. ლითონის ეკონომიის მიზნით, პირაპირებსა და კვანძებში ჭანჭიკებს განალაგებენ მინიმალურ მანძილზე, რომელიც დგინდება ამოტეხაზე სიმტკიცის უზრუნველყოფისა და ჭანჭიკების გაურთულებლად დაყენების პირობიდან გამომდინარე (ცხრილი 19).

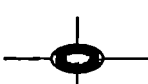
ცხრილი 19

ჭანჭიკების განლაგება შემართებაში

მანძილის დახასიათება	ჭანჭიკებს შორის მანძილი
მანძილი ჭანჭიკების ცენტრებს შორის ნებისმიერი მიმართულებით	
ა) მინიმალური	$2.5d - 3d$
ბ) მაქსიმალური განაპირა რიგებში, როდესაც არ არის მოსაზაროებელი კუთხოვანები: გაჭიმვაზე და კუმშვაზე	$8d$ ან $12t$
გ) მაქსიმალური შუა რიგებში, აგრეთვე განაპირა რიგებში, როდესაც არის მოსაზაროებელი კუთხედები: გაჭიმვაზე	$16d$ ან $24t$
კუმშვაზე	$12d$ ან $18t$
მანძილი ჭანჭიკის ცენტრიდან ელემენტის კიდემდე	
ა) მინიმალური ძალის მოქმედების გასწვრივ	$2d$
ბ) იგივე, ძალის მოქმედების განივად: ჩამონატყრი ნაწიბურებისას	$1.5d$
გაგლინული ნაწიბურებისას	$1.2d$
გ) მაქსიმალური	$4d$ ან $8t$
დ) მინიმალური მადალი სიმტკიცის ჭანჭიკებისათვის, ნებისმიერი ნაწიბურით და ძალის ნებისმიერი მიმართულებისათვის	$1.3d$

ა დ ნ ი შ ჯ ნ ე ბ დ - ჭანჭიკის ნახერტის დიამეტრი; t - ყველაზე თხელი გარე ელემენტის სისქე.

ჰანჯიკების ნახევრების პირობითი აღნიშვნები

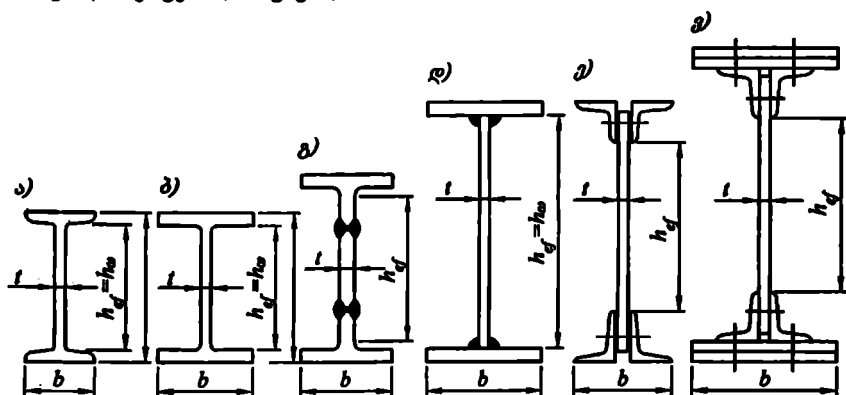
ჰანჯიკთა და ნახევრების სახეები	აღნიშვნები
მრგვალი ნახევრები	
ოვალური	
საქარხნო და საამწორობო შეერთებებში გამოყენებული მუდმივი ჰანჯიკები	
დროებითი ჰანჯიკები საამწორობო შეერთებებში	
მაღალმეტყვე ჰანჯიკები	

თავი 3. კოჭები

3.1. კოჭების ტიპები და მათი სტატიკური სქემები

ლითონის კოჭები მიეკუთვნება ღუნვად ელემენტებს და ძირითადად გამოიყენება 6-18 მ მაღლის მქონე მრავალსართულიან სამრეწველო და სამოქალაქო შენობებში, აგრეთვე ერთსართულიან სამრეწველო შენობებში ამწისქვეშა კოჭების, კიდული ტრანსპორტის საგალი კოჭების და იშვიათად 18-24 მ მაღლის მქონე გადახურვების მზიდი კოჭების სახით.

დამზადების სიმარტივიდან გამომდინარე, ყველაზე რაციონალურია ორტესებრი და შევლერის ტიპის ნაგლინი პროფილები. როდესაც ნაგლინი კოჭები არ აკმაყოფილებს სიმტკიცის, სიხისტისა და საერთო მდგრადობის პირობებს, ანუ დიდი მალეებისა და დიდი მღუნაეი მომენტების შემთხვევაში, ფართედ გამოიყენება შედგენილი შენადული ორტესებრი კოჭები, ხოლო იმ კონსტრუქციებში, რომლებზეც მოქმედებს დინამიკური და ვიბრაციული დატვირთვები – შედგენილი კოჭები, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით და მოქლონური კოჭები (ფიგ. 28). 6 მ-დე მალეების შემთხვევაში, ფოლადის ნაგლინი და ალუმინის დაწნეხილი კოჭების მაგივრად მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას შევლერის ან კოლოფისებრი ტიპის ფოლადის ნალუნი პროფილის კოჭები (იხ. ფიგ. 8).

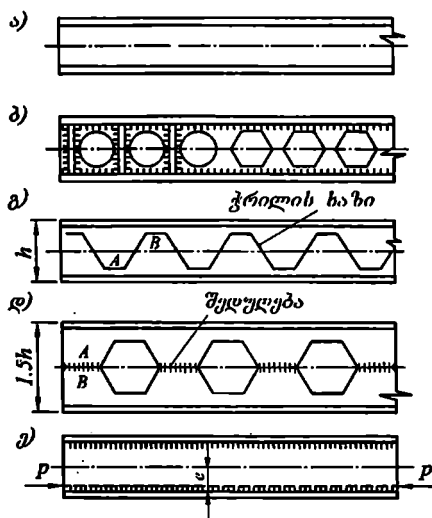


ფიგ. 28. კოჭების კეუთის ტიპები

ა – ნაგლინი ორტესებრი შიდა დახრილი წახნაგებიანი თაროებით; ბ – იგივე, თხელკედლიანი ვიწრო პარალელური თაროებით; გ – შენადული, ფართო თაროებიანი ტესებრებით; დ – ფურცლებისაგან შენადული; ე, ვ – მოქლონური ან მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით

შედგენილი შენადული კოჭები შეიძლება იყოს მთლიანკედლიანი ან წრიული, ოვალური ან მრავალკუთხა ნახერტებით, რომლებიც გამოიყენება საინჟინრო კომუნიკაციების გაყვანისა და სხვა მიზნებისათვის (ფიგ. 29, ა, ბ). ნახერტებს შორის შუალედებში ყენდება სიხისტის წიბოები, რომლებიც უზრუნველყოფენ კოჭის კედლის მდგრადობას.

მშენებლობაში აგრეთვე გამოიყენება კოჭები პერფორირებული კედლებით (ფიგ. 29 გ, დ), რომლებიც მიიღება ცხლადნაგლინი ორტესებრი პროფილის კოჭების ტეხილი ხაზით გაჭრით გრძივი მიმართულებით. შემდგომ, ორივე ნაწილს გადაადგილებენ ზიგზაგების პირდგმულად შეერთებამდე და ადულებენ. პროფილის სიგრძის, სიმაღლის და ტეხილი ხაზის ფორმიდან გამომდინარე, შეიძლება მიღებულ იქნას პერფორირებული კოჭის განსხვავებული ნახერცები და სხვადასხვა სიმაღლე. ყველაზე ოპტიმალური პროფილი შეიძლება მივიღოთ სიმაღლის გაზრდით $1.5 h$ -მდე.



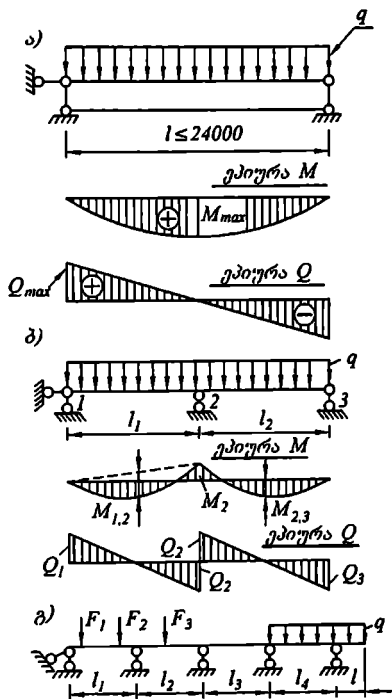
ფიგ. 29. კოჭების ტიპები

ა – მთლიანკედლიანი; ბ – პერფორირებული ნახერცებით; გ, დ – პერფორირებული, ნაგლინი პროფილის კედლის გაჭრითა და შედულებით; ე – წინასწარ დაძაბული საკოჭით

პერფორირებულ კოჭებს იგივე მასა აქვთ, რაც ნაგლინ პროფილებს, ამასთან, მათი მზიდუნარიანობა და სიმტკიცე მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე საწყისი პროფილისა. გამომდინარე აქედან, პერფორირებული კოჭები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მეტ მაღლებში და მეტი დატვირთვისას. ასეთი კოჭების გამოყენება უმჯობესია დიდი მაღლებისა და მცირე დატვირთვების დროს. ასეთ შემთხვევაში განივი ძალების გავლენა ძაბვებზე ვერტიკალურ

კედელში უმნიშვნელოა. პერფორირებული კოჭების გამოყენება იძლევა ფოლადის 20-30%-ით ეკონომიას. თუმცა, დამზადების უფრო მაღალი ღირებულების გათვალისწინებით, მათი გამოყენება უნდა იყოს ეკონომიკურად გამართლებული.

მაღის გადიდების ან კოჭზე საანგარიშო დატვირთვის გაზრდის შემთხვევაში რაციონალურია ფოლადის წინასწარ დაძაბული კოჭების გამოყენება (ფიგ. 29, ე), რომელშიც წინასწარ დაძაბული გეარლი განლაგებულია მაქსიმალური გაჭიმვის ზონაში.



ფიგ. 30. კოჭების სტატიკური სქემები

ა - ერთმალიანი ტრადი; ბ - ორმალიანი უჭრი; გ - მრავალმალიანი უჭრი

სტატიკური მუშაობის თვალსაზრისით კოჭები შეიძლება იყოს ერთმალიანი ტრადი, ორმალიანი და მრავალმალიანი უჭრი, კონსოლური და უკონსოლო (ფიგ. 30). მშენებლობაში უმეტესად გამოიყენება ერთმალიანი ტრადი კოჭები, როგორც ყველაზე მარტივი მონტაჟსა და ექსპლუატაციაში.

დამზადების შრომატევადობით უჭრი კოჭები ჩამორჩება ჭრად კოჭებს, თუმცა მასალის ხარჯისა და სიმტკიცის მიხედვით ისინი უფრო ეფექტურებია, რაც განაპირობებს მათ ფართო გამოყენებას მრავალსართულიან კარკასებში. ამასთან, განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტემპერატურული ზემოქმედების გათვალისწინებასა და საყრდენების ჯდომას, რადგანაც უჭრი კოჭები ძლიერ მგრძნობიარეა ასეთი ზემოქმედებისადმი.

კოჭის გენერალური ზომა ეწოდება მის საანგარიშო მალს l_g და კვეთის სიმაღლეს h (ფიგ. 31). კოჭის ნამდვილ ან კონსტრუქციულ ზომებს l ნიშნავენ საყრდენი ბაქნების ზომების გათვალისწინებით, რომლებიც დამოკიდებულია ბაქნის მასალის მზიდუნარიანობაზე. საყრდენ კეანძებს შორის მანძილი l_0 დამოკიდებულია ნაგებობების ექსპლუატაციის პირობებზე და ინიშნება დაპროექტების პროცესში. კოჭის სიმაღლის ოპტიმალური მნიშვნელობა დამოკიდებულია საანგარიშო მალზე, დატვირთვაზე, ფოლადის მარკაზე, კოჭის დანიშნულებასა და ა.შ., და მდებარეობს ზღვრებში $h/l_g = (1/10-1/15)$. კოჭის კვეთის სიმაღლის მინიმალური მნიშვნელობები, ესკიზური დაპროექტებისას, შეიძლება მიღებულ იქნას 21-ე ცხრილის მიხედვით, როდესაც $q_n/q_d = 1.2$ (სადაც q_n და q_d -გრძივი ნორმატიული და საანგარიშო დატვირთვებია).



ფიგ. 31. კოჭის გენერალური ზომები

კოჭების სისტემას, რომლითაც გადახურულია სხედასხეა დანიშნულების შენობები და ნაგებობები, კოჭოვანი გადახურვა ეწოდება. კოჭოვანი გადახურვა შეიცავს მთავარ კოჭებს, რომლებიც განლაგებულია ბიჯით $L=6-9$ მ, დამხმარე კოჭებს, რომლებიც ეყრდნობა მთავარ კოჭებს ბიჯით $b=1.5-3$ მ და ფენილს კოჭებს, რომლებსაც აპროექტებენ ბიჯით $a=0.5-1.2$ მ (ფიგ. 32). მთავარი, დამხმარე და ფენილის კოჭების ურთიერთგანლაგებიდან

გამომდინარე, განასხეავენ კოჭოვანი გადახურვის სამ ძირითად ტიპს: გამარტივებული, ნორმალური და გართულებული.

ცხრილი 21

კოჭების სიმაღლის მიხედვითი მნიშვნელობები

ზღვრული ჩაღუნვები მაღლის მიმართ	h_{min} მნიშვნელობები დროებითი წინაღობის R_{im} დროს, მპა					
	370	430	450	510	590	685
$[f/l_{ef}] = 1/250$	$l_{ef}/23.0$	$l_{ef}/18.7$	$l_{ef}/16.7$	$l_{ef}/14.3$	$l_{ef}/12.8$	$l_{ef}/11.0$
$[f/l_{ef}] = 1/400$	$l_{ef}/14.4$	$l_{ef}/11.7$	$l_{ef}/10.5$	$l_{ef}/8.9$	$l_{ef}/8.0$	$l_{ef}/6.9$
$[f/l_{ef}] = 1/600$	$l_{ef}/9.7$	$l_{ef}/7.8$	$l_{ef}/7.0$	$l_{ef}/6.0$	$l_{ef}/5.3$	$l_{ef}/4.6$

გამარტივებული ტიპის გადახურვა შედგება გადახურვის ფენილისაგან და ფენილის კოჭებისაგან, რომლებიც ჩვეულებრივ განლაგებულია გადახურვის მცირე გვერდის პარალელურად და ეყრდნობა კედლებს ან სხვა მზიდ კონსტრუქციებს (ფიგ. 32, ა).

ნორმალური ტიპის გადახურვა შედგება ურთიერთმართობულად განლაგებული კოჭებისა და ფენილისაგან. კოჭებს, რომლებიც განლაგებულია უჯრედის გრძელი გვერდის მიმართულებით, მთავარი კოჭები ეწოდება, ხოლო კოჭებს, რომლებზეც დალაგებულია ფენილი და ეყრდნობა მთავარ კოჭებს – დამხმარე კოჭებს უწოდებენ. მთავარი და დამხმარე კოჭების ურთიერთგანლაგებიდან გამომდინარე განასხეავენ ნორმალური ტიპის გადახურვის სამ სახეს: დამხმარე კოჭების ზედა განლაგებით (ფიგ. 32, ბ); დამხმარე და მთავარი კოჭების ერთ დონეზე განლაგებითა (ფიგ. 32, გ) და დამხმარე კოჭების დადაბლებული განლაგებით (ფიგ. 32, დ).



გართულებული ტიპის კოჭოვანი გადახურვა, მთავარი და დამხმარე კოჭების გარდა, დამატებით შედგება ფენილის კოჭებისაგან, რომლებიც განლაგებულია დამხმარე კოჭების მართობულად და უშუალოდ ეყრდნობა მათ (ფიგ. 32, ე).

კოჭოვანი გადახურვის შერჩევა დამოკიდებულია გადახურვის კონსტრუქციაზე (ლითონური ფენილი, რკინაბეტონის ფილები და სხვ.), ტექნოლოგიური დანადგარების, შეკიდული ჭერის და სხვა ფაქტორების არსებობაზე, ამიტომ კოჭოვანი გადახურვის ტიპი, ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის, განისაზღვრება ვარიანტული დაპროექტებით.

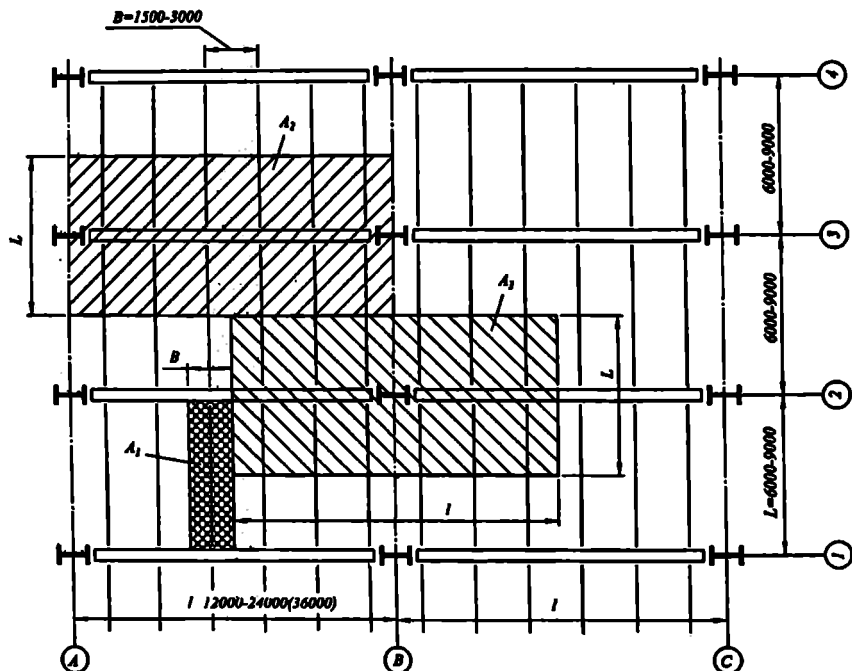
ყველაზე მარტივად ასაკები და მასალის ხარჯის მიხედვით ეკონომიურია კოჭოვანი გადახურვები დამხმარე კოჭების ზედა განლაგებით, მაგრამ მას გააჩნია უარყოფითი მხარეც – გადახურვის დიდი სამშენებლო სიმაღლე. გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის შეზღუდვის შემთხვევაში, ყველაზე მიზანშეწონილია კოჭოვანი გადახურვა დამხმარე და მთავარი კოჭების ერთ დონეზე განლაგებით. კოჭოვანი გადახურვები, დამხმარე კოჭების დადაბლებული განლაგებით და გართულებული სისტემით, უმეტესად გამოიყენება ტექნოლოგიური დანადგარების დაყრდნობის ან გადახურვის მცირეზომიანი ფილების შემთხვევაში.

3.2. ნაგლინი და შედგენილი შენადული კოჭების განივი კვეთის გაანგარიშება

უმეტეს შემთხვევაში კოჭოვან გადახურვაზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა, რომელიც გაანგარიშებისას დაიყვანება ხაზოვან დატვირთვად ფენილის, დამხმარე და მთავარ კოჭებზე, მათი სატვირთო ფართობებიდან (ფიგ. 33). კოჭების გაანგარიშება მიმდინარეობს იმავე თანამიმდევრობით, როგორითაც გადაეცემა დატვირთვა – ფენილის, დამხმარე და მთავარ კოჭებზე. კვეთის შერჩევას წინ უსწრებს კოჭების სტატიკური გაანგარიშება, რომლის შედეგადაც განისაზღვრება საანგარიშო მდუნავი M მომენტები და საანგარიშო განივი Q ძალები დამახასიათებელ კვეთებში.

კოჭების გაანგარიშებას ახორციელებენ ორი ზღვრული მდგომარეობის – მზიდუნარიანობის და ჩაღუნვების მიხედვით. ნაგლინი კოჭების (ორტესებრი, შეელერი და სხვა პროფილების) გაანგარიშებისას, სორტამენტის მიხედვით,

შეირჩევა საჭირო პროფილი, რომელიც შემოწმდება სიმტკიცეზე, სიხისტეზე და მდგრადობაზე.



ფიგ. 33. კოჭოვანი გადახურვის ელემენტებზე დატვირთვის განსაზღვრისათვის A_1 , A_2 , A_3 - დამხმარე კოჭის, მთავარი კოჭისა და სვეტის სატვირთო ფართობები

პროფილის შესარჩევად, საანგარიშო მდუნავე მომენტის მიხედვით, გამოითვლება კეეთის საჭირო წინაღობის მომენტი ფორმულით:

$$W_{n,min} = M/R_y \gamma_c, \quad (32)$$

ხოლო პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით განაგარიშებისას - ფორმულით:

$$W_{n,min} = M/c_1 R_y \gamma_c, \quad (33)$$

სადაც c_1 არის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

კვეთის საჭირო ინერციის მომენტი I , მაგალითად, I_{ef} მაღის მქონე ჭრადი ერთმალისანი კოჭისთვის, რომელიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ნორმატიული დატვირთვით q_n , შეიძლება გამოითვალოს კოჭის ფარდობითი ჩაღუნვის შემოწმების ფორმულიდან:

$$f/l_{ef} = 5q_n l_{ef}^3 / 384EI \leq [f/l_{ef}] \quad (34)$$

შემდეგი ფორმულით:

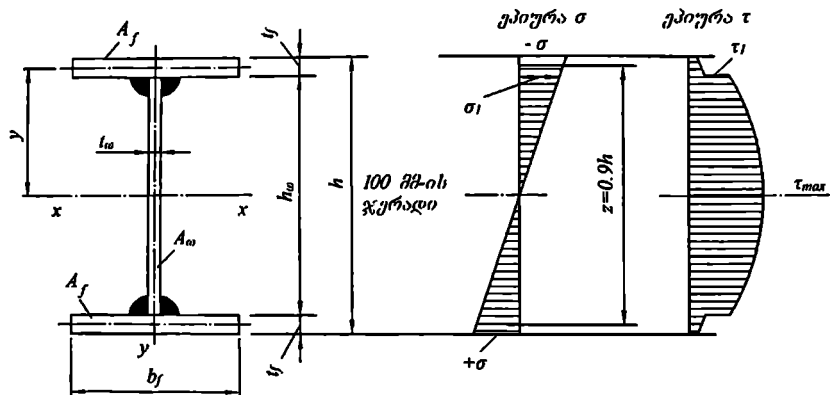
$$I_{min} \geq 5q_n l_{ef}^3 / 384 E \cdot [l_{ef}/f], \quad (35)$$

სადაც $[l_{ef}/f]$ არის ზღერული ფარდობითი ჩაღუნვის შებრუნებული სიდიდე, რომელიც აიღება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით (სართულშუა გადახურვის მთავარი კოჭისათვის $[l_{ef}/f] = 400$, დამხმარე კოჭისათვის $[l_{ef}/f] = 250$).

წინააღობის $W_{n,min}$ და ინერციის I_{min} მინიმალური მომენტების მიხედვით სორტამენტიდან შეირჩევა ორტესებრი ან შეეღერი W -სა და I -ს უახლესი დიდი მნიშვნელობებით. ამის შემდეგ შერჩეული კვეთი მოწმდება მაქსიმალური განივი Q_{max} ძალის ზემოქმედებაზე (13) ფორმულით. თუ განივ ძალაზე შემოწმება ვერ აკმაყოფილებს სიმტკიცის პირობებს, სორტამენტში შეირჩევა შემდეგი პროფილი და მეორდება შემოწმება. საბოლოოდ შეირჩევა პროფილი, რომლისთვისაც დაცული იქნება პირობა $\tau \leq R_{\tau}$.

შენადული ორტესებრი კოჭის კვეთი განისაზღვრება წინააღობის მინიმალური მომენტისა $W_{min}=M/R_{\tau}$ და, კედელსა A_w და თაროს A_f შორის კვეთის ფართობის ოპტიმალური განაწილების მიხედვით (კედლის მოქნილობაზე დამოკიდებულობით h_w/t_w). სიმეტრიული ორტესებრი კოჭის (ფიგ. 34) შემთხვევაში, კვეთის ფართობის ყველაზე ხელსაყრელი განაწილება მიიღება, როდესაც $h_w/t_w=100-150$ (ცხრილი 22).

რაც უფრო თხელია კედელი მით ეკონომიურია კოჭი. ეს აიხსნება იმით, რომ მღუნავი მომენტის 85% აითვისება თაროების მუშაობით და მხოლოდ 15% კედლით. კოჭში აღძრული განივი ძალა კი, თითქმის მთლიანად აითვისება კედლის მუშაობით.



ფიგ. 34. შედგენილი შენადული კოჭის გაანგარიშებისთვის

ცხრილი 22

h_w -სა და t_w -ს პრაქტიკული თანახმარღობები

H_w , მ	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2
T_w , მმ	8-6	10-8	10-9	12-10	14-12	14

შენადული კოჭის სიმაღლის შერჩევისას, როგორც წესი, განიხილავენ სამ სიდიდეს: ოპტიმალურ სიმაღლეს h_{opt} , რომლის დროსაც კოჭის მასა მინიმალურია; მინიმალურ სიმაღლეს h_{min} , რომლის დროსაც კვეთი აკმაყოფილებს სიხისტის პირობას და მაქსიმალურ სიმაღლეს h_{max} , რომელიც შესაძლებელია გადახურვის მოცემული სამშენებლო სიმაღლის ფარგლებში. პირველი მიხედვით კვეთის ოპტიმალური სიმაღლე შეიძლება განისაზღვროს გამარტივებული ფორმულით:

$$h_{opt} \approx 6 \sqrt[3]{M/R_y \gamma_c}, \quad (36)$$

ხოლო კვეთის სიმაღლის მინიმალური h_{min} მნიშვნელობა ზღერული ჩალუნვის პირობიდან გამომდინარე – 21-ე ცხრილის მიხედვით. ამასთან, შემდგომი გაანგარიშებისას რეკომენდებული არ არის კოჭის სიმაღლის h_{min} -ზე ნაკლების (მასალის გაზრდილი ხარჯის გამო) და h_{max} -ზე მეტის (არქიტექტურულ-კონსტრუქციული მოსაზრებიდან გამომდინარე) მიღება. 22-ე ცხრილის მიხედვით, მიღებულ სიმაღლეზე დამოკიდებულებით კოჭის კედლის

სისქის t_w დანიშვნის შემდეგ, ოპტიმალური სიმაღლის h_{opt} მნიშვნელობა ზუსტდება ფორმულით:

$$h_{opt} = 1.15 \sqrt{M/R_y \gamma_c t_w}. \quad (37)$$

შემდეგ, მაქსიმალური განივი ძალის მქონე კვეთში, უდიდესი მხეხი ძაბვების პირობიდან გამომდინარე, განისაზღვრება კოჭის კედლის აუცილებელი სისქე ფორმულით:

$$h_{w,min} = 3Q/2h_{opt}R_s. \quad (38)$$

ამის შემდეგ, იმის გათვალისწინებით, რომ ორი თაროს სისქე საორიენტაციოდ ტოლია $4t_w$ -სი, ინიშნება კოჭის კედლის h_w სიმაღლე და კედლის t_w სისქე.

საანგარიშო მღუნავი მომენტის ათვისების აუცილებლობიდან გამომდინარე, კოჭის ერთი სარტყელის მინიმალურად აუცილებელი კვეთის ფართობი გაისაზღვრება ფორმულით:

$$A_f = 3M/4R_y \gamma_c h. \quad (39)$$

სარტყელის სიგანე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$b_f = A_f/2t_w. \quad (40)$$

ამასთან, გათვალისწინებული უნდა იქნეს კოჭის ($b_f \geq 180\text{მმ}$) მოხერხებულად ჩამაგრებისა და საერთო მდგრადობის უზრუნველყოფის კონსტრუქციული მოთხოვნები:

$$b_f \geq (1/3 - 1/5)h, \quad (41)$$

აგრეთვე, დენადობის ზღვრის მიხედვით $R_y=210$ მპა საანგარიშო წინაღობის მქონე ფოლადის სარტყელის გამოშვებული ნაწილის ადგილობრივი მდგრადობის უზრუნველყოფის მოთხოვნები

$$b_f \leq 30t_f, \quad (42)$$

სხვა მარკების მცირედ ლეგირებული ფოლადებისთვის

$$b_f \leq 30t_f \sqrt{210/R_y}. \quad (43)$$

შენადული კოჭის კვეთის შერჩევის შემდეგ განისაზღვრება კვეთის ფაქტიური ინერციის მომენტი I , წინაღობის მომენტი W და სტატიკური მომენტი S ფორმულებით:

$$I = (t_w h_w^3 / 12) + 2y A_f, \quad (44)$$

$$W = 2I/h, \quad (45)$$

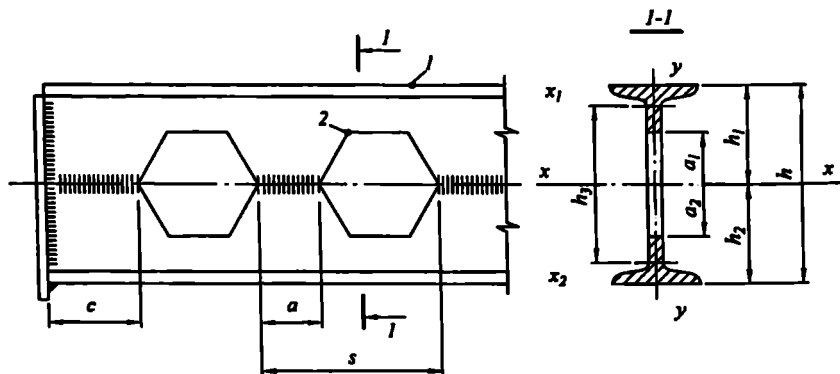
$$S = A_f y + (A_w / 2)(h_w / 4). \quad (46)$$

შემდეგ მოწმდება შერჩეული კვეთის სიმტკიცე და სიხისტე (12), (13) და (14) ფორმულებით.

პერფორირებული კოჭების (ფიგ. 35) სტატიკური გაანგარიშება წარმოებს უირიბანო წამწეების გაანგარიშების ანალოგიურად. საანგარიშო კვეთებში წარმოიქმნება მღუნავი M მომენტი გარე დატვირთვებისგან, აგრეთვე ადგილობრივი მღუნავი მომენტები განივი Q ძალის მოქმედებისგან. ღუნვის $x-x$ ღერძის მიმართ სიმეტრიულ კოჭში მოწმდება ნორმალური ძაბვები ორ დამახასიათებელ წერტილში (1 და 2) შემდეგი ფორმულებით:

$$(M h_1 / I_x) + (Q_1 a / 2W_{1,msx}) \leq R_{y1} \gamma_c, \quad (47)$$

$$(M d_1 / I_x) + (Q_1 a / 2W_{1,min}) \leq R_{u1} \gamma_c / \gamma_u, \quad (48)$$



ფიგ. 35. პერფორირებულ კედლიანი კოჭის გაანგარიშებისთვის

აგრეთვე, მხები ძაბვები ფორმულით

$$Q_2 s / t a h_2 \leq R_s \gamma_c, \quad (49)$$

სადაც M არის მღუნავი მომენტი კოჭის კვეთში; $Q_1 = Q/2$ - განივი ძალა, რომელიც მოქმედებს ერთ ტესებრ კვეთში; Q - განივი ძალა კოჭის კვეთში; Q_2 - განივი ძალა კოჭის კვეთში საყრდენიდან $(c+s-0.5a)$ მანძილზე (ფიგ. 35);

$W_{1,max}$ და $W_{1,min}$ – უდიდესი და უმცირესი წინააღობის მომენტები ტესტერ კეეთში; I_x – კოჭის კეეთის (ნახევრეტებით) ინერციის მომენტი.

3.3. ზოლადის კოჭების მდგრადობის ცნება.

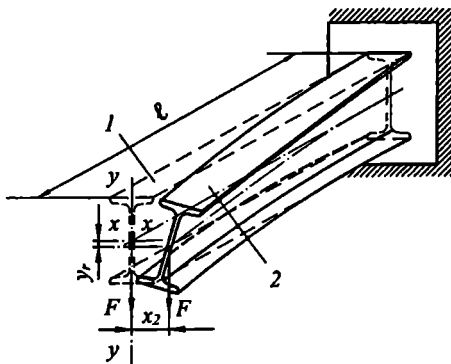
სიხისტის წიბოების კონსტრუქცია

მოვლენას, რომლის დროსაც კოჭი კარგავს მდგრადობას და ღუნვის შემთხვევაში იცვლის ფორმას, კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა ეწოდება. ამ მდგომარეობაში ხდება კოჭის გრეხა, სარტყელების გადახრა გეგმაში (ფიგ. 36). საერთო მდგრადობის დაკარგვისას კოჭში წარმოიქმნება რთული დაძაბული მდგომარეობა, რომელიც დაკავშირებულია ღუნვასთან პორიზონტალურ $x-x$ და ვერტიკალურ $y-y$ სიბრტყეებში, და გრეხასთან კოჭის გრძივი ღერძის ირგვლივ.

ორტესებრი კეეთის მქონე კოჭის (რომელიც განიცდის ღუნვას კედლის სიბრტყეში) საერთო მდგრადობაზე გაანგარიშება ხორციელდება ფორმულით:

$$M/\varphi_b W_c \leq R_y \gamma_c, \quad (50)$$

სადაც W_c არის კოჭის შეკუმშული სარტყელის წინააღობის მომენტი; φ_b – კოჭის საერთო მდგრადობის კეფიციენტი.

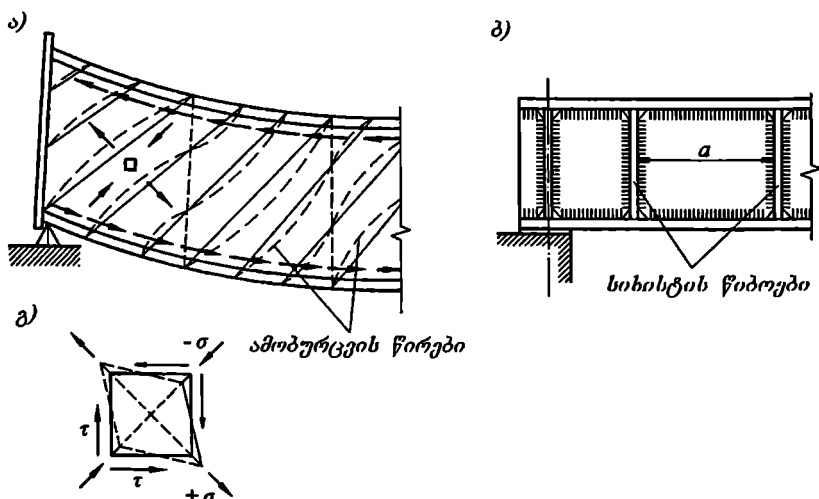


ფიგ. 36. კონსოლური კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვის ფორმა

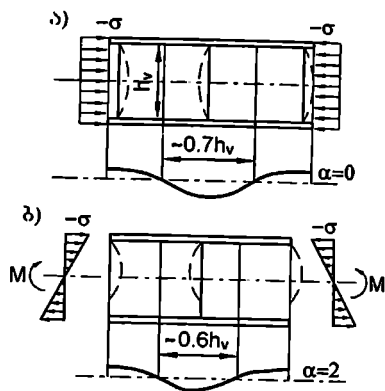
1 – კოჭის თავდაპირველი მდგომარეობა; 2 – ფორმის ცვლილება მდგრადობის დაკარგვის შემთხვევაში

კოჭის კედლის სიბრტყეში ღუნვისას, საერთო მდგრადობის დაკარგვა დამოკიდებულია კოჭის საანგარიშო სიგრძის $l_{\text{ფ}}$ ფარდობაზე თაროს სიგანესთან b_f . მიახლოებით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ როდესაც $l_{\text{ფ}} / b_f \leq 13$, მაშინ კოჭი საერთო მდგრადობაზე შეიძლება არ შემოწმდეს. კოჭი ასევე არ კარგავს საერთო მდგრადობას იმ შემთხვევაშიც, როდესაც მასზე დატვირთვა გადაეცემა კოჭის შეკუმშულ სარტყელზე შედუღებით ან ჭანჭიკებით მიმაგრებული რკინაბეტონის ფილების ან დაპროფილებული ფენილის მეშვეობით.

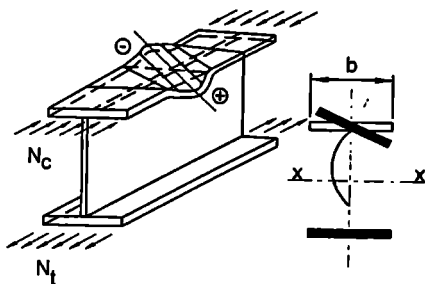
კოჭებში საერთო მდგრადობის დაკარგვასთან ერთად შეიძლება მოხდეს კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა მხები ძაბვების მოქმედების გამო (უპირატესად საყრდენებთან ახლოს) (ფიგ. 37), კედლის და სარტყელის მდგრადობის დაკარგვა ნორმალური ძაბვების მოქმედებისგან და ნორმალური და მხები ძაბვების ერთდროული მოქმედებისაგან, აგრეთვე კოჭის შეკუმშული სარტყელის მდგრადობის დაკარგვა ნორმალური ძაბვების მოქმედებისაგან (ფიგ. 38, ფიგ. 39).



ფიგ. 37. მხები ძაბვების მოქმედებისგან კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვის ფორმა



ფიგ. 38. ნორმალური ძაბვების მოქმედებისგან კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვის ფორმები



ფიგ. 39. ნორმალური ძაბვების მოქმედებისგან კოჭის შეკუმშული სარტყელის და კედლის მდგრადობის დაკარგვის ფორმა

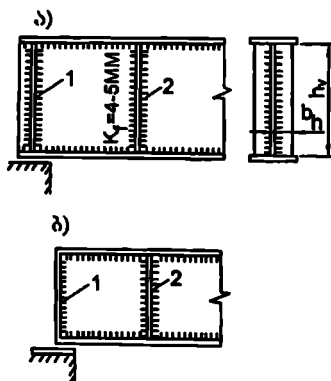
საყრდენთან ახლოს კოჭის კედელმა შეიძლება დაკარგოს მდგრადობა (ფიგ. 37. ა) ამოიბურცოს კუმშვის გაეღენით და წარმოიქმნას კოჭის გრძივი ღერძის მიმართ 45° კუთხით დახრილი ტალღები. ამობურცვის თავიდან ასაცილებლად ეწყობა განივი, სიხისტის ვერტიკალური წიბოები (ფიგ. 37, გ), რომლებიც კვეთენ შესაძლო ამობურცვის ტალღებს. წიბოების ბიჯი დამოკიდებულია კედლის მოქნილობაზე, სარტყელების კედელთან მისადუღებელი ცალმხრივი ან ორმხრივი ნაკერების არსებობასა და სხვა ფაქტორებზე.

პირველი მიახლოებით, განივ ძირითად სიხისტის წიბოებს შორის მანძილი, კედლის მოქნილობასთან დამოკიდებულებით, შეიძლება მივიღოთ – $a_{max} \leq 2h_{ef}$, როდესაც $\bar{\lambda}_w > 3.2$ და $2.5 h_{ef}$, როდესაც $\bar{\lambda}_w \leq 3.2$, სადაც $\bar{\lambda}_w$ არის კედლის პირობითი მოქნილობა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

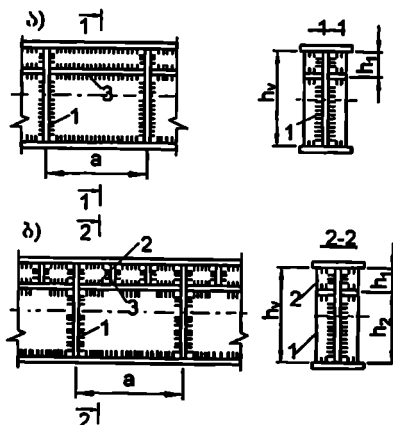
$$\bar{\lambda}_w = (h_{ef}/t_w)\sqrt{R_y/E}. \quad (51)$$

განივი წიბოს გამოშვერილი ნაწილის სიგანე b_h , წყვილი სიმეტრიული წიბოების არსებობის შემთხვევაში, უნდა იყოს არანაკლები $h_{ef}/30+40$ მმ, ხოლო მხოლოდ ცალმხრივი წიბოს დროს – არანაკლები $h_{ef}/24+50$ მმ, ამასთან, წიბოს სისქე უნდა იყოს არანაკლები $2b_h\sqrt{R_y/E}$ (ფიგ. 40).

ცალმხრივი განივი სიხისტის წიბოები შეიძლება შესრულებული იქნეს კოჭის კედელზე ფრთით მიდუღებული ერთეული კუთხედისაგან.



ფიგ. 40. სიხისტის განივი წიბოების კონსტრუქციები შენადულ კოჭებში
1 - საყრდენი წიბო; 2 - სიხისტის წიბო



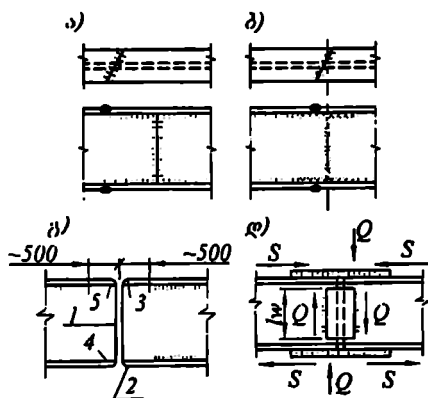
ფიგ. 41. განივი ბირითადი წიბოებით და დამატებითი გრძივი წიბოთი გაძლიერებული კოჭები
1 - ბირითადი განივი წიბო; 2 - მოკლე განივი წიბო; 3 - დამატებითი გრძივი წიბო

მაღალ თხელკედლიან კოჭებში გეომეტრიული ზომების ფარდობით $h_{ef}/t_w > 160\sqrt{E/R_y}$, ბირითად განივ წიბოებთან ერთად კედლის შეკუმშულ ზონაში ეწყობა პორიზონტალური გრძივი წიბოები (ფიგ. 41, ა), ხოლო ბირითად განივ წიბოებს შორის კოჭის თაროებზე დიდი შეყურსული ტვირთების განლაგების შემთხვევაში, შეკუმშული ზონა დამატებით ძლიერდება შუალედური მოკლე წიბოებით (ფიგ. 41, ბ). გრძივი და დამატებითი მოკლე განივი წიბოებით კოჭის კედლის გამაგრებისას, კონსტრუქციულად ისინი მიყვანილ უნდა იქნეს შესაბამის ბირითად განივ და გრძივ წიბოებთან, და კოჭის თაროებთან. რეალური დაპროექტებისას, წიბოებს შორის კედლის ნაკვეთურები გაანგარიშდება მდგრადობაზე წარმოქმნილი დაძაბული მდგომარეობის გათვალისწინებით.

3.4. ნაბლინი და შედგენილი კოჭის პირაპირები.

კოჭის ჩამაბრების კვანძები

კოჭის პირაპირები შეიძლება იყოს ქარხნული, რომელიც კეთდება ქარხანაში ელემენტების სიგრძის გაზრდის მიზნით, რომლებიც შედიან ცალკეულ გასაგზავნ ელემენტში, და სამონტაჟო, რომელიც კეთდება სამშენებლო მოედანზე; მათი დანიშნულებაა ცალკეული გასაგზავნი ელემენტების შეუღლება მუშა კონსტრუქციად (ფიგ. 42). სამონტაჟო პირაპირების რაოდენობა და მათი განლაგება პროექტდება ტრანსპორტირების პირობებიდან გამომდინარე. სამონტაჟო პირაპირები მნიშვნელოვნად ძვირია ქარხნულზე, ვინაიდან ისინი საჭიროებს დამატებით მასალას პირაპირების შესადგენისათვის და სამონტაჟო ჭანჭიკებს, ამიტომ მათი რაოდენობა უნდა იყოს მინიმალური.



ფიგ. 42. კოჭის პირაპირები

ა - ქარხნული ხტულად თაროებსა და კედელზე; ბ, გ - სამონტაჟო შეთავსებული (ცოფრებით ნაჩვენებია პირაპირის შედუღების თანმიმდევრობა); დ - პირაპირი ზესადებების გამოყენებით

ყველაზე მარტივია პირაპირი, როდესაც ხორციელდება სარტყელებისა და კედლის ერთ კვეთში შეპირაპირება. თუმცა, ასეთი პირაპირი მაქსიმალური მღუნავი მომენტის მოქმედების ზონაში ვერ უზრუნველყოფს პირაპირისა და ძირითადი ლითონის თანაბარ სიმტკიცეს. ამის გამო, ყველაზე დაძაბულ ზონებში აწყობენ ხტულ ნაკერს - თაროებში კეთდება ირიბი პირაპირული

ნაკერი, რომელიც უზრუნველყოფს შეერთების მაღალ საიმედოობას (ფიგ. 42, ა, ბ). შედუღების დროს, ჯდომის დეფორმაციების გავლენის შესამცირებლად, პირაპირულ ნაკერს აკეთებენ ფიგ. 42, გ-ზე ციფრებით ნაჩვენები თანამიმდევრობით. პირაპირული ნაკერის შედუღების შემდეგ, მის ორივე მხარეს, 500 მმ-ის დაშორებით, თაროებს ადუღებენ კედელთან.

მნიშვნელოვანი მომენტებისა და განივი ძალების მოქმედებისას, ნაგლის და შედგენილ კოჭებში პირაპირის საიმედოობის გაზრდა შეიძლება მიღწეულ იქნეს ზედა და ქვედა თაროებზე პორიზონტალური და კოჭის კედელზე ორმხრივი ვერტიკალური ზესადებების გამოყენებით (ფიგ. 42, დ). ასეთ შემთხვევაში, ზესადების კვეთი და ზესადების თაროსთან მისამაგრებელი ფლანგური შენადული ნაკერები გაანგარიშდება Δ ძალის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$S = (M_b - M_w)/z, \quad (52)$$

სადაც M_b არის მთლიანი საანგარიშო მღუნავი მომენტი კოჭის პირაპირში; $M_w = M_b(I_w/I_b) -$ კოჭის კედელში მოქმედი მღუნავი მომენტიც; I_w და I_b კედლის და კოჭის მთლიანი კვეთის ინერციის მომენტები; $z -$ ზედა და ქვედა თაროების ცენტრებს შორის მანძილი.

ზესადების კოჭის კედელთან მისამაგრებელ ნაკერებს საზღვრავენ შესაბამისად ნაკერის ლითონის და შედნობის საზღვრის ლითონის მიხედვით ფორმულებით:

$$\tau_f = Q/2k_f l_w \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c, \quad (53)$$

$$\tau_z = Q/2k_f l_w \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c. \quad (54)$$

კოჭები ეყრდნობა სვეტებს ზემოდან ან უერთდება გვერდიდან. ერთსართულიან სამრეწველო და სამოქალაქო შენობებში უპირატესად გამოიყენება პირველი შემთხვევა, რომლის ვარიანტებიც სვეტის კონსტრუქციული გადაწყვეტიდან გამომდინარე ნაჩვენებია ფიგ. 43-ზე.

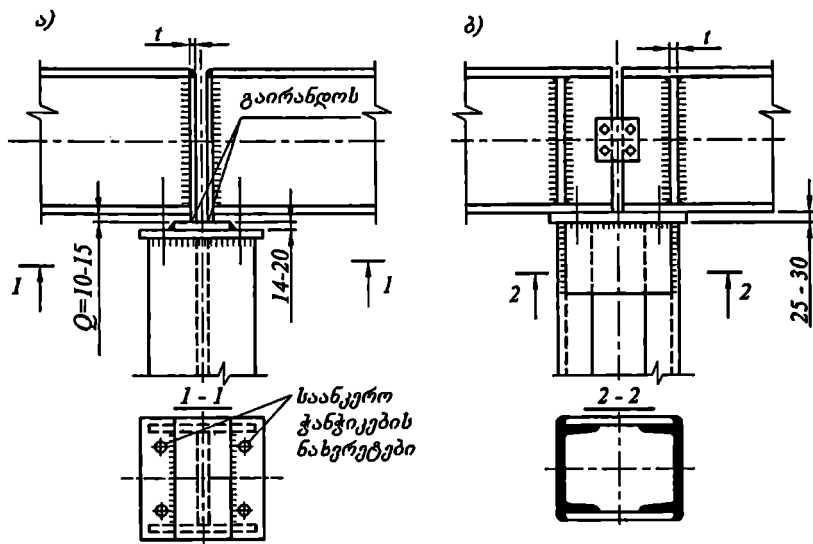
პირველ ვარიანტში (ფიგ. 43, ა) კოჭი სვეტზე ეყრდნობა ვერტიკალური საყრდენი სიხისტის წიბოთი, რომელიც ჩამოშეერილია ქვედა თაროდან 10-15 მმ-ით. თელვის საჭირო ფართობის უზრუნველსაყოფად, სიხისტის საყრდენი წიბოების ტორსები უნდა გაიარანდოს. ორშტოიან სვეტზე კოჭების დაყრდნობის შემთხვევაში (ფიგ. 43, ბ) საყრდენი სიხისტის წიბოები

დაშორებულია კოჭის ტორსიდან და ემთხვევა სვეტის შტოების კედლების სიბრტყეებს. ამ შემთხვევაში აუცილებელია საყრდენი სიხისტის წიბოების მორგება და მიდუღება არა მარტო კოჭის კედელზე, არამედ მის თაროებზეც.

დაყრდნობის ასეთ ვარიანტებში საყრდენი რეაქცია გადაეცემა პირობით დგარს, რომელიც შედგება სიხისტის წიბოების კვეთისა და წიბოს ორივე მხრიდან $0.65t\sqrt{E/R_y}$ სიგანის კედლის ზოლისაგან:

$$N \leq (b_h t_s + 0.65t\sqrt{E/R_y})R_p, \text{ როცა } a \leq 1.5t, \quad (55)$$

$$N \leq (b_h t_s + 0.65t\sqrt{E/R_y})R_y, \text{ როცა } a > 1.5t. \quad (56)$$



ფიგ. 43. კოჭების დაყრდნობის ვარიანტები სვეტების სათავეზე

სვეტებზე კოჭების გვერდიდან მიერთების შემთხვევაში განასხვავებენ შეუღლების კვანძის სახსრულ და ხისტ გადაწყვეტას. სახსრული დაყრდნობისას ჩამაგრება არ ეწინააღმდეგება საყრდენ კვანძში კოჭის თავისუფალ მობრუნებას, რაც განსაზღვრავს კოჭის მუშაობას ერთმალისანი ტრადი სისტემის სახით (ფიგ. 44).

დანიშნულების მიხედვით კოჭი შეიძლება მიერთდეს ან სვეტის თაროზე (ფიგ. 44, ა, დ, ე), ან სვეტის კედელზე (ფიგ. 44, ბ, გ). კოჭის საყრდენი

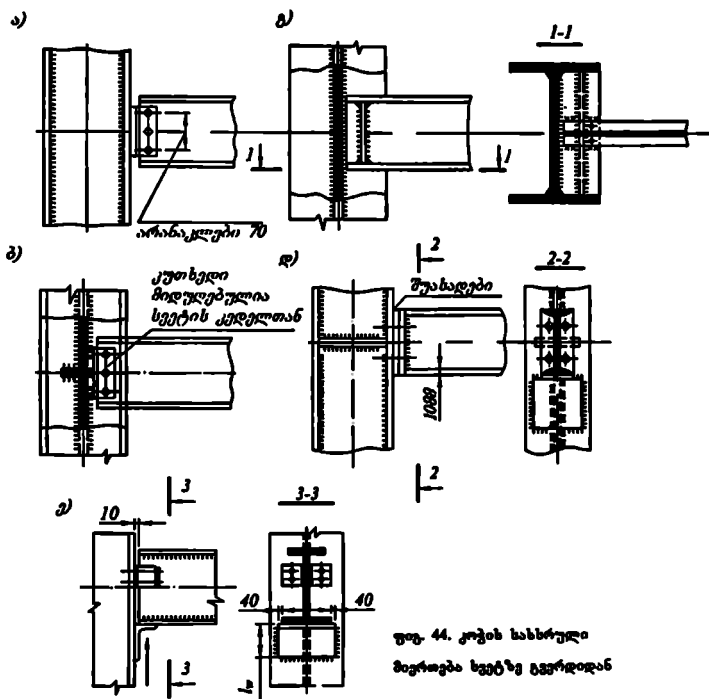
რეაქციის გადაცემა სვეტზე ხორციელდება ჭანჭიკური მილტუჩა შეერთების მეშვეობით (ფიგ. 44, ა, ბ) ან, სვეტის თაროებზე ან კედელზე მიდუღებული, ბრტყელი ფირფიტის ან არათანაბართაროიანი კუთხედის ფორმის საყრდენი მაგიდის დახმარებით (ფიგ. 44, გ, დ, ე). სამუშაოთა მოხერხებულად წარმოებისათვის, უპირატესობა ენიჭება საყრდენი რეაქციის გადაცემას საყრდენი მაგიდის მეშვეობით. საყრდენი მაგიდის სვეტზე მისამარებელი შენადული ნაკერების გაანგარიშება წარმოებს (53) და (54) ფორმულებით.

სვეტებზე კოჭებს ხისტად აერთებენ ჩარჩოვანი კარკასის დაპროექტების შემთხვევაში ან მაშინ, როდესაც გადახურვის კოჭი კარკასის ვერტიკალურ კავშირებში ასრულებს გამბჯენი კოჭის ფუნქციასაც (ფიგ. 45). ხისტი ჩამაგრების შემთხვევაში, კოჭის ზედა და ქვედა თაროები ჰორიზონტალური თამასების (ფიგ. 45, ა) ან ვერტიკალური კავშირების საკეანძო ფურცლების (ფიგ. 45, ბ) მეშვეობით ხისტად მაგრდება სვეტებზე, რაც წინააღმდეგობას უწევს კოჭის მობრუნებას საყრდენ კეანძში.

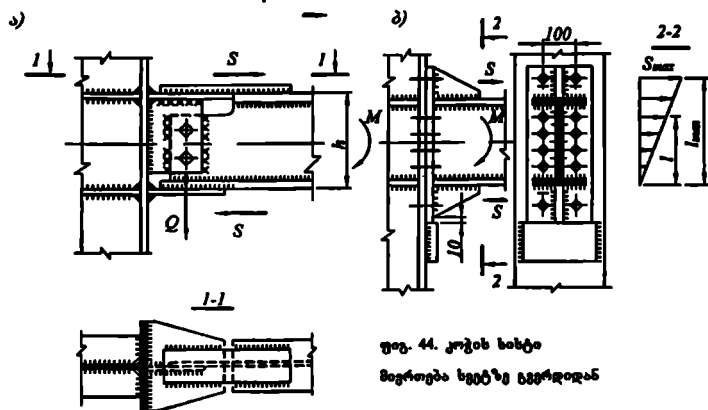
საკეანძო თამასები და ფურცლები იღებენ საყრდენ კეანძში მღუნავი მომენტის მოქმედებისგან წარმოქმნილი $S = M/h$ ძალის ჰორიზონტალურ მდგენელებს. კოჭის ხისტად ჩამაგრების შემთხვევაში, საყრდენი რეაქცია სვეტს გადაეცემა სახსრული ჩამაგრებისას საყრდენი რეაქციის სვეტზე გადაცემის ანალოგიურად. სახსრულთან შედარებით, ხისტი კეანძის მოწყობა უფრო შრომატევადია, თუმცა 30%-ით მცირდება ლითონის ხარჯი კოჭზე.

კოჭების ურთიერთშეუღლების კეანძები ასევე შეიძლება იყოს სახსრული და ხისტი (ფიგ. 46). სამუშაოთა წარმოების სიმარტივის მხრივ უპირატესობა ენიჭება სახსრულ კეანძებს.

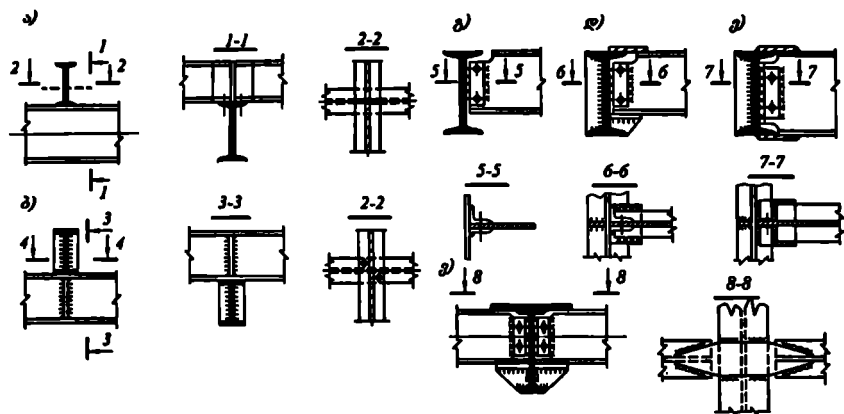
დამხმარე კოჭების მთავარ კოჭებთან ცალმხრივი შეუღლების შემთხვევაში (ფიგ. 46, ა-გ), დამხმარე კოჭების ღუნვის შედეგად წარმოიქმნება მთავარი კოჭების გრესა, რაც უკიდურესად არასასურველია. ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად, დამხმარე კოჭის საწინააღმდეგო მხარეს აწყობენ სიხისტის წიბოს, ხოლო დამხმარე კოჭის ქვეშ, მთავარი და დამხმარე კოჭების კედელზე და თაროებზე შედუღდება საკეანძო ფურცელი (ფიგ. 46, დ, ე).



ფიგ. 44. კოპის ხახსრული
მიერთება სვეტზე გვერდიდან



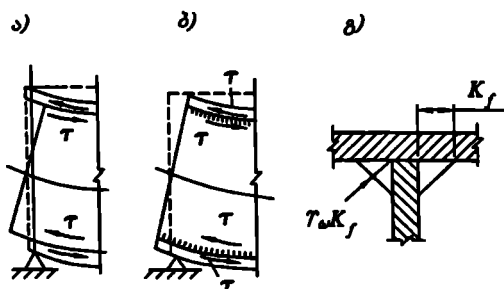
ფიგ. 44. კოპის ხახტი
მიერთება სვეტზე გვერდიდან



ფიგ. 46. კოჭების კვანძები
ა-გ - სახსრული; დ-ე - ხისტი.

კოჭების ხისტად ურთიერთშეუღლებას, როგორც წესი, აკეთებენ მთავარ კოჭთან დამხმარე კოჭების ორმხრივი მიერთების შემთხვევაში (ფიგ. 46, ე). კონსტრუქციულად ასეთი შეუღლება კეთდება სვეტთან კოჭის შეუღლების ხისტი კვანძის ანალოგიურად.

შენადულ კოჭებში სარტყელების კედელთან შეუღლება ხორციელდება უწყვეტი კუთხური ნაკერებით. ნაკერები ეწინააღმდეგება სარტყელისა და კედლის ურთიერთძვრას, რის შედეგადაც მათში აღიძვრება მხები ძაბვები, რომელიც წარმოადგენს განივი ძალის ზემოქმედების ფუნქციას (ფიგ. 47). უდიდესი მნიშვნელობის მხები ძაბვები წარმოიქმნებიან საყრდენთან ახლოს.



ფიგ. 47. კოჭის სარტყელების კედელთან შეერთების გასაანგარიშებლად
ა - ძვრა ღუნვის დროს; ბ - შენადული ნაკერზე მოქმედი მხები ძაბვები; გ - კვეთი
თაროსა და კედლის პირაპირზე

თაროს კედელთან მისამაგრებელი შენადული ნაკერის სისქეს საზღვრავენ ნაკერის ლითონისა და შედნობის საზღვრის ლითონის მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე, ფორმულებით:

$$k_{ff} = QS_m/2I_b R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c, \quad (57)$$

$$k_{fz} = QS_m/2I_b R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (58)$$

სადაც S_m არის კოჭის ნეიტრალური ღერძის მიმართ თაროს სტატიკური მომენტი; I_b – ნეიტრალური ღერძის მიმართ კოჭის მთლიანი კვეთის ინერციის მომენტი.

ალუმინის შენადნობის დაწნეხილი და შენადული კოჭების გაანგარიშება და კონსტრუირება ხორციელდება ფოლადის კოჭების ანალოგიურად. თუმცა, ალუმინის შენადნობების კოჭების დიდი დეფორმადობის გათვალისწინებით, მათი მინიმალური სიმაღლე მეტი უნდა იყოს ვიდრე ფოლადის კოჭებისა, ამიტომ h_{min} და h_{opt} მნიშვნელობები ალუმინის შენადნობის კოჭებისათვის განისაზღვრება ფორმულებით:

$$h_{min} = (R_y I_{ef} / 3.4 \cdot 10^4 \gamma_c) [f/l], \quad (59)$$

$$h_{opt} = 1.6 \sqrt{W/t}. \quad (60)$$

ალუმინის შენადნობის კოჭების კონსტრუირებისას საჭიროა მიღებული იქნას $h \leq 5b$.

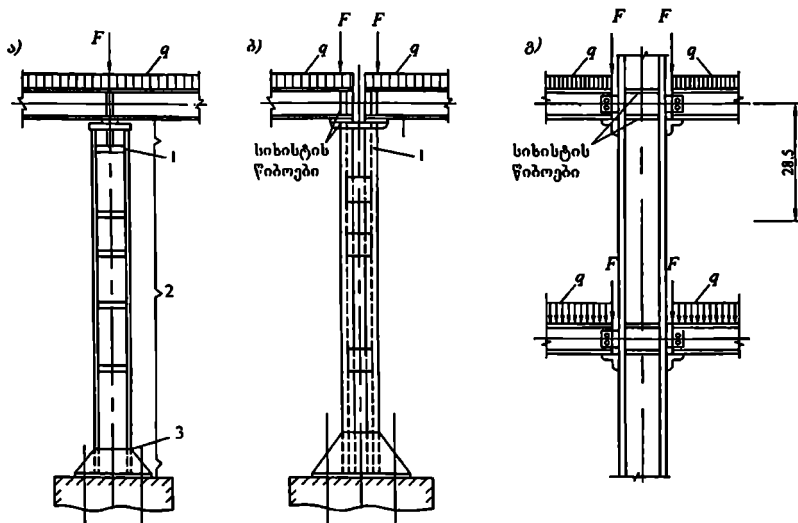
ალუმინის შენადნობის კოჭის საერთო მდგრადობის შემოწმებისას, Φ კოეფიციენტის მნიშვნელობა აღებული უნდა იქნას სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

თავი 4. სვეტები

4.1. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები

სვეტების დანიშნულებაა კოჭოვანი გადახურვიდან, გადახურვის წამწიდან, სამუშაო ბაქნიდან და სხვა კონსტრუქციებიდან დატვირთვის გადაცემა ქვემოთ მდებარე კონსტრუქციაზე ან საძირკველზე. ცენტრალურად შეკუმშულ სვეტში ტოლქმედი მოდებულია სვეტის ღერძის გასწვრივ და

იწევს საანგარიშო განივი კვეთის ცენტრალურ კუმშვას. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტი, ისევე როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტი, შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან: სათავის, ღეროსა და ბაზასაგან (ფიგ. 48). ცენტრალურად შეკუმშული სვეტი გამოიყენება ერთსართულიან (ფიგ. 48, ა, ბ) და მრავალსართულიან (ფიგ. 48, გ) სამოქალაქო და სამრეწველო შენობებში, როდესაც პორიზონტალური ძალები აითვისება ვერტიკალური კაეშირის სისტემით.

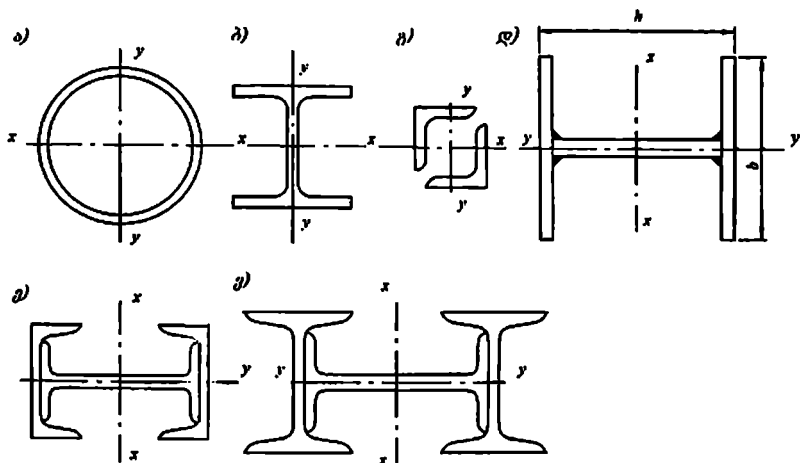


ფიგ. 48. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები

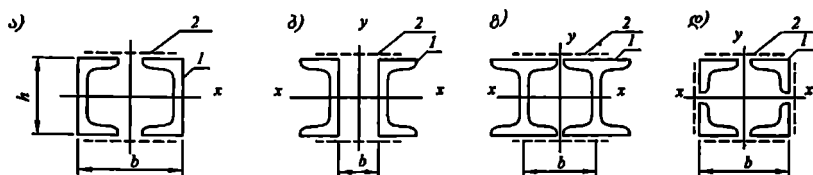
ა - მთლიანკედლიანი; ბ - გამჭოლკედლიანი; გ - მთლიანკედლიანი მრავალსართულიან შენობაში; 1 - სათავე; 2 - ღერო; 3 - ბაზა

კვეთის მიხედვით არჩევენ მთლიანკედლიან სვეტებს, რომლებიც შედგება ნაგლინი ორტესებრი, მიღოვანი ან სხედასხვა ღია პროფილის კომბინაციებისაგან (ფიგ. 49), და გამჭოლ სვეტებს, რომლებიც შედგება ერთმანეთთან თამასებით ან, კუთხედებით ან შეელერებით შედგენილი გისოსებით შეერთებული ორი ან ოთხი შტოსაგან (ფიგ. 50). შტოების თამასებით შეერთება გამოიყენება მაშინ, როდესაც შტოების ღერძებს შორის მანძილი არ აღემატება 500-600 მმ-ს. მეტი დაშორების შემთხვევაში თამასები

გამოდის მძიმე, ამის გამო მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს ცალკეული კუთხედებით შედგენილი გისოსი.



ფიგ. 49. ცენტრალურად შეკუმშული მთლიანკედლიანი სვეტების კვეთის ტიპები



ფიგ. 50. ცენტრალურად შეკუმშული გამჭოლკედლიანი სვეტების კვეთის ტიპები

1 - კვეთი; 2 - გისოსი.

მხოლოდ ბოლოებით დამაგრებული ცენტრალურად შეკუმშული სვეტების დაბროექტებისას ცდილობენ უზრუნველყოფილი იქნეს მათი თანაბარი მდგრადობა კვეთის ინერციის მთავარი $x-x$ და $y-y$ ღერძების მიმართ. აქედან გამომდინარე, შედარებით დაბალი სვეტებისთვის კვეთების ყველაზე რაციონალური ფორმებია: ფართოთარობიანი ორტესებრი, მილი და სამი ფურცლისაგან შედგენილი შენადული ორტესებრი კვეთი. დიდი სიგრძისა და მცირე დატვირთვების შემთხვევაში, მასალის ხარჯის მიხედვით, გამჭოლი სვეტები უფრო ეფექტურია, ვიდრე მთლიანკედლიანი, მაგრამ გაძნელებულია შესაუღლებელი კოჭების დამაგრება.

ცენტრალურად შეკუმშული სვეტის გაანგარიშება იწყება საანგარიშო გრძივი ძალის განსაზღვრით

$$N = A_3 F_{tot}, \quad (61)$$

სადაც, F_{tot} არის 1 მ² სატვირთო ფართობზე დაყვანილი ყველა მუდმივი და დროებითი დატვირთვების ჯამური ინტენსიურობა; A_3 – სვეტის სატვირთო ფართობი.

სვეტის კვეთის საჭირო ფართობი შეიძლება განისაზღვროს ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობიდან გამომდინარე, ფორმულით:

$$A_{cal} = N / \varphi R_y \gamma_c. \quad (62)$$

წინასწარი გაანგარიშებისათვის გრძივი ღუნების φ კოეფიციენტს იღებენ: ფოლადის სვეტებისათვის $\varphi=0.75-0.85$, ალუმინის სვეტებისათვის $\varphi=0.6-0.75$. A_{cal} -ის მნიშვნელობის მიხედვით, ნაგლინი პროფილების სორტამენტიდან ირჩევენ მთლიანკედლიანი სვეტის ღეროს, რომლის განივი კვეთის ფართობი $A \geq A_{cal}$.

ფოლადის სამი ფურცლისაგან შედგენილი მთლიანკედლიანი ორტესხური ღეროების კვეთის ზომების დადგენისას ხელმძღვანელობენ შემდეგი მოსაზრებებით: სარტყელებისთვის გამოიყენება $t_f=8-40$ მმ სისქის ფურცლები, კედლისათვის $t_w=6-16$ მმ; დასაშვები მოქნილობიდან გამომდინარე, კვეთის სიმაღლე და სიგანე შეირჩევა $(1/14 - 1/29) H$ საზღვრებში (ცხრილი 23). მნიშვნელოვანი გრძივი ძალების დროს რეკომენდებულია სვეტის მოქნილობა შეირჩეს $\lambda = 60-90$ საზღვრებში, მაგრამ არაუმეტეს 120-ისა (სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით).

კვეთის დანიშნულების შემდეგ ისაზღვრება მისი ფაქტიური გეომეტრიული მახასიათებლები: A , i_x , i_y , λ_x , λ_y , φ_x , φ_y , ხოლო შემდეგ φ_x და φ_y -დან განისაზღვრება φ_{min} -ს მნიშვნელობა. კვეთი ითვლება შერჩეულად, თუ მე-(10) ფორმულით ძაბვების შემოწმების შედეგად არ გამოელინდება გადაძაბვა, ხოლო დაუძაბავობა არ აღემატება 5%-ს შენადუღი და კომბინირებული პროფილებისთვის ან თუ შესაძლებელი არ არის მისი შემცირება ნაგლინი პროფილების სორტამენტის ფარგლებში.

სმებთან მიახლოებითი გაპარტება

კვეთის დასახელება	გაპარტები მოქნილობისას, მმ		
	$\lambda=60$	$\lambda=90$	$\lambda=120$
შენადული ფართოთაროებიანი ორტესებრი	$h \approx b \approx H/14$	$h \approx b \approx H/21$	$h \approx b \approx H/29$
მილისებრი	$h \approx b \approx H/21$	$h \approx b \approx H/31$	$h \approx b \approx H/42$
ჩაკეტილი, ორი კუთხედისაგან	$h \approx b \approx H/24$	$h \approx b \approx H/36$	$h \approx b \approx H/48$
გამჭოლი, ორი შეველერისგან	$h \approx b \approx H/23$	$h \approx b \approx H/34$	$h \approx b \approx H/45$
გამჭოლი, ოთხი კუთხედისაგან	$h \approx b \approx H/26$	$h \approx b \approx H/39$	$h \approx b \approx H/52$

ცენტრალურად შეკუმშული ღეროების გაანგარიშებისას კვეთის ინერციის რადიუსების მიახლოებითი მნიშვნელობები განისაზღვრება ცხრ. 24-ის მიხედვით.

შენადული ორტესებრი კვეთის ინერციის მომენტები მთავარი ღერძების მიმართ შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულებით:

$$I_x = (t_w h_w^3/12) + 2A_f(h_w/2 + t_f/2)^2, \quad (63)$$

$$I_y = 2t_f b_f^3/12, \quad (64)$$

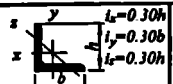
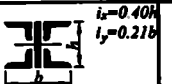
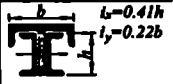
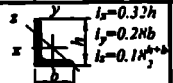
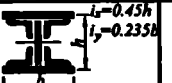
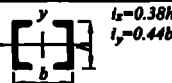
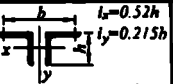
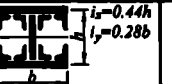
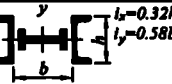
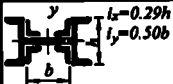
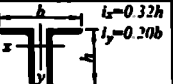
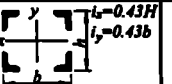
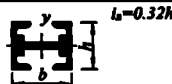
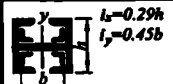
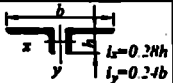
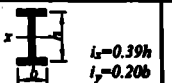
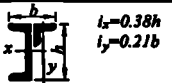
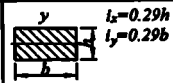
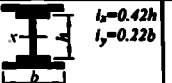
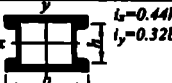
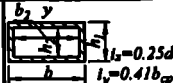
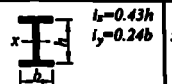
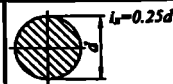
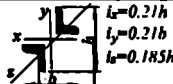
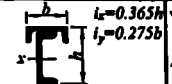
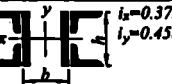
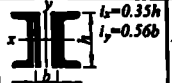
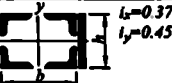
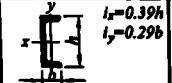
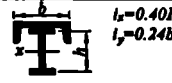
ცენტრალურად შეკუმშული სვეტებისთვის აგრეთვე უნდა შესრულდეს კედლის საანგარიშო სიმაღლისა h_f და სისქის t ზღვრული ფარდობის პირობა (51)-ე ფორმულით განსაზღვრული პირობითი მოქნილობის $\bar{\lambda}$ მნიშვნელობაზე დამოკიდებულების მიხედვით. ორტესებრი კვეთისთვის დაცული უნდა იყოს შემდეგი პირობები:

$$h_{ef}/t = \sqrt{E/R_y}, \text{ როცა } \bar{\lambda} \leq 0.8; \quad (65)$$

$$h_{ef}/t = (0.36 + 0.8\bar{\lambda})\sqrt{E/R_y}, \text{ მაგრამ არა უმეტეს } 2\sqrt{E/R_y}, \text{ როცა } \bar{\lambda} > 0.8. \quad (66)$$

სხვა ტიპის კვეთებისთვის h_{ef} განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

კვანძის ინერციის რაოდენობის მისაღებად გამოყენებული ფორმულებები

გამგორლი ღეროების მდგრადობაზე გაანგარიშება წარმოებს (62)-ე ფორმულით, იმ პირობით, რომ გრძივი ღუნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება (67), (68) და (69) ფორმულებით პირობითი

დაყვანილი მოქნილობის $\bar{\lambda}_{ef} = \bar{\lambda}_{ef} \sqrt{R_y/E}$ მნიშვნელობაზე (განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით) დამოკიდებულებით:

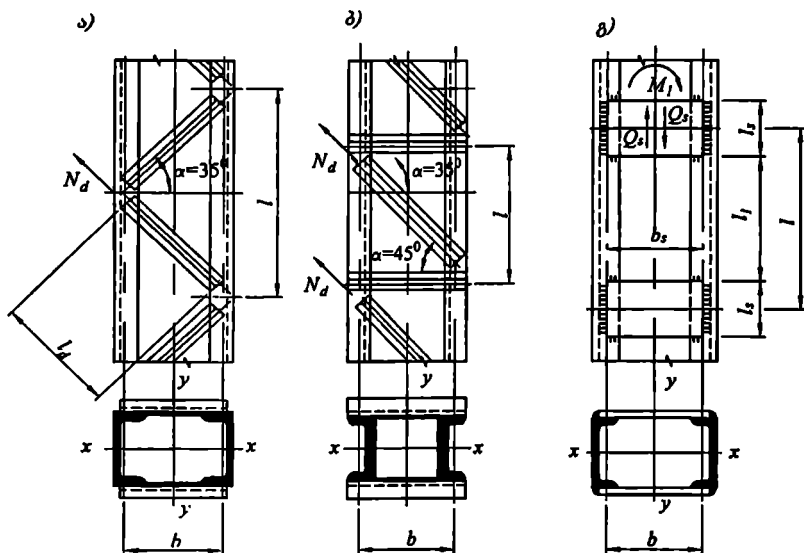
$$\varphi = 1 - (0.073 - 5.53 R_y/E) \bar{\lambda}_{ef} \sqrt{\lambda_{ef}}, \text{ როცა } 0 < \bar{\lambda}_{ef} \leq 2.5; \quad (67)$$

$$\varphi = 1.47 - 13 R_y/E - (0.0371 - 27.3 R_y/E) \bar{\lambda}_{ef} + (0.0275 - 5.53 R_y/E) \bar{\lambda}_{ef}^2, \quad (68)$$

როცა $2.5 < \bar{\lambda}_{ef} \leq 4.5$;

$$\varphi = 332/\bar{\lambda}_{ef}^2 (51 - \bar{\lambda}_{ef}), \text{ როცა } \bar{\lambda}_{ef} > 4.5. \quad (69)$$

გამჭოლი სვეტების თამასები და გისოსები უზრუნველყოფს ყველა შტოს ერთობლივ მუშაობას და მთლიანობაში სვეტის ღეროს სიხისტის მნიშვნელოვან გაზრდას. გისოსებიანი გამჭოლი სვეტების კონსტრუირებისას (ფიგ. 51, ა, ბ) კევანძებს შორის ცალკეული შტოების მოქნილობა არ უნდა აღემატებოდეს 80-ს და მთლიანი ღეროს $\bar{\lambda}_{ef}$ -ის მნიშვნელობას. თამასებიან შედგენილ ღეროებში (ფიგ. 51, გ), თამასებს შორის უბნებში ცალკეული შტოების მოქნილობა არ უნდა აღემატებოდეს 40-ს.



ფიგ. 51. გამჭოლი სვეტების გისოსების ტიპები

ა - სამკუთხა; ბ - ირიბანული; გ - თამასები

შემაერთებელი გისოსის ან თამასების გაანგარიშება წარმოებს პირობით განივ ძალაზე $Q_{f\perp}$, რომელიც მიიჩნევა მუდმივად ღეროს მთელ სიგრძეზე და განისაზღვრება ემპირიული ფორმულით:

$$Q_{f\perp} = 7.15 \cdot 10^{-6} AE \beta [(2330 R_y / E) - 1], \quad (70)$$

სადაც β არის კოეფიციენტი, რომელიც φ_{min}/φ ან $\sigma/\varphi R_y$ ფარდობებიდან ნაკლები მნიშვნელობის ტოლია; φ – კოეფიციენტი, რომელიც შედგენილი ღეროსთვის აიღება შემაერთებელი ელემენტების სიბრტყეში; φ_{min} – შემაერთებელი ელემენტის სიბრტყეში ან მის მართობულ სიბრტყეში გრძივი ღუნვის კოეფიციენტების ნაკლები მნიშვნელობა; $\sigma = N/A$ – კუმშვის ძაბვა ელემენტში.

შემაერთებელი გისოსების გაანგარიშება წარმოებს წამწეების ელემენტების გაანგარიშების ანალოგიურად, სადაც ირიბანაში ძალევა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$N_d = Q_{f\perp} / \cos \alpha n, \quad (71)$$

სადაც α არის გისოსის დახრის კუთხე კვეთის განივი ღერძის მიმართ; n – გისოსების ელემენტების რაოდენობა, რომლებიც განლაგებულია ერთ დონეზე.

შემაერთებელი თამასების გაანგარიშება წარმოებს უირიბნო წამწეების გაანგარიშების ანალოგიურად თამასის გადამტრეკელი F ძალის და მომენტის M_1 მოქმედებაზე, რომელიც თამასას ღუნავს საკუთარ სიბრტყეში (ფიგ. 51, გ):

$$F = Q_s l / b, \quad (72)$$

$$M_1 = Q_s l / 2, \quad (73)$$

სადაც Q_s არის პირობითი განივი ძალა, რომელიც განისაზღვრება $Q_{f\perp}$ -ის მიხედვით ღეროს ერთ დონეზე მდებარე შემაერთებელი თამასების რაოდენობაზე დამოკიდებულებით.

გისოსის კუთხედებისა და თამასების სვეტის შტოებზე გადაყენა ხდება ნაგლინი პროფილების თაროებზე დასამაგრებელი შენადული ნაკერების განლაგების პირობიდან გამომდინარე. თამასებისათვის ეს სიდიდე არ უნდა იყოს 20-30 მმ-ზე ნაკლები.

42. არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტები

არაცენტრალურად შეკუმშულად ითვლება სვეტი, რომლის საანგარიშო კვეთში მოქმედებს გრძივი ძალა N და მღუნავი მომენტი M . ასეთი სვეტები ფართოდ გამოიყენება კარკასულ სამრეწველო შენობებში.

ღეროს კონსტრუქციული გადაწყვეტიდან გამომდინარე განასხვავებენ არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტების სამ ტიპს:

1. მუდმივკვეთიანი (ფიგ. 52, ა) (კონსოლით ამწისქვეშა კოჭისათვის), რომელიც გამოიყენება მაშინ, როდესაც ფერმის ქვედა სარტყელამდე სიმაღლე არ აღემატება 12 მ-ს და ხიდური ამწის ტვირთამწეობა არა აღემატება 20 ტ-ს;

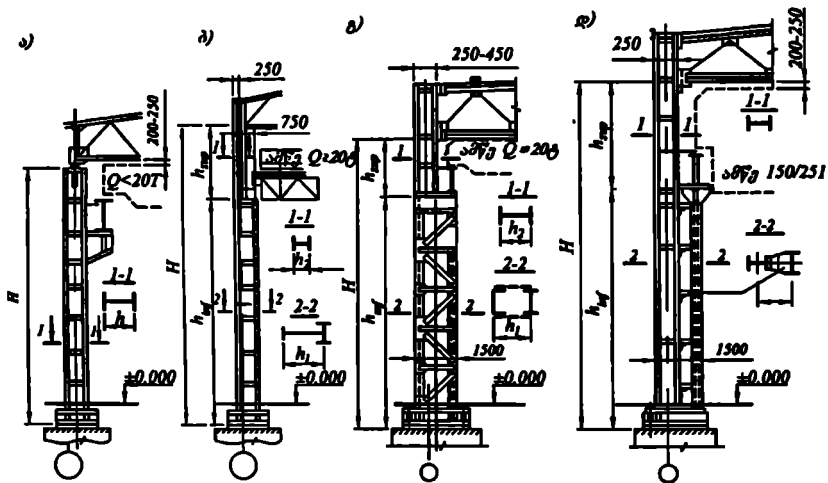
2. ცვლადკვეთიანი (ფიგ. 52, ბ, გ) (საფეხუროვანი), მთლიანკედლიანი და გამჭოლი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო შენობების კარკასებში, როდესაც ხიდური ამწის ტვირთამწეობა აღემატება 20 ტ-ს. ამ სვეტის ამწისზედა ნაწილს აპროექტებენ მთლიანკედლიანი ორტესებრი კვეთის სახით, ხოლო ამწისქვეშა ნაწილი შეიძლება იყოს, როგორც მთლიანკედლიანი ისე კუთხედებისაგან შედგენილი გამჭოლი გისოსის სახის;

3. განცალკევებული ტიპის (ფიგ. 52, დ), რომელიც გამოიყენება მიმდებარე მიწის საამქროებში, როდესაც ამწის ტვირთამწეობა აღემატება 150 ტონას და სიმაღლე 20 მეტრამდეა. ასეთ სვეტებში შტოები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ვერტიკალურ სიბრტყეში მოქნილი თამასებით, რის შედეგადაც თითოეული შტო ასრულებს დამოუკიდებელ ფუნქციას: ძირითადი შტო მუშაობს განივი ჩარჩოს სისტემაში და იღებს დატვირთვას გადახურვის, კედლებისა და ხიდური ამწეების განივი ზემოქმედებისაგან; ამწისქვეშა დგარი მუშაობს, როგორც ცენტრალურად შეკუმშული (მხოლოდ ხიდური ამწის ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედებისაგან).

მთლიანკედლიანი და გამჭოლი არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტის ამწისქვეშა ნაწილის განივი კვეთის დამახასიათებელი ტიპები მოყვანილია ფიგ. 53-ზე.

არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტების დაპროექტებისას მათ გაბარიტებს წინასწარ ნიშნავენ კონსტრუქციული მოსაზრებით. სხეულის სიმაღლე h შეიძლება მიახლოებით შერჩეულ იქნას ცხრ. 25-ის მიხედვით. მთლიანი კვეთები უფრო ხისტია ვიდრე გამჭოლი, ისინი უფრო ადვილი დასამზადებელია, თუმცა მათი გამოყენება რეკომენდებულია,

როდესაც კვეთის სიმაღლე h არ აღემატება 1.2 მ-ს. მეტი სიმაღლის დროს მათი გამოყენება ეკონომიკურად მიზანშეწონილი არ არის.

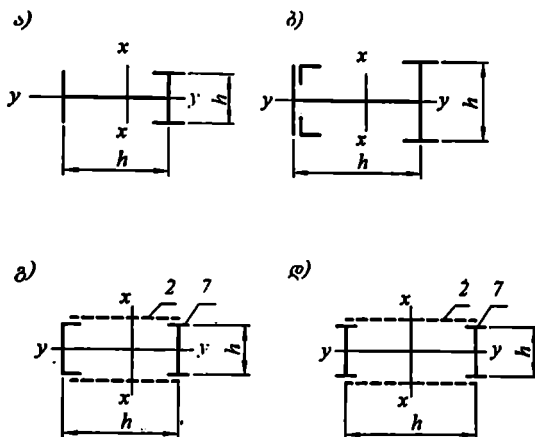


ფიგ. 52. სამკრეწველო შენობების არააღნაგობად შეკუმშული სვეტების ბირითადი ტიპები

ა - მთლიანკედლიანი მუდმივი კვეთის; ბ - მთლიანკედლიანი საფეხუროვანი;
გ - გამჭოლი საფეხუროვანი; დ - გამჭოლი განცალკევებული;

სვეტების სიმაღლე ასევე განისაზღვრება კონსტრუქციულად ტექნოლოგიური მოწყობილობის სიმაღლის გათვალისწინებით, საძირკელის ჩადგმის სიღრმით, ხიდური ამწეების გაბარიტებით და ამწის ზედა გაბარიტსა და გადახურვის კონსტრუქციის ძირს შორის მანძილით, რომელიც ჩვეულებრივ მიაღწევა 200-250 მმ.

არაცენტრალურად შეკუმშულ სვეტებს ანგარიშობენ შენობის განივი კარკასის სისტემაში მათი მუშაობის გათვალისწინებით. საანგარიშო ძაღვები სვეტებში განისაზღვრება კომპიუტერული პროგრამის მეშვეობით, რომელიც საშუალებას იძლევა გათვალისწინებული იქნას ძაღვების სხეულის სხვადასხვა კომბინაციები კარკასის ელემენტებში (იხ. პ. 6.3). არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტების მოქნილობა ინიშნება ცენტრალურად შეკუმშული სვეტების ანალოგიურად. საანგარიშო გრძივი ძალისა და მღუნავი მომენტის განსაზღვრის შემდეგ, ხორციელდება კვეთების გაანგარიშება (16), (17), (18), (21) ფორმულებით.



ფიგ. 53. საფეხუროვანი სვეტების ამწისქვეშა ნაწილის კვეთის ტიპები
 ა, ბ – მთლიანკედლიანი; გ, დ – გამჭოლი; 1 – კვეთი; 2 – გისოსი.

ცხრილი 25

სვეტის ამწისზედა და ამწისქვეშა ნაწილების სიბრტყეებსა და კვეთის
 სიმაღლეს შორის მინიმალური თანფარდობები

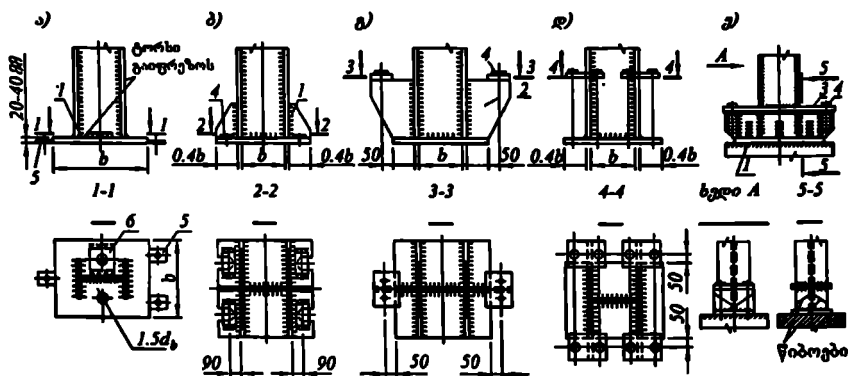
l, l ₁ , l ₂ , მ	მუდმივი კვეთის სვეტები h/l	ცვლადი კვეთისა და განცალკევებადი ტიპის სვეტები		
		ამწისქვეშა ნაწილი h ₁ /l ₁		ამწისზედა ნაწილი h ₂ /l ₂
		მთლიანი	გამჭოლი	
10-12-მდე	1/15	1/10-1/14	1/9-1/12	1/8-1/12
15-20	1/18	1/12-1/16	1/11-1/14	
25-30	1/20	1/15-1/20	1/13-1/17	

4.3. ერთშტოიანი და ორშტოიანი სვეტის ბაზა

ბაზა ეწოდება სვეტის საყრდენ ნაწილს, რომელიც სვეტში აღძრულ
 ძალებს გადასცემს საძირკველს. ბაზის კონსტრუქციული გადაწყვეტა
 დამოკიდებულია სვეტის ტიპზე და საძირკველში ჩამაგრების ხასიათზე
 (სახსრული ან ხისტი). განასხვავებენ ცენტრალურად (ფიგ. 54, ა, ბ, გ) და
 არაცენტრალურად (ფიგ. 54, დ, ე) შეკუმშული ერთშტოიანი სვეტის ბაზებს.

უმარტივესი ბაზა შედგება ღეროს დაფრეზულ ტორსზე მიდუღებული საყრდენი ფილისგან (ფიგ. 54, ა). ასეთი გადაწყვეტა მიზანშეწონილია სვეტში მცირე გრძივი ძალის მოქმედების დროს და სვეტის ფუნდამენტზე სახსრულად ჩამატებისას.

გრძივი ძალის გადიდებისას საყრდენი ფილის ფართობი მნიშვნელოვნად იზრდება, შესაბამისად, აუცილებელი ხდება სიხისტის წიბოების გამოყენება, რათა შენარჩუნებული იქნას ფილის მინიმალური სისქე (ფიგ. 54, ბ, გ). ასეთ შემთხვევაში ტრავერსა ემსახურება ძალებების უფრო თანაბარ განაწილებას სვეტიდან ფილაზე და ზრდის ფილის მზიდუნარიანობას საძირკელის რეაქტიული წნევის შედეგად გამოწვეულ ღუნვაზე მისი მუშაობისას.



ფიგ. 54. ერთშტოიანი სვეტების ბაზების ტიპები

- ა - ცენტრალურად შეკუმშული, ღეროს დაფრეზული ტორსით;
 ბ, გ - ცენტრალურად შეკუმშული, ძალას გადაცემა შენადული ნაკერების მეშვეობით; დ, ე - არაცენტრალურად შეკუმშული; 1 - საყრდენი ფილა;
 2 - სიხისტის წიბო; 3 - ტრავერსას ფურცელი; 4 - საანკერო ჭანჭიკები;
 5 - საყენებელი ყუნწები ხრახნებით; 6 - საყელური

საყრდენი ფილის ფართობი $A_{\text{ფ}}$ უზრუნველყოფს დატვირთვის გადაცემას სვეტიდან ფუნდამენტზე და განისაზღვრება ფორმულით:

$$A_{\text{ფ}} = N / \gamma R_b, \quad (74)$$

სადაც N არის საანგარიშო გრძივი ძალა სვეტში ბაზის დონეზე; R_b - ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე, რომელიც პირველი

ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის, M150, M200 და M300 ბეტონის მარკებისათვის შესაბამისად აიღება 6,5, 8 და 13 მპა; $\gamma - R_b$ -ს გაზრდის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საძირკველის ზედა თაროს ფართობის A_f და საყრდენი ფილის მუშა ფართობის ფარდობაზე $\gamma = \sqrt[3]{A_f/A_{pl}}$, მაგრამ არ უნდა აღემატებოდეს 1,5-ს.

ბაზის საყრდენი ფილის სისქე t_{pl} შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

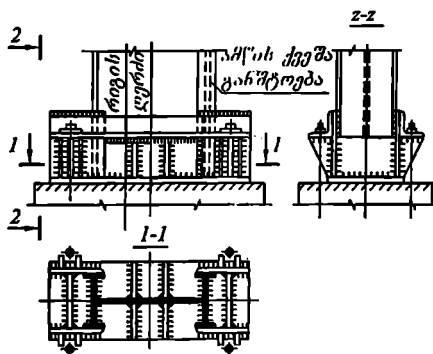
$$t_{pl} = \sqrt{6M/R_y}, \quad (75)$$

სადაც M არის საანგარიშო მღუნავი მომენტი (1 სმ სიგანის ზოლზე) საყრდენი ფილის უბნებზე სიხისტის წიბოებს შორის.

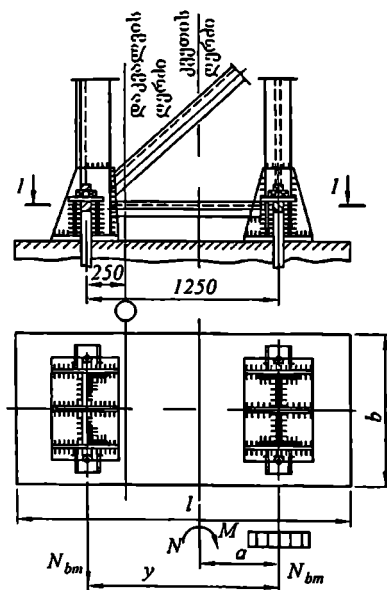
მცირე ძალების დროს დასაშვებია ტრავერსების დაპროექტება სვეტიდან ტრავერსზე შენადული ნაკერების მეშვეობით ძალების გადაცემით (ფიგ. 54, ბ, გ). არაცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტებში აწყობენ მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყეში განვითარებულ ხისტ ბაზებს.

ერთშტოიან მთლიანკედლიან სვეტში, მცირე მღუნავი მომენტის მოქმედებისას, გამოიყენება 10-12 მმ სისქის ფურცლების ერთკედლიანი ღია ქუსლი (ფიგ. 54, ე), რომელიც ხელსაყრელია სამუშაოთა წარმოებისას.

ორშტოიანი მთლიანკედლიანი სვეტისთვის გამოიყენება განცალკევებულტრავერსიანი ქუსლი, რომელსაც აქვს ერთი საყრდენი ფურცელი (ფიგ. 55), ხოლო განცალკევებულშტოიანი სვეტებისთვის გამოიყენება ორი დამოუკიდებელი ქუსლისაგან შედგენილი ბაზა (ფიგ. 56).



ფიგ. 55. მთლიანკედლიანი სვეტის ქუსლი განცალკევებული ტრავერსით



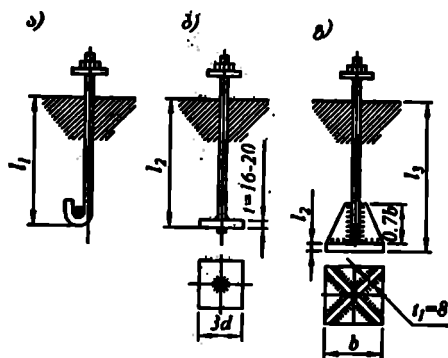
ფიგ. 56. საფეხუროვანი ტიპის გამჭოლი სვეტების ქუსლი განცალკევებული ტრავერსებით

ბაზის საძირკველზე ჩამაგრების ზონაში ვერტიკალურების გარდა ასევე წარმოიქმნება საძირკვლის ზედაპირზე ქუსლის მძვრელი ჰორიზონტალური განივი ძალები, აგრეთვე მღუნავი მომენტები, რომლებიც ცდილობენ საძირკველს მოგლიჯონ ქუსლის ერთი ნაწილი და მიწნეხონ მეორე ნაწილი. ძერა აითვისება საყრდენ ფილასა და საძირკველს შორის წარმოქმნილი ხახუნის ძალების მიერ, აგრეთვე საანკერო ტანჯიკების ტრაზე მუშაობით.

მღუნავი მომენტი აითვისება საანკერო ტანჯიკების მუშაობით გაჭიმვაზე (ამოგლეჯაზე). საძირკველში საანკერო ტანჯიკების ჩამაგრების სიღრმე დამოკიდებულია მღუნავი მომენტის სიდიდეზე და საანკერო მოწყობილობის კონსტრუქციაზე (ფიგ. 57). ცენტრალურად შეკუმშული სვეტისათვის საანკერო ტანჯიკების დიამეტრი შეირჩევა კონსტრუქციულად — $d=22-26$ მმ. არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტისათვის საანკერო ტანჯიკების დიამეტრი და რაოდენობა n_b გაანგარიშდება ფორმულით:

$$n_b = N_{bm}/N_{max} = (M - Na)/yN_{max}, \quad (76)$$

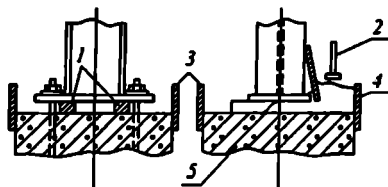
სადაც N_{bm} არის სვეტის შტოში მომენტისგან გამოწვეული გრძივი ძალა, რომელიც ცდილობს ქუსლის ამოგლეჯას საძირკელიდან (იხ. ფიგ. 56); N_{max} – ერთ საანკერო ჭანჭიკზე დასაშვები მაქსიმალური საანგარიშო ძალეა, რომელიც განისაზღვრება 26-ე ცხრილის მიხედვით.



ფიგ. 57. ანკერული დამაგრების ტიპები

ა, ბ – ძალების გადაცემა შეჭიდების ძალების მეშვეობით; გ – ძალების გადაცემა საყრდენი საყელურის მეშვეობით

სვეტის ამოყვანის ერთ-ერთი საპასუხისმგებლო ეტაპია მისი დაყენება საძირკველზე, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს სათაეის და ამწისქვეშა შტოს საყრდენი ბაჟნის საპროექტო ნიშნულების მკაცრი დაცვა, აგრეთვე ექსპლუატაციის პროცესში უნდა ეწინააღმდეგებოდეს სვეტის ჩაჯდომას. ყველაზე ხშირად გამოიყენება შემდეგი ხერხი – სვეტის ბაზას აყრდნობენ წინასწარ დაყენებულ და სიმაღლეში გასწორებულ 50-60 მმ სისქის ლითონის ქვესადებებზე, შემდეგ ფილის ქვეშ შეყავთ ცემენტის დულაბი, რომელსაც გამუდმებით ტკეპნიან (ფიგ. 58).



ფიგ. 58. სვეტის საყრდენი ფილის ქვეშ დულაბის ჩასასხმელი მოწყობილობა

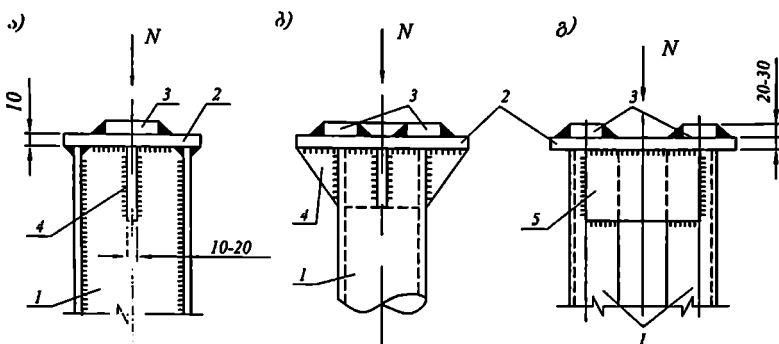
1 – ლითონის ქვესადები; 2 – ტკეპნა; 3 – ფალიბი; 4 – ხისტი ცემენტის დულაბი; 5 – საძირკველი

საანგეო ჯანვითების მზიფუნარიანობა, $R_r = 140$ მპა

ჭანჭიკის დიამეტრი d , მმ	20	22	24	27	30	36
N_{max} , კნ	315	394	454	598	725	1060
ჭანჭიკის დიამეტრი d , მმ	42	48	56	64	72	76
N_{max} , კნ	1400	1870	2620	3450	4420	5010

4.4. სვეტის სათავის კონსტრუქციები, პირაპირები და ღებალევი

სვეტის სათავის დანიშნულებაა წამწებიდან და კოჭებიდან ძალის გადაცემა სვეტის ღეროზე. განასხევებენ მთლიანკედლიანი და გამჭოლკედლიანი სვეტის სათავეებს (ფიგ. 59).



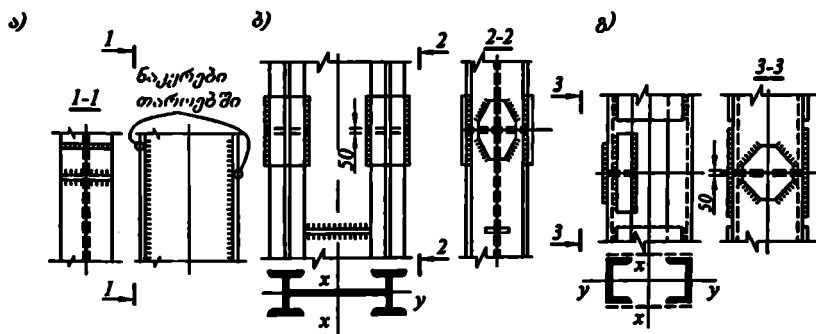
ფიგ. 59. სვეტის სათავის ტიპები

ა, ბ – მთლიანკედლიანი სვეტების; გ – გამჭოლკედლიანი სვეტების; 1 – სვეტის ღერო; 2 – საყრდენი ფილა; 3 – მაცენტრებული ფირფიტა; 4 – სიხისტის წიბო

მთლიანკედლიან სვეტში სათავის პორიზონტალურ საყრდენ ფურცელს აძლიერებენ სიხისტის წიბოებით, რომლებიც ამავდროულად ხელს უწყობს სვეტის მთლიანი საანგარიშო კვეთის ჩართვას მუშაობაში. დატვირთვის

დაცენტრებისთვის საყრდენ ფურცელზე აღუდებენ მაცენტრებულ ფირფიტას, რომლის სიგანე არ აღემატება 100 მმ. გამჭოლკედლიან სვეტში (ფიგ. 59, გ) საყრდენი ფურცლის ქვეშ აკეთებენ სიმაღლეში განვითარებულ სიხისტის წიბოს, რომლის გაანგარიშება წარმოებს ამ წიბოების სიბრტყეში მოქმედ განივ ძალასა და მომენტზე, გამჭოლკედლიან სვეტში შემავრთებული თამასების გაანგარიშების მსგავსად (იხ. ფიგ. 51).

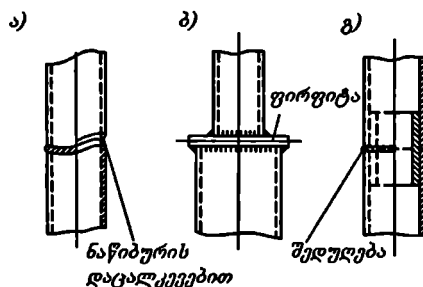
სვეტში პირაპირები შესაძლებელია იყოს ქარხნული და სამონტაჟო. ქარხნულ პირაპირებს აკეთებენ სვეტის ღეროებში შედუღებით. ისინი ემსახურება ნაგლინი პროფილების ან ფურცლების დაგრძელებას, თუ ისინი არ აკმაყოფილებენ სვეტის საპროექტო სიგრძეს (ფიგ. 60). პირაპირებმა უნდა უზრუნველყოს ნაკერისა და ძირითადი ლითონის თანაბარსიმტკიცე-თაროებზე და კედელზე პირაპირა ნაკერებს აკეთებენ ხტულად (ფიგ. 60, ა), ხოლო ზესადებების გამოყენების შემთხვევაში დასაშვებია პირაპირის მოწყობა ერთ კვეთში (ფიგ. 60, ბ, გ).



ფიგ. 60. ღია პროფილების ელემენტებიანი სვეტების ქარხნული შენადული პირაპირები

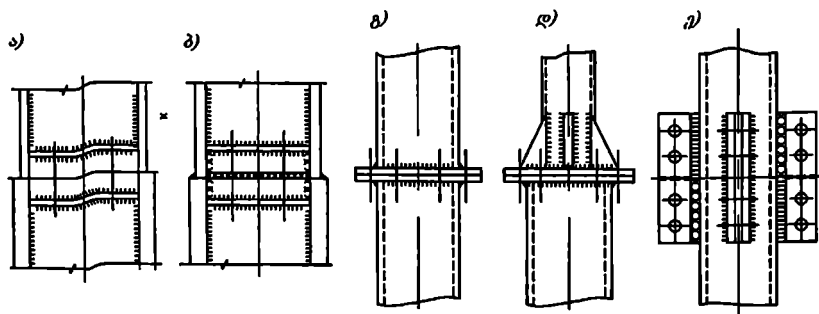
ქარხნულ პირაპირებში ძაღვები გადაეცემა შენადული ნაკერებით. მილოვან, ცენტრალურად შეკუმშულ სვეტში, შესაპირაპირებელი მილების დიამეტრებისა და კედლის სისქეების ტოლობის შემთხვევაში, გამოიყენება პირაპირა შედუღება (ფიგ. 61, ა), ხოლო არაცენტრალურად შეკუმშულებში – პირაპირა შედუღება ძირითად მილში მოკლე მილოვანი სადების ჩაყენებით (ფიგ. 61, გ). მეორე ვარიანტი უფრო შრომატევადი და ლითონტევადია, მაგრამ უფრო მტკიცე და საიმედოა ექსპლუატაციაში. მილოვანი ღეროს დიამეტრის

ცელილების შემთხვევაში, პირაპირში თავსდება მრგვალი ფირფიტა, რომლის სისქე განისაზღვრება გაანგარიშებით, როგორც კონტურზე სახსრულად დაყრდნობილი ფირფიტის შემთხვევაში (ფიგ. 61, ბ).



ფიგ. 61. მილოვანი სვეტების ქარხნული შენადული პირაპირები

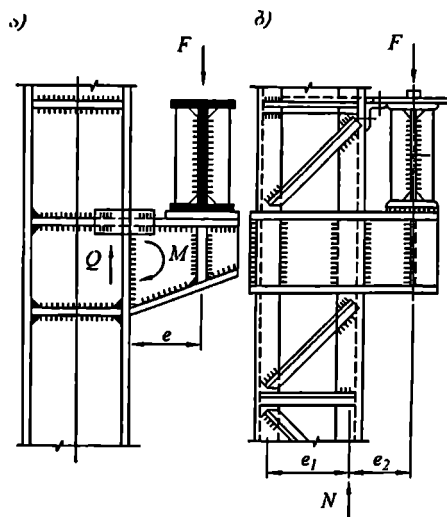
სამონტაჟო პირაპირები განკუთვნილია სვეტის ცალკეული სამონტაჟო ნაწილების შესაერთებლად ერთ მთლიანობაში, რომელთა ტრანსპორტირება შეზღუდულია. ასეთ პირაპირებს აკეთებენ სამშენებლო მოედანზე. აწყობის სიზუსტის უზრუნველსაყოფად გამოიყენება წინასწარ გამზადებულ ნახერტებში დაყენებული სამონტაჟო ჭანჭიკები, სვეტის ღეროებისა და შტოების შეუღლების ტორსების ფრეზეა (ღარვა), ხოლო საჭიროების შემთხვევაში დამატებითი შენადული პირაპირის შესრულება (ფიგ. 62).



ფიგ. 62. მთლიანკეთიანი სვეტის სამონტაჟო პირაპირების ვარიანტები

ა - ღია პროფილებისათვის, მკუმშავი ძალის მოქმედებისას; ბ - იგივე, მკუმშავი ძალისა და მომენტის ერთდროულად მოქმედებისას;
გ-ე - მილოვანი პროფილებისათვის

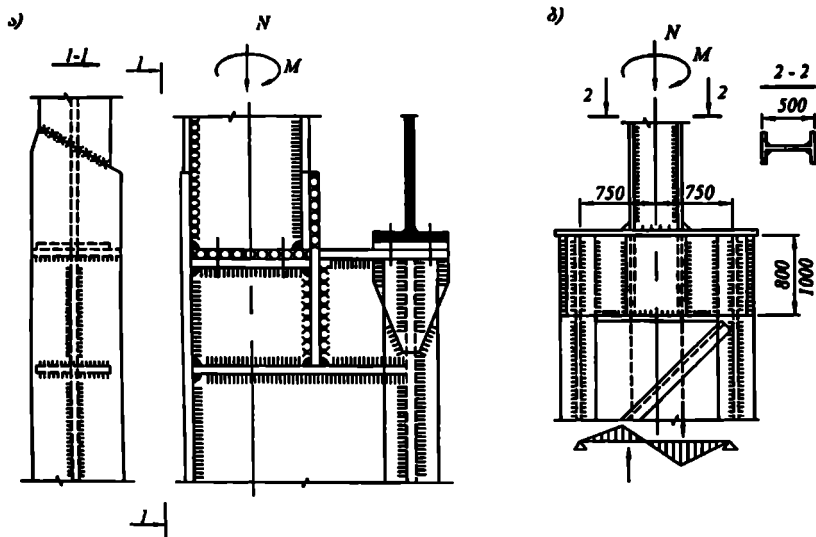
მიღოვან ღეროებში მიღტუნა შეერთებების მოწყობისას (ფიგ. 62, გ, დ), საპირაპირე ფირფიტების დიამეტრი უნდა უზრუნველყოფდეს მოსაჭიმი მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების თავისუფალ დაყენებას.



ფიგ. 63. ამწისქვეშა კოჭის დაყრდნობა კონსოლზე

ა - მთლიანკედლიან სვეტებში; ბ - გამჭოლკედლიან სვეტებში

ყველაზე მეტად დაძაბული და დასაშვადებლად შრომატევადი ზონებია მუდმივი კვეთის მქონე სვეტის ღეროსთან ამწისქვეშა კონსოლის მიმაგრების უბანი (ფიგ. 63), აგრეთვე საფეხუროვანი სვეტების ამწისზედა და ამწისქვეშა ნაწილების შეუღლების ზონა (ფიგ. 64). ამ კვანძებში მოქმედებს ნორმალური და განივი ძალები, აგრეთვე მნიშვნელოვანი მღუნაეი მომენტები. ამ ძალებების გადაცემა ელემენტიდან ელემენტზე ხორციელდება საანგარიშო შენადული ნაკერებით. დაპროექტებისას საჭიროა თავიდან ავიცილოთ სვეტის ამ ზონაში სამონტაჟო პირაპირების მოწყობა.



ფიგ. 64. საფეხუროვანი ტიპის სვეტებში ამწისზედა ნაწილის
მიმაგრების სქედი

ა – მთლიანკედლიან ამწისქვეშა შტოსთან; ბ – გამჭოლკედლიან ამწისქვეშა
შტოსთან

თავი 5. წამყვები

5.1. ნიჰნივური ბაღახურვები. საერთო ცნებები

ნიჰნივური გადახურვა წარმოადგენს შემოშლულადი კონსტრუქციების ნაწილს, რომელიც იცავს ნაგებობას ატმოსფერული ზემოქმედებებისაგან და განსაზღვრავს მის ხანგამძლეობას. ერთსართულიან საზოგადოებრივ და სამრეწველო შენობებში გადახურვის დაპროექტებას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან ის შეადგენს მშენებლობის ღირებულების 20–30 % და და შრომატევადობის 30 %. გადახურვის კონსტრუქციის შერჩევა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მთელი ნაგებობის მოცულობით-დაგეგმარებით გადაწყვეტაზე: სვეტების ბიჯზე, ზედა განათების მოწყობაზე, ბურულზე, კიდული ტერის აუცილებლობაზე, კიდული მოწყობილობის დამონტაჟების შესაძლებლობაზე, ამწეებსა და ა.შ.

განასხვავებენ დათბუნებულ და ცივ ნივნიურ გადახურვებს. პირველი, მეორისაგან განსხვავებით, ატმოსფერული ზემოქმედებისაგან შენობის დაცვის გარდა, უზრუნველყოფს თბოდაცვას.

ნივნიური გადახურვების დაპროექტებისას ითვალისწინებენ გარე დატვირთვების ხასიათს და ზემოქმედებას, მასალების თბოგამტარობის გაგლეწას, აგრეთვე ანტიკოროზიულ და ხანძარსაწინააღმდეგო დაცვას.

5.2. ნივნიური წამწები, მოხაზულობა და გისოსის ტიპები

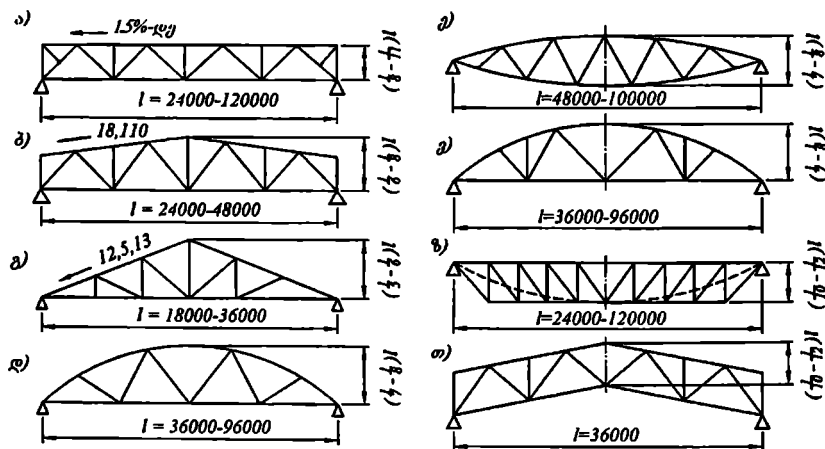
წამწე ეწოდება კვანძებში ერთმანეთთან შეერთებული სწორხაზოვანი ღეროებისაგან შედგენილ გეომეტრიულად უცვლელ გისოსოვან გამჭოლ კონსტრუქციას, რომელიც მოიცავს ზედა შეკუმშულ და ქვედა გაჭიმულ სარტყელს, დგარებს და ირიბნებს. იგი წარმოადგენს სამშენებლო მზიდ კონსტრუქციას, რომელიც გამოიყენება დიდი მალის მქონე გადახურვებში. წამწეზე დატვირთვა, როგორც წესი, მოდებულია კვანძებში. წამწის ელემენტებში წარმოიქმნება ღერძული გამჭიმავი და მკუმშავი ძალები, რაც უზრუნველყოფს მასალის მზიდუნარიანობის უფრო სრული გამოყენების შესაძლებლობას, ვიდრე ღუნად ელემენტებში (კოჭებში).

წამწის გეომეტრიული სქემა განისაზღვრება სარტყელების მოხაზულობითა და გისოსის სახეობით. სარტყელების მოხაზულობის მიხედვით ნივნიური წამწის ძირითადი ტიპებია: პარალელურ სარტყელებიანი (ფიგ. 65, ა); ტრაპეციისებრი (ფიგ. 65, ბ); სამკუთხა (ფიგ. 65, გ) და სეგმენტური (ფიგ. 65, დ);

დამზადებისა და ფორმის მიხედვით ყველაზე მარტივია პარალელურ სარტყელებიანი და ტრაპეციისებრი წამწები. დამზადების სიმარტივემ განაპირობა მათი ფართო გამოყენების შესაძლებლობა სხვადასხვა დანიშნულების სამრეწველო და სამოქალაქო შენობებში. მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გამო ისინი წარმატებით გამოიყენება 18-120 მ მალეში და აქვთ შედარებით მცირე სამშენებლო სიმაღლე სხვა მოხაზულობის წამწებთან შედარებით.

სამკუთხა მოხაზულობის წამწებს აქვთ ყველაზე დიდი სიმაღლე, ამიტომაც დამზადებისა და ტრანსპორტირების პირობებიდან გამომდინარე მათ

იყენებენ მალეში, რომელთა სიგრძე არ აღემატება 36 მ-ს. მათი გამოყენება შენობებში და ნაგებობებში უმაღრესად განისაზღვრება მცირეზომიანი საბურთულე მასალების გამოყენებით (ბრტყელი და ტალღოვანი აზბესტცემენტის ფურცლები, საბურთულე ფოლადი, კრამიტი და სხვ.) ცივ ბურთულეში, რომლებიც მოითხოვენ დიდ დაქანებებს (25–45°).



ფიგ. 65. ნივნიური წამწევები

მასალის ხარჯის მიხედვით ყველაზე ეკონომიურია სეგმენტური წამწევები; მათი გამოყენების ეფექტურობა იზრდება მალის ზრდასთან ერთად. თუმცა, სეგმენტურ წამწევებს, სამკუთხა წამწევების მსგავსად, ახასიათებთ დამზადების დიდი შრომატევადობა, რაც დაკავშირებულია გისოსის ელემენტების სიგრძეების დიდ ნომენკლატურასთან, აგრეთვე სეგმენტური ფერმებისთვის დამახასიათებელ ზედა სარტყელის სიმრუდესთან. დამზადების შრომატევადობის შესამცირებლად, პრაქტიკული გამოყენებისთვის სეგმენტური ფერმები იცვლება პოლიგონალურით (ზედა სარტყელის ძირითად კვანძებს შორის სწორხაზოვანი ელემენტებით) (ფიგ. 65, ე).

გადახურვის ნივნიურ წამწევებს შეიძლება ჰქონდეთ სრულიად სხვადასხვანაირი მოხაზულობა, რომელიც პასუხობს დასაპროექტებელი ობიექტის არქიტექტურულ-ესთეტიურ და ფუნქციურ მოთხოვნებს. საზოგადოებრივ შენობებში ზოგჯერ გამოიყენება თევზისებრი (ფიგ. 65, ე) და შეაფრებული (ფიგ. 65, თ) წამწევები, ხოლო სამრეწველო შენობებში – ზედა

სარტყელის განაპირა კვანძებზე დაყრდნობილი პარალელურსარტყელებიანი წამწები (ფიგ. 65, ზ) და სხვ.

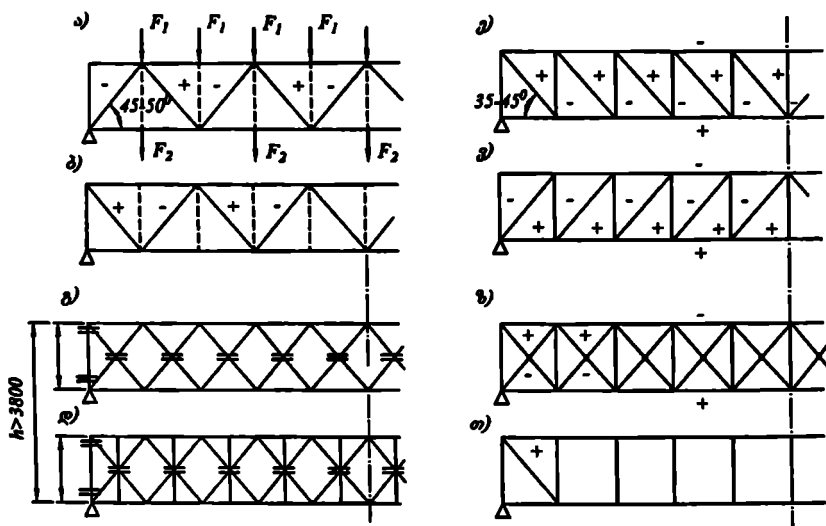
მინიმალური მასისა (მინიმალური მასა მიიღება სარტყელებისა და გისოსის მასების ტოლობის შემთხვევაში) და საჭირო სიხისტის პირობიდან გამომდინარე, წამწის ოპტიმალური სიმაღლის შეფარდება მალთან მიიღება $h/l=1/4-1/5$. თუმცა, ამ შემთხვევაში წამწე გამოდის დიდი სიმაღლის, რაც ართულებს მის ტრანსპორტირებას და მონტაჟს, გარდა ამისა, იზრდება შენობის მოცულობა, ამიტომ წამწეების რეკომენდებული სიმაღლე ნაკლებია ოპტიმალურზე.

ნებისმიერ დატვირთვაზე წამწის უცელებლობა მიიღწევა გისოსის მოწყობით, რაც წარმოქმნის სამკუთხედების სისტემას. ზედა სარტყელის გასწვრივ გისოსის კვანძებს შორის მანძილს ეწოდება წამწის პანელი — l_n , რომლის ზომაც შეირჩევა გადახურვის ფილების სიგანის მიხედვით 1.5 ან 3 მ და არის 6 მ მოდულის ჯერადი.

ყველაზე გაერცელებულია სამკუთხა გისოსი (ფიგ. 66, ა, ბ), რადგანაც მისი ზიგზაგის საერთო სიგრძე და მასში კვანძების რაოდენობა ნაკლებია სხვა ტიპის გისოსებიან წამწებთან შედარებით. ქვედა სარტყელის მიმართ გისოსის დახრის რაციონალური კუთხე შეადგენს $45-50^\circ$. სამკუთხა გისოსის ნაკლია სარტყელების პანელების მნიშვნელოვანი სიგრძე, განსაკუთრებით წამწეების დიდი მალეების შემთხვევაში, რის გამოც ადგილი აქვს კვანძის გარეთა დატვირთვებს, რაც უარყოფითად მოქმედებს კონსტრუქციის ეფექტურობაზე. პანელის სიგრძის შესამცირებლად სამკუთხა გისოსში ამატებენ დგარებს, რომლებიც ორიენტირებულია ზედა კვანძიდან წამწის ქვედა სარტყელზე და პირიქით.

სამკუთხა გისოსის ნაირსახეობაა რომბისებრი ცხაურები, რომლებსაც აქვთ მაღალი სიხისტე და დიდი განივი ძალებისადმი წინააღმდეგობის გაწევის კარგი უნარი (ფიგ. 66, გ, დ). მცირე სიმაღლის წამწეებში გამოიყენება ირიბნული გისოსები, რომლებიც გამოირჩევა ძალების ნიშნის რეგულირების შესაძლებლობით (ფიგ. 66, ე, ე). ქვედა სარტყელის მიმართ ირიბნული გისოსის დახრის რაციონალური კუთხე შეადგენს $35-45^\circ$. პარალელურ სარტყელებიან და ტრაპეციისებრ წამწეებში მიზანშეწონილია გისოსები დაპროექტდეს დადმავალ-გაჭიმული ირიბნებით, ხოლო მოკლე დგარები — შეკუმშული (ფიგ. 66, ე). სამკუთხა და სეგმენტური მოხაზულობის წამწეების

ირიბნულ გისოსებში დაღმავალი ელემენტები შეკუმშულია, ხოლო აღმავალი – გაჭიმული. თუმცა, კვანძის გაერთმთლიანების თვალსაზრისით გისოსს აპროექტებენ დაღმავალი ირიბებით.

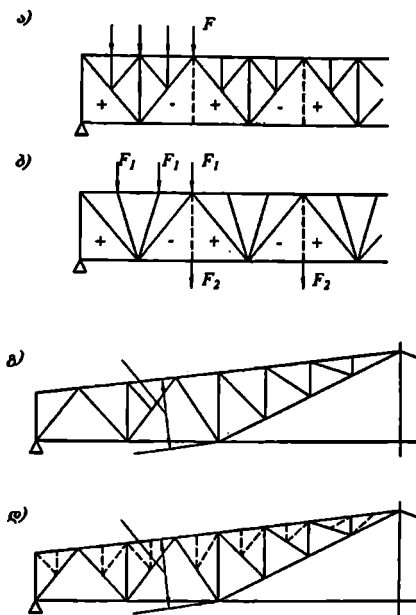


ფიგ. 66. წამწის გისოსის სისტემები

ჯვარედინი ცხაურები (ფიგ. 66, ზ) მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნან მიზანცვლად დატვირთვებზე მომუშავე წამწეებში. გისოსის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ მასში ირიბნები მუშაობენ მხოლოდ გაჭიმვაზე. ირიბანაში კუმშვის წარმოქმნის შემთხვევაში მისი დიდი მოქნილობის გამო იგი გამოითიშება მუშაობიდან.

უირიბნო წამწეები (ფიგ. 66, თ) გამოიყენება სართულშუა გადახურვებში, როდესაც წამწებს შორის სივრცე გამოიყენება საექსპლუატაციო სართულად. ამ წამწეების ნაკლოვანი მხარეა სარტყელეზა და დგარებში მნიშვნელოვანი მღუნავე მომენტების წარმოქმნა, რაც იწვევს ფოლადის გაზრდილ ხარჯს.

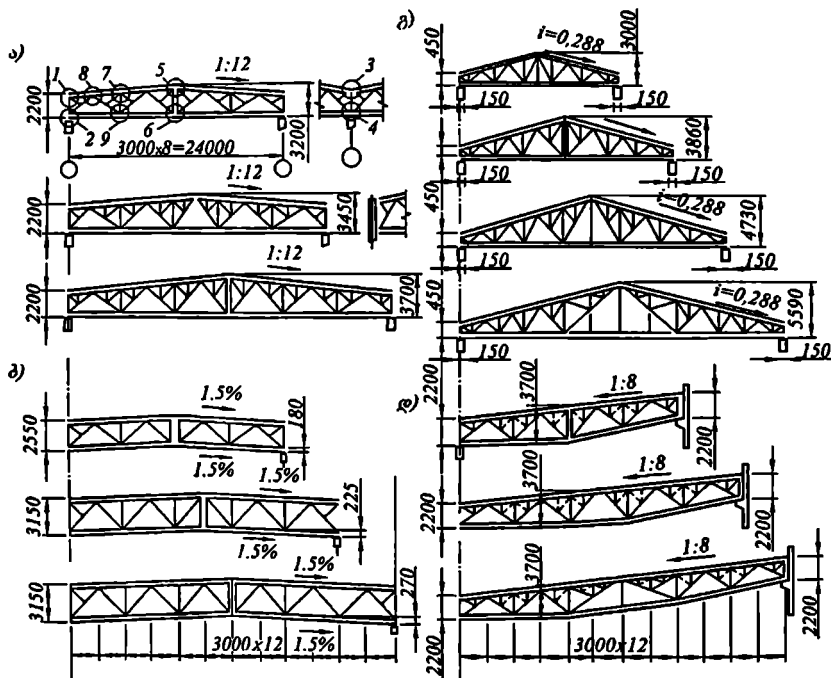
ზედა სარტყელის პანელის სიგრძის შემცირება აგრეთვე შესაძლებელია წამწის ძირითად გისოსში სპეციალური შპრენგელების დამატებით (ფიგ. 67, ა, ბ), რომლებიც ერთდროულად ამცირებს ირიბნების თავისუფალ სიგრძესაც წამწის სიბრტყეში (ფიგ. 67, ა).



ფიგ. 67. შპრენგელური გისოსების სისტემები

წამწების დაპროექტებისას ითვალისწინებენ მაქსიმალურ შესაძლო გაბარიტს, რომელიც რკინიგზით ტრანსპორტირების შემთხვევაში სიმაღლეში არ უნდა აღემატებოდეს 3.8 მ, ხოლო სიგანეში – 3.2 მ. იმ შემთხვევაში, როდესაც შეუძლებელია სამონტაჟო მარკის მითითებული გაბარიტის დაცვა, წამწის შუა ზონაში ამატებენ რთულ შპრენგელს (ფიგ. 67, გ, დ) ან წამწეს ანაწევრებენ სიმაღლეში (იხ. ფიგ. 66, გ, დ). სამრეწველი შენობის დაპროექტებისას გამოიყენება ტიპური უნიფიცირებული ფოლადის წამწები მალით 24, 30 და 36 მ (ფიგ. 68).

სამრეწველო შენობების პარამეტრების უნიფიცირების მიზნით მიღებულია, რომ ტიპური წამწების მალი იყოს 6 მ-ს ჯერადი; ზედა სარტყელის ქანობი – ერთნაირი, რაც საშუალებას იძლევა, მალის სიგრძისაგან დამოუკიდებლად, საყრდენთან შენარჩუნდეს წამწის ერთნაირი სიმაღლე.



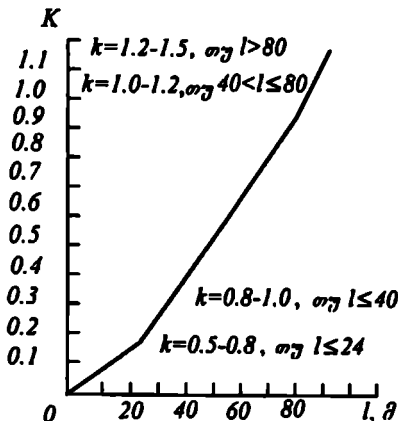
ფიგ. 68. ტიპური უნიფიცირებული ნივნიეური წამწეები

ა - ტრაპეციისებრი (1-9 - ფერმის კვანძები); ბ - პარალელურსარტყელებიანი;
გ - სამკუთხა; დ - ცალფერდა

წამწეებით გადახურვის ეფექტურობის ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელია გადასახური ფართობის კვადრატულ მეტრზე დაყვანილი კონსტრუქციის მასა. ნივნიეურ წამწეზე ლითონის ხარჯი დამოკიდებულია გადასახური მალის სიდიდზე, საანგარიშო დატვირთვაზე და მასალის მზიდუნარიანობაზე. 25-40 კნ/მ² საანგარიშო დატვირთვისას და 280 მპა დენადობის ზღერის მქონე ფოლადისაგან დამზადებული წამწეების საკუთარი მასა შეიძლება განისაზღვროს მიახლოებითი ფორმულით:

$$m = kl, \quad (77)$$

სადაც k არის საკუთარი მასის კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრება ფიგ. 69-ზე მოყვანილი გრაფიკით.



ფიგ. 69. ნიენიეური წამწეების საკუთარი მასის გრაფიკი

ნიენიეური წამწეების ოპტიმალური ბიჯი განისაზღვრება წამწეებსა და გრძივებზე ლითონის მინიმალური ჯამური ხარჯის პირობიდან გამომდინარე და შეადგენს 6–12 მ, ამასთან, როგორც აჩვენა დაპროექტების გამოცდილებამ, ლითონის ხარჯი გადახურვის 1 მ^2 -ზე თითქმის ერთნაირია.

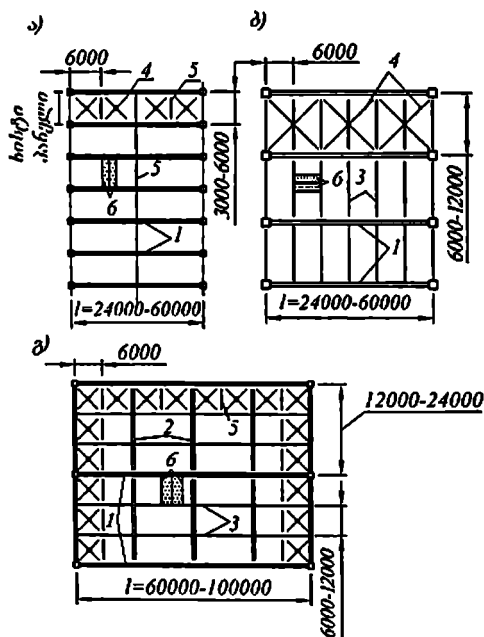
5.3. ნიენიეური გადახურვის გაერთმთლიანება

განასხეავენ ნიენიეური გადახურვის სამ ძირითად კონსტრუქციულ სქემას (ფიგ. 70).

უგრძივო სქემისთვის დამახასიათებელია 3–12 მ ბიჯით განლაგებული ნიენიეური წამწეები, რომლებიც ფარავენ ძირითად მალს l , და მათ შორის კაეშირების სისტემა. გადახურვის ფილებს, ძირითადად რკინაბეტონისას, ალაგებენ უშუალოდ წამწეების ზედა სარტყელებზე. ეს არის ყველაზე გავრცელებული გადაწყვეტა ერთსართულიანი სამრეწველო შენობებისათვის (ფიგ. 70, ა).

ნორმალური, ანუ გრძივებიანი სქემა აგრეთვე საკმაოდ არის გავრცელებული. მას იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც გადახურვის ფილებად გამოიყენება დაპროფილებული ფენილი ან მცირე ზომის აზბესტცემენტის ფილები. გრძივები შეიძლება იყოს ნაგლინი ან ცივად

ნაღუნი შეგელერები, ხოლო როდესაც წამწეების ბიჯი 6 მ-ზე მეტია – გისოსოვანი გრძივები (ფიგ. 70, ბ).



ფიგ. 70. ნიენიფური გადახურების კონსტრუქციული სქემები

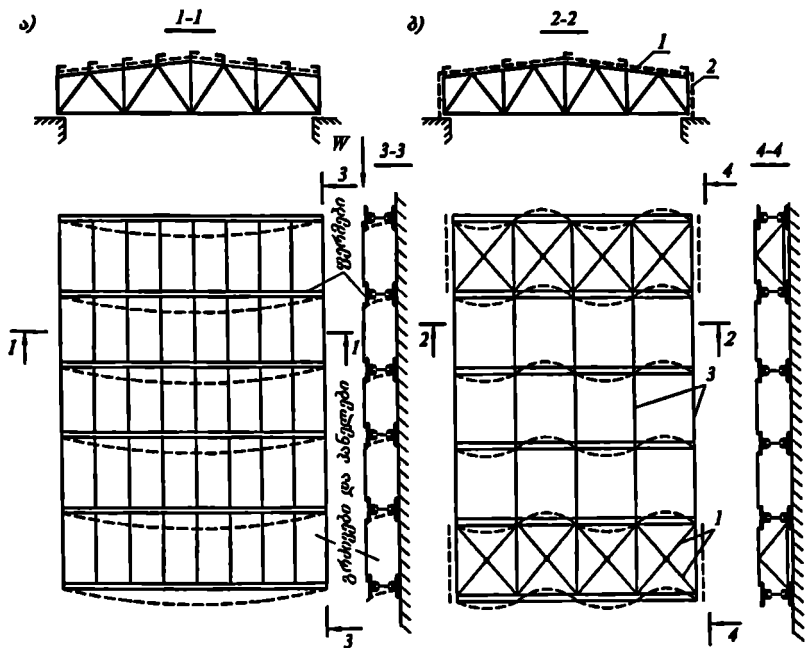
ა – მარტივი; ბ – ნორმალური; გ – გართულებული;

1 – ნიენიფური წამწე; 2 – იგივე, მეორეხარისხოვანი; 3 – გრძივები;

4 – კაეშირები; 5 – განმზღენები; 6 – გადახურვის პანელები;

გართულებულ სქემას იყენებენ დიდმალიან გადახურებებში. იგი შედგება მძიმე ნიენიფკეშა წამწეებისაგან, რომლებზეც შემცირებული ბიჯით ეყრდნობა მალის ნიენიფური წამწეები, ხოლო მათზე ალაგებენ გრძივებს ან ფილებს (ფიგ. 70, გ).

გაერთმთლიანების სქემის შერჩევა ხორციელდება ვარიანტების შედარებით ძირითადი მაჩვენებლების მიხედვით, როგორიცაა ლითონტევადობა, დამზადების შრომატევადობა და დაყვანილი ხარჯები.



ფიგ. 71. ნივნიური გადახურვის სიერციით მუშაობა

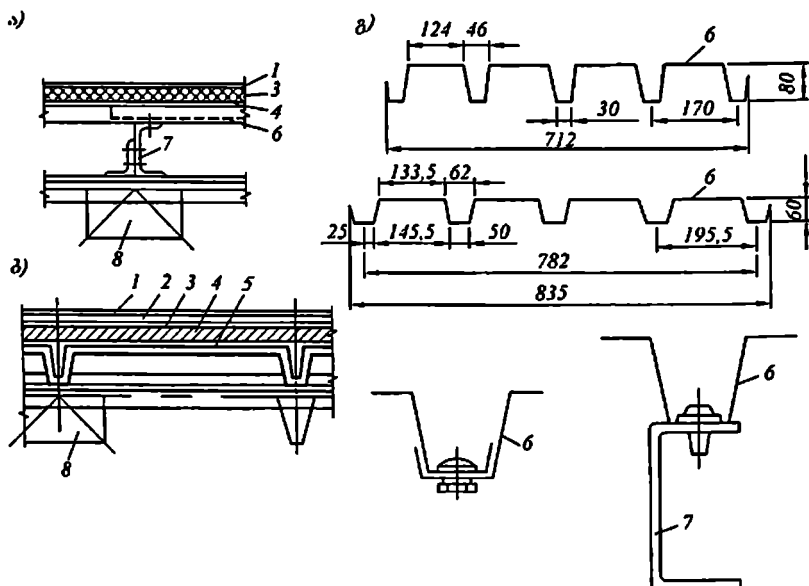
ა - წამწეების დეფორმაცია მდგრადობის დაკარგვის შემთხვევაში უკავშირო სისტემაში; ბ - წამწეების ზედა შეკუმშული სარტყელების დეფორმაცია მდგრადობის დაკარგვის შემთხვევაში კავშირებიან სისტემაში; 1 - პორიზონტალური კავშირები; 2 - ვერტიკალური კავშირები; 3 - გრძივები.

ნივნიური გადახურვის საერთო სიერციით სიხისტეს კმნიან წამწეები, გრძივები და მათ შორის განლაგებული პორიზონტალური და ვერტიკალური კავშირების სისტემა (იხ. პ. 6.1). გამჭოლ ბრტყელ ფერმას საკუთარ სიბრტყეში აქვს მცირე პორიზონტალური სიხისტე, ამიტომაც მდგრადობას იძენს მხოლოდ სხვა წამწესთან ერთად ხისტ-სიერციით ბლოკში. ელემენტებს, რომლებიც აერთიანებენ ორ ფერმას ხისტ ბლოკში, ეწოდებათ კავშირები (ფიგ. 71, ბ).

5.4. გადახურვის ბურულის ელემენტები

გადახურვა შეიცავს ნივნიურ წამწებს, კაეშირებს, გრძივებსა და ბურულს. სამრეწელო და სამოქალაქო შენობებისა და ნაგებობებისათვის გამოიყენება თბილი და ცივი ბურულები.

ლითონის ნივნიური წამწებისათვის ფართოდ გამოიყენება მსუბუქი თბილი ბურულები, რომელიც შედგება ფოლადის დაპროფილებული ფენილის, მათუნებლის, ასფალტის მოჭიმვის და 3-4 შრიანი რუბეროიდის ხალიჩისაგან ბიტუმის მასტიკაზე (ფიგ. 72). ასეთ ბურულს აწობენ ნაგლინი ან ნაღუნი შეელერების გრძივებზე ბიჯით 3 მ, რომლებიც მიმაგრებულია წამწის ზედა სარტყელის კვანძებში მცირე ზომის კუთხედებით, ან უშუალოდ წამწების ზედა სარტყელებზე. ასეთი დახურვების უპირატესობაა მცირე საკუთარი წონა, რომელიც არ აღემატება 300-500 ნ/მ².

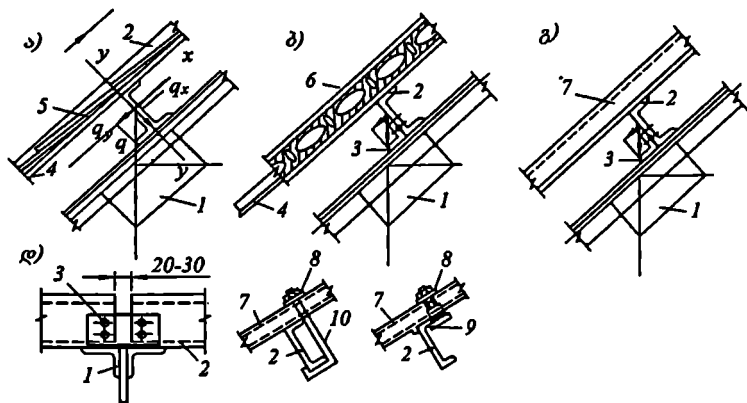


ფიგ. 72. თბილი ბურული

ა - დაპროფილებულ ფენილზე; ბ - რკინაბეტონის ფილებზე; გ - დაპროფილებულ ფენილიანი გადახურვის დეტალები; 1 - ჰიდროსაიზოლაციო ხალიჩა; 2 - ცემენტის მოჭიმვა; 3 - მათუნებელი; 4 - ორთქლიზოლაცია; 5 - რკინაბეტონის ფილა; 6 - დაპროფილებული ფენილი; 7 - გრძივი; 8 - წამწე

დაპროფილებული ფენილი გრძივებზე და წამწების ზედა სარტყელებზე მაგრდება 6 მმ დიამეტრის თვითჭრადი ჭანჭიკებით, ბიჯით 300 მმ, ხოლო ფურცლების ერთმანეთთან შეუღლება ხორციელდება 5 მმ დიამეტრის სპეციალური მოქლონებით. გარდა აღნიშნული დახურეებისა, გრძივებზე აგრეთვე ეწყობა მსუბუქი კერამიტიტონის ფილები, რომლებიც ერთდროულად ასრულებს მზიდ და თბოდაცველ ფუნქციებს და სამშრიან აზბესტცემენტის პანელებს, მათბუნებელი შუა შრით.

ნივინეური გადახურვის უგრძივო სქემებში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას მსხვილპანელური წიბოვანი რკინაბეტონის ფილები ზომით 1.5x6 და 3x6 მ, სამაღლით 300 მმ, და 3x12 მ, სიმაღლით 450 მმ. ფილები წამწების ზედა სარტყელებზე მაგრდება ჩასატანებელ დეტალებზე მიღუღებით. ასეთი გადახურვების ნაკლოვანი მხარეა რკინაბეტონის ფილების დიდი საკუთარი წონა (1600–1900 ნ/მ²), რაც იწვევს გადახურვის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციების მასალის მნიშვნელოვან ზრდას.



ფიგ. 73. ცივი ბურული გრძივებზე

ა – მცირეზომიანი ბრტყელი ფილებით (მინის, აზბოცემენტის და სხვა);

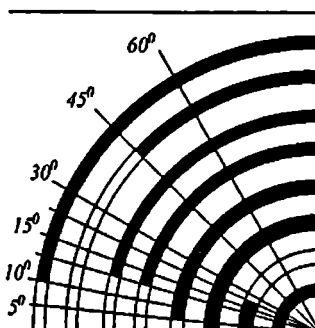
ბ – მინაპროფილიტითა და მინაბლოკებით; გ – დაპროფილებული ფურცლებით (ფოლადის, ალუმინის, მინაპლასტიკის და სხვ.); დ – ბურულის დეტალები;

1 – ფერმა; 2 – გრძივი; 3 – კუთხედი; 4 – ტესებრი პროფილი; 5 – ბრტყელი ფილები; 6 – მინაბლოკები; 7 – დაპროფილებული ფურცელი; 8 – მაგნიტრობელი შუასადები; 9 – ფასონური ფირფიტა; 10 – კავი;

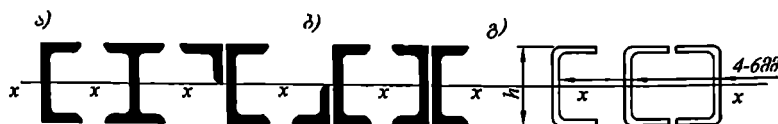
გაუთბობლად შენობებსა და ნაგებობებში შეიძლება გამოყენებულ იქნას ცივი ბურულები, როგორიცაა მცირე ზომის მინისებრი აზბესტცემენტის ფილები, მინაბლოკები და მინაპროფილიტი, დაპროფილებული ფენილი და მინაპლასტიკი, აგრეთვე რკინაბეტონის ფილები მათბუნებლის გარეშე (ფიგ. 73). მსუბუქი ტიპის ცივი დახურვები ეწყობა გრძივების სქემის მიხედვით, გრძივებს შორის წერილი ფილების დასამაგრებლად დამატებითი გამანაწილებელი პროფილების დამატებით. ნიენიური წამწის მოხაზულობამ უნდა უზრუნველყოს ზედა სარტყელის ქანობი, დამახასიათებელი ბურულის მასალისთვის 27-ე ცხრილის რეკომენდაციების შესაბამისად.

ცხრილი 27

ბურულის დასაშვები ძანოზი და მასა, კგ/მ²

	აღუშინის	3 - 5
	მინის	25 - 30
	ფოლადის	10 - 20
	აზბესტცემენტის	15 - 20
	მინაბლოკის	100 - 150
	არმოცემენტის	50 - 70
	რულონის	10 - 25
	პლასტმასის	15 - 30

ნიენიურ გადახურვებში გამოიყენება მთლიანკედლიანი (ნაგლინი ან ნაღუნი პროფილები) და გისოსოვანი გრძივები. მთლიანკედლიან გრძივებს იყენებენ იმ შემთხვევებში, როდესაც ფერმების ბიჯი არ აღემატება 6 მ-ს და დანიშნულებიდან გამომდინარე აქვს სხედასხვა საანგარიშო კვეთი (ფიგ. 74).



ფიგ. 74. მთლიანკედლიანი გრძივების ტიპები

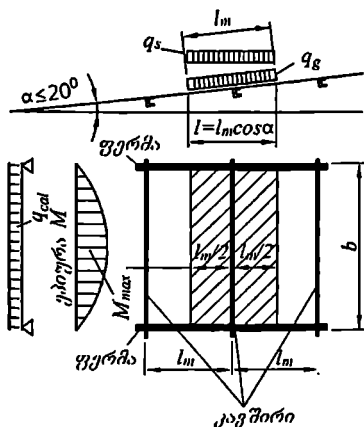
ა - ბურულები ნაგლინი პროფილებისგან; ბ - ბურულები კიდული ჭერისთვის;

გ - ბურულები ციენადუნი პროფილებისგან

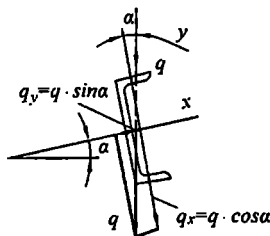
მთლიანკედლიანი გრძივების გაანგარიშება ხორციელდება ბურჟლის, თოვლისა და შეკიდული ჭერის წონისაგან გადმოცემულ დატვირთვებზე. მთლიანკედლიანი გრძივის საანგარიშო სქემა ერთმალისანი ტრადი კოჭის სქემის ანალოგიურია (ფიგ. 75). შესაბამისად, გრძივის საჭირო კვეთი, ინერციის ერთ-ერთი მთავარი ღერძის მიმართ ღუნეისას, შესაძლებელია გაანგარიშდეს ფორმულებით (32) და (33), ხოლო ირიბი ღუნეის შემთხვევაში (ფიგ. 76) ფორმულით:

$$\sigma = (M_x / 1.12 W_x) + (M_y / 1.47 W_y) \leq R_y \gamma_c, \quad (78)$$

სადაც 1.12 და 1.47 კოეფიციენტებია, რომლებიც ითვალისწინებს პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას შევლერული და ორტესებრი კვეთის მთლიანკედლიან კოჭებში.

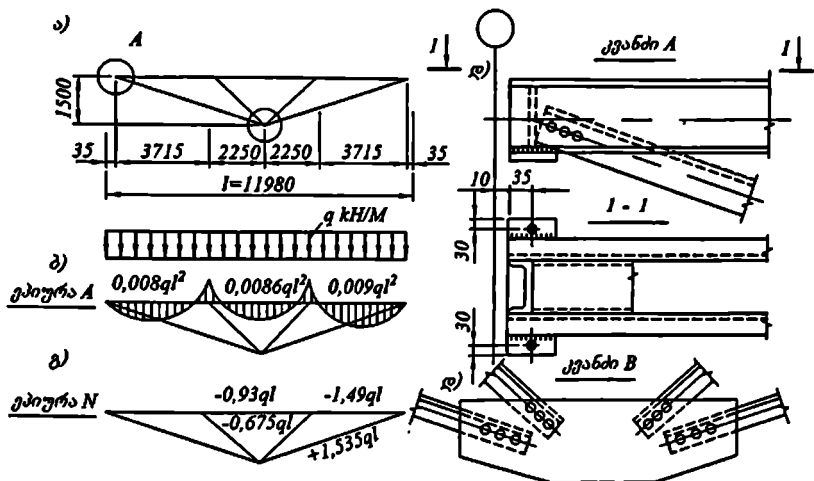


ფიგ. 75. გრძივის საანგარიშო სქემა



ფიგ. 76. მთლიანკედლიანი გრძივის საანგარიშო სქემა ირიბ ღუნეაზე

ირიბ ღუნეას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როდესაც ნივნივური წამწის ზედა სარტყელის დახრის კუთხე პორიზონტის მიმართ აღემატება 20°. წამწის ზედა სარტყელის დიდი ქანობის შემთხვევაში ქანობის მდგენელი ცდილობს გრძივების გადაყირაგებას. ამის თავიდან ასაცილებლად, ქანობის მდგენელის გასწვრივ ყველა გრძივი ერთმანეთთან მაგრდება 16–18 მმ დიამეტრის არმატურის მათეულის ჭიმებით, რომლებიც კეხში მაგრდებიან



ფიგ. 78. ტიპური შპრენგელური გრძივი ელექტრომოქლონებიანი (ან შედუღებული) ნაგებინი შეგულებებისგან

ა - გეომეტრიული სქემა; ბ, გ - ძალები გრძივის ელემენტებში;
დ - საყრდენი კვანძი; ე - ქვედა სარტყელის კვანძი.

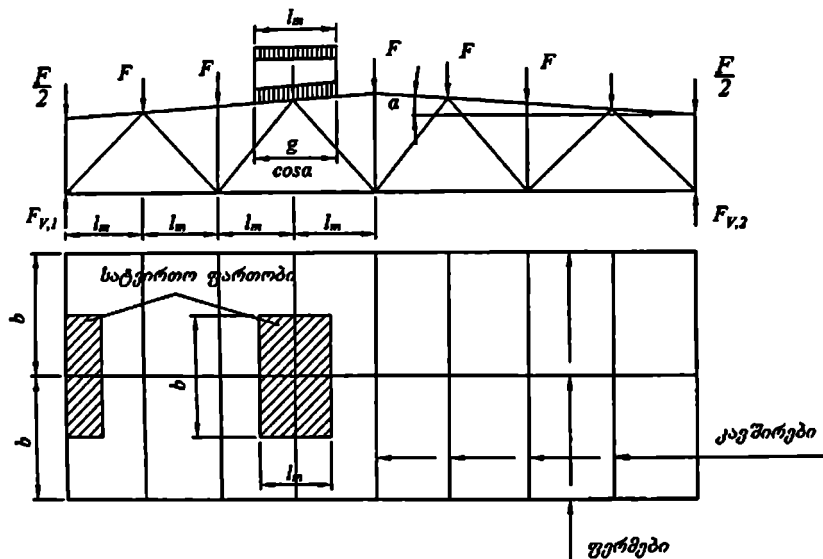
5.5. ნიჰნივური წამწების გუშარობის თავისებურებები და გაანგარიშება

ნიჰნივური წამწების გაანგარიშებას ახორციელებენ ფერმის ყოველ კვანძზე მოქმედი შეყურსული F ძალების მოქმედებაზე (ფიგ. 79) ფორმულით:

$$F = l_m b \Sigma (g_n \gamma_g + v_n \gamma_v + s_n \gamma_s), \quad (79)$$

სადაც g_n , v_n , s_n არის შესაბამისად ნორმატიული მუდმივი, დროებითი და თოვლის დატვირთვები.

თუ ზედა სარტყელის დახრის კუთხე $\alpha > 20^\circ$, (79)-ე ფორმულაში ბურულის საკუთარი წონისგან დატვირთვა იქნება $g_n \gamma_g / \cos \alpha$. კიდული ჭერის, ამწე-კოჭის, შუქფარანების და ა.შ. არსებობის შემთხვევაში, მათგან გამოწვეული დატვირთვები აგრეთვე მოქმედებს წამწის შესაბამის კვანძებში შეყურსული ძალების სახით.

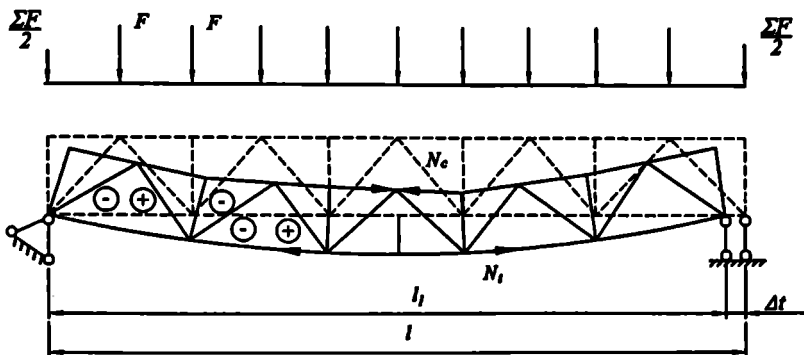


ფიგ. 79. ნიენიური წამწის საანგარიშო სქემა

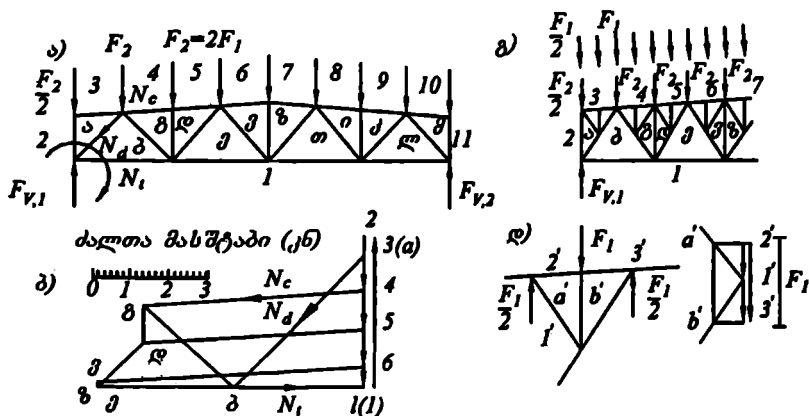
ნიენიური წამწის ელემენტებში საანგარიშო შეყურსული ძალების მოქმედებისას წარმოიქმნებიან გრძივი მკუმშავი და გამჭიმი ძალები, ხოლო წამწე მთლიანად დებულობს ჩაღუნვას f (ფიგ. 80). უგრძივო სქემებში, პანელის შუაში მოდებული (რკინაბეტონის წიბოვანი ფილების დაყრდნობის შემთხვევაში) შეყურსული ძალისაგან, ან სარტყელის სიგრძეზე წრფივი განაწილებული დატვირთვისგან, წამწის ზედა სარტყელმა შესაძლებელია განიცადოს ადგილობრივი ღუნვა. ამ მომენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება იმ ვარაუდით, რომ ზედა სარტყელი მუშაობს როგორც ერთმალისანი ჭრადი კოჭი

$$M_F = F l_m / 4; \quad M_{cal} = (q_g + q_s) l_m^2 / 8, \quad (80)$$

სადაც F არის შეყურსული ძალა პანელის შუაში; q_g , q_s – საანგარიშო წრფივი დატვირთვები საკუთარი წონისა და თოვლისაგან.



ფიგ. 80. ვერტიკალური დატვირთვის ქვეშ მომუშავე ნივნიური წამწე



ფიგ. 81. ძალების განსაზღვრა წამწის ელემენტებში

ა, გ - საანგარიშო სქემები; ბ - მაქსველ-კრემონას დიაგრამა ძირითადი სისტემისათვის; დ - მაქსველ-კრემონას დიაგრამა შარენგელური სისტემისათვის

ნივნიური წამწეების ელემენტებში ძალები განისაზღვრება ცალცალკე თეთოთეული დატვირთვისაგან გრაფიკულ-ანალიზური მეთოდით - მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგების გზით ან ანალიზური - კვანძების ამოკვეთის მეთოდით. პირველი მეთოდი გამოიყენება რთული მოხაზულობის სარტყელების და გისოსის ცელადი დახრის კუთხის მქონე წამწეების გასაანგარიშებლად, ხოლო მეორე - მარტივი წამწეებისათვის. მაქსველ-კრემონას დიაგრამის ასაგებად ღეროებს აღნიშნავენ ციფრებით და ასოებით

(ფიგ. 81), ანალიზური გზით საზღვრავენ საყრდენ რეაქციებს და აგებენ გარე და შემდეგ შიგა ძალების მრავალკუთხედს.

შპრენგელური გისოსების შემთხვევაში თადაპირველად აგებენ დიაგრამას ძირითადი სქემისთვის, ანაწილებენ რა შეყურსულ ძალებს შპრინგელური კვანძებიდან ძირითად კვანძებზე, ხოლო შემდეგ აგებენ ძალების დიაგრამას შპრენგელურ წამწეში. ამის შემდეგ შეჯამებით საზღვრავენ ძალებს თანამთხვევად ღეროებში. ღეროების კვეთის ტიპის შერჩერვისას ხელმძღვანელობენ ცხრილით 28.

ცხრილი 28

მსუბუქი და საშუალო წამწეების ელემენტების კვეთების ტიპები

ელემენტები	ფოლადის ჟერმები	ალუმინის ჟერმები
ზედა სარტყელი		
ქვედა სარტყელი		
გისოსი		

ვინაიდან წამწეების ელემენტებში ძირითადად წარმოიქმნებიან ცენტრალური გაჭიმვის ან კუმშვის ძალები, ცდილობენ კვეთები შეარჩიონ თანაბრად მდგრადი მთავარი ღერძების მიმართ, ამიტომ წამწეებისათვის უფრო დამახასიათებელია ორი თანაბართაგანი ან არათანაბართაგანი კუთხედებით, შევლერებით, მრგვალი ან სწორკუთხა მიღებით შედგენილი კვეთები. შეკუმშული ზედა სარტყლებისათვის ყველაზე მიზანშეწონილია ორი არათანაბართაგანი კუთხედით შედგენილი (მოკლე თაროებით ერთმანეთთან დაყენებული) კვეთი, რაც ზრდის სიხისტეს წამწის მართობ სიბრტყეში.

ცალკეულ კუთხედებიან კვეთებს იყენებენ მცირედ დატვირთულ ან კონსტრუქციულ ღეროებში, თუმცა მშენებლობაში აგრეთვე გამოიყენება მსუბუქი წამწეები, რომლებიც მთლიანად დამზადებულია თანაბართაგანი ცალკეული კუთხედისაგან. ასეთი წამწეები გამოირჩევა უფრო მაღალი კოროზიამდგომობით და ეფექტურად გამოიყენება აგრესიულ გარემოებიან შენობებში.

ნაგლინი ან გრეხილ-შენადული პროფილებისაგან დამზადებული წამწეების ახალ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებთან შედარებით, შეწყვილებულ

კუთხედებიანი წამწები უფრო მძიმე და დამზადებაში შრომატევადია. ლითონის ხარჯის მიხედვით უფრო ეკონომიურია მრგვალი ფოლადის მიღებისაგან დამზადებული წამწები, თუმცა მათი დამზადება უფრო შრომატევადია მართკუთხა მიღებისა და ცალკეული კუთხედებისაგან დამზადებულ წამწებთან შედარებით. ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებული წამწების ღეროები ფოლადის პროფილების ანალოგიურია. ღია პროფილების გამოყენების შემთხვევაში (კუთხედი, ტესტერი, შეგლერი), მათ ბოლოებში ითვალისწინებენ სპეციალურ გასქელებებს, ე.წ. ბულბებს.

წამწის გაჭიმული ელემენტის კვეთის საჭირო ფართობი $A_{\pi,cal}$ გაიანგარიშება მე-(8) ფორმულის შესაბამისად

$$A_{\pi,cal} = N / R_y \gamma_c, \quad (81)$$

ხოლო შეკუმშული ელემენტისთვის მე-(10) ფორმულის შესაბამისად

$$A_{cal} = N / \varphi R_y \gamma_c. \quad (82)$$

წამწის გაჭიმული ელემენტის განიკვეთს ირჩევენ სორტამენტით, ისე რომ განიკვეთის ფართობის ნამდვილი მნიშვნელობა $A \geq A_{\pi,cal}$.

შეკუმშული ელემენტის განივი კვეთის განსაზღვრა დამოკიდებულია გრძივი ღუნვის კოეფიციენტზე φ , ამიტომ შეკუმშული ღეროების გაანგარიშება ხდება თანამიმდევრული მიახლოების მეთოდით. φ კოეფიციენტის მნიშვნელობა პირველი მიახლოებით აიღება შემდეგი რეკომენდაციების შესაბამისად:

ფოლადის კონსტრუქციებისათვის

$\varphi_1 = 0.6-0.7$, როდესაც $N < 200$ კნ,
 $\varphi_1 = 0.7-0.8$, როდესაც $200 < N < 1000$ კნ,
 $\varphi_1 = 0.8-0.9$, როდესაც $N \geq 1000$ კნ;

ალუმინის შენადნობების
 კონსტრუქციებისათვის

$\varphi_1 = 0.5-0.6$, როდესაც $N < 200$ კნ,
 $\varphi_1 = 0.6-0.7$, როდესაც $200 < N < 1000$ კნ,
 $\varphi_1 = 0.7-0.8$, როდესაც $N \geq 1000$ კნ.

შეკუმშული და გაჭიმული ელემენტების ზღერული მოქნილობა იზღუდება საკუთარი მასისაგან ღეროების ჩაზნექილობის თავიდან ასაცილებლად, სამონტაჟო და საექსპლუატაციო დატვირთვებზე მდგრადობის უზრუნველსაყოფად, დინამიკური ზემოქმედებებისას ვიბრაციის ლიკვიდაციის

მიზნით. სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად შეკუმშული და გაჭიმული ელემენტების ზღვრული მოქნილობის მნიშვნელობები აიღება 29-ე ცხრილის მიხედვით.

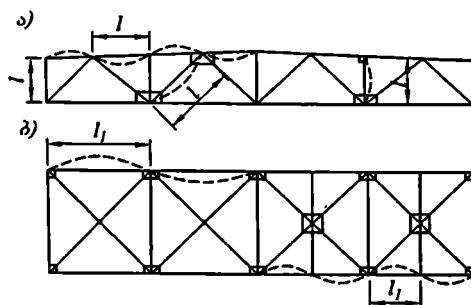
ცხრილი 29

შეკუმშული და გაჭიმული ელემენტების ზღვრული მოქნილობები

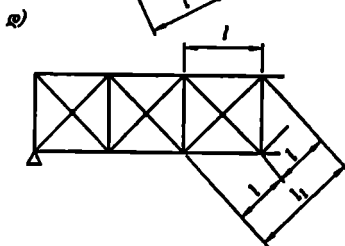
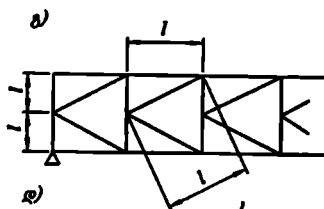
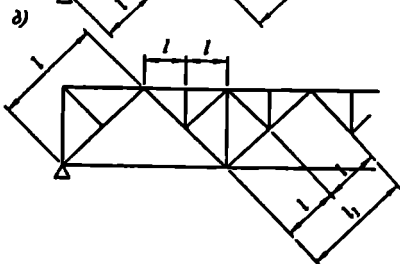
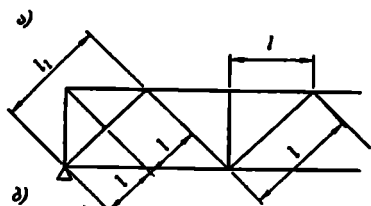
ელემენტები	შეკუმშული ღეროები	გაჭიმული ღეროები		
		უშუალო დინამიკური ზემოქმედების დროს	სტატიკური დატვირთვების დროს	მიმე რეჟიმის შენობებში
სარტყელები, საყრდენი ირიბნები და დგარები	120 (100)	250 (200)	400 (300)	250
სხვა ელემენტები	150 (120)	350 (300)	400 (300)	300
გადახურვის კაფორები	200 (150)	400 (300)	400 (300)	300

შენიშვნა: ფრჩხილებში მოცემულია მნიშვნელობები ალუმინის შენადნობებისთვის.

წამწის შეკუმშულმა ღეროებმა შეიძლება დაკარგონ მდგრადობა როგორც თავის სიბრტეში, ასევე წამწის სიბრტყიდან, ამიტომ საზღვრავენ ღეროს მაქსიმალურ მოქნილობას, რომელსაც შეესაბამება გრძივი ღუნვის მინიმალური კოეფიციენტი. ვითვალისწინებთ რა, რომ შეკუმშული ღეროების მდგრადობის დაკარგვა შეიძლება მოხდეს მხოლოდ ჩამაგრებულ კენაძებს შორის, ჩამაგრების ხასიათის გათვალისწინებით (ფიგ. 82 და 83), ღეროების საანგარიშო სიგრძეები შეირჩევა 30-ე ცხრილის მიხედვით.



ფიგ. 82. წამწების ზედა სარტყელის ელემენტების საანგარიშო სიგრძეების განსაზღვრისათვის



ფიგ. 83. წამწების გისოსის ელემენტების
საანგარიშო სიგრძეების განსაზღვრისათვის

ცხრილი 30

ბრტყელი წამწების შეკრული ელემენტების საანგარიშო სიგრძეები $l_{\text{ფ}}$

გრძივი ღუნვა	მარტივი გისოსით (იხ. ფიგ. 82)			რთული გისოსით (იხ. ფიგ. 83)		
	სარტყ ლები	გისოსი		სარტყ ლები	გისოსი	
		საყრდენ ირიბნები და დგარები	სხვა ელემენტები		საყრდენ ირიბნები და დგარები	სხვა ელემენტები
წამწის სიბრტყეში	l	l	$0.8l$	l	l	$0.8l$
წამწის მართობულ სიბრტყიდან	l_1	l_1	l_1	l_1	l_1	l_1

აღნიშვნები: l – მანძილი უახლოეს კვანძებს შორის წამწის სიბრტყეში; l_1 – მანძილი კვანძებს შორის, რომლებიც დამაგრებული არიან წამწის სიბრტყიდან გადაადგლების თავიდან ასაცილებლად.

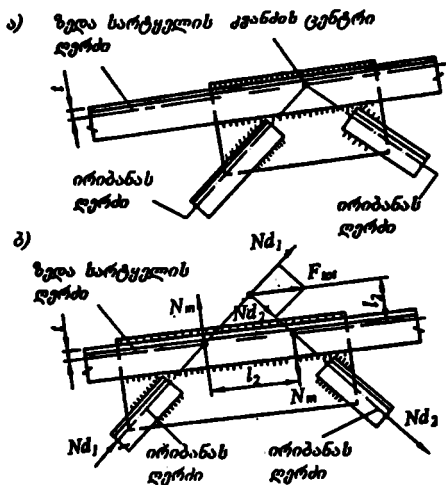
წამწის სიბრტყეში გისოსის ელემენტების საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრისათვის 0.8 კოეფიციენტის შემოტანა ითვალისწინებს ღეროების დრეკად ჩამაგრებას ფასონურებში, იდეალურსახსრიანი საანგარიშო სქემისაგან განსხვავებით. ჩაკეტილ პროფილებიანი სარტყელებისა და გისოსის მქონე წამწებისათვის, რომელთა გისოსის ელემენტები სარტყელებთან მიერთებულია პირმიდგმით, სიბრტყეში და წამწის სიბრტყიდან გისოსის ელემენტების საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრისას იღებენ კოეფიციენტს 0.9. გარდა ამისა, გისოსის ძირითადი შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ მუშაობის პირობების კოეფიციენტს $\gamma_c = 0.8$ (იხ. პ. 1.4.), რომელიც ამცირებს საანგარიშო წინაღობას იმის გამო, რომ გრძელი ($\lambda \geq 60$), მცირედ დატვირთული ღეროები შეიძლება დეფორმირდეს სამუშაოების წარმოების პროცესში. შედეგად შეიძლება გაჩნდეს საწყისი ექსცენტრისიტეტი, რომელიც მეტად სახიფათოა ექსპლუატაციის პერიოდში. ღეროების კეთების შერჩევა მოსახერხებელია 31-ე ცხრილში მოყვანილი ფორმის მიხედვით.

5.6. წამწის კონსტრუირების საფუძვლები. კვანძების გაანგარიშება

წამწის კვანძების კონსტრუირების საფუძველია კვანძში შემაჯალი ყველა ღეროს ღერძების კვანძის ცენტრში გადაკვეთა (ფიგ. 84, ა). ამ შემთხვევაში მიიღწევა ღერძული ძალების შენარჩუნება ყოველ ღეროვან ელემენტში. კვანძში ღერძების განცენტრების შემთხვევაში (ფიგ. 84, ბ) ტოლქმედი ძალა F_{tot} სარტყელის მიმართ მოდებული იქნება e_2 ექსცენტრისიტეტით, რის შედეგადაც კვანძში გაჩნდება დამატებითი მღუნავი მომენტი $M = F_{tot} e_2$. დამატებითი მომენტის გაჩენა იწვევს წამწის სიბრტყეში კვანძის დაგრესას N_m ძალებით და ღეროებში არაცენტრალურ კუმშვას და გაჭიმვას, რაც გამოიწვევს მასალის ხარჯის გაზრდას.

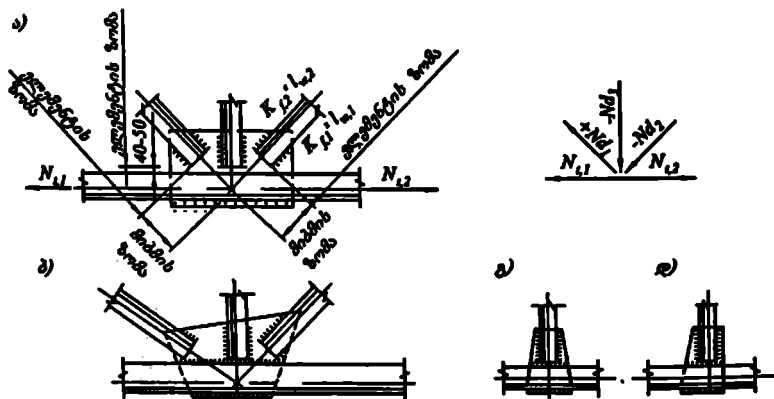
საკვანძო ფასონურების გაბარიტები განისაზღვრება პირობით, რომ ღეროვანი ელემენტების მიმაგრება ხორციელდება ფლანგური შენადული ნაკერებით ან მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით, შესაუღლებელ ელემენტებს შორის 40–50 მმ ღრეხის გათვალისწინებით (ფიგ. 85). დამზადების შრომატევადობის შემცირების მიზნით, ფასონურებს უნდა ჰქონდეთ მარტივი

მართკუთხა ფორმა, ხოლო შეერთების სიმბოციის უზრუნველსაყოფად განიკეკეთის ზომები უნდა იყოს ისეთი, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს ფასონურებისა და ღეროვანი ელემენტების თანაბარი სიმბოციც. დაუშვებელია ფასონურას დაპროექტება ძალების ღერძის მიმართ ასიმეტრიულად, რადგანაც ამ შემთხვევაში წარმოიშობა ადგილობრივი მღუნავი მომენტები (ფიგ. 85, დ).



ფიგ. 84. ღეროების დაცენტრება წამწის კვანძებში

ა - სწორი; ბ - არასწორი



ფიგ. 85. ფასონურას მიმაგრება ხარტყულებთან და ორიბნებთან

ა, ბ - სწორი; გ, დ - არასწორი.

წამწის ყველა კეპში ფასონურას სისქეს იღებენ ერთნაირს შეკუმშულ საყრდენ ირიბანაში მოქმედი საანგარიშო ძალების მიხედვით (ცხრილი 32), ვინაიდან, ამ კეპში, ღეროს ტორსსა და საყრდენი კეანძის სიხისტის წიბოებს შორის უბანზე, ფასონურას მდგადობის დაკარგვის საშიშროება იქმნება. დიდმალიან ფერმებში დასაშვებია საყრდენი კეანძის ფასონურა აღებულ იქნას 2 მმ-ით სქელი სხეა ფასონურებთან შედარებით.

ცხრილი 32

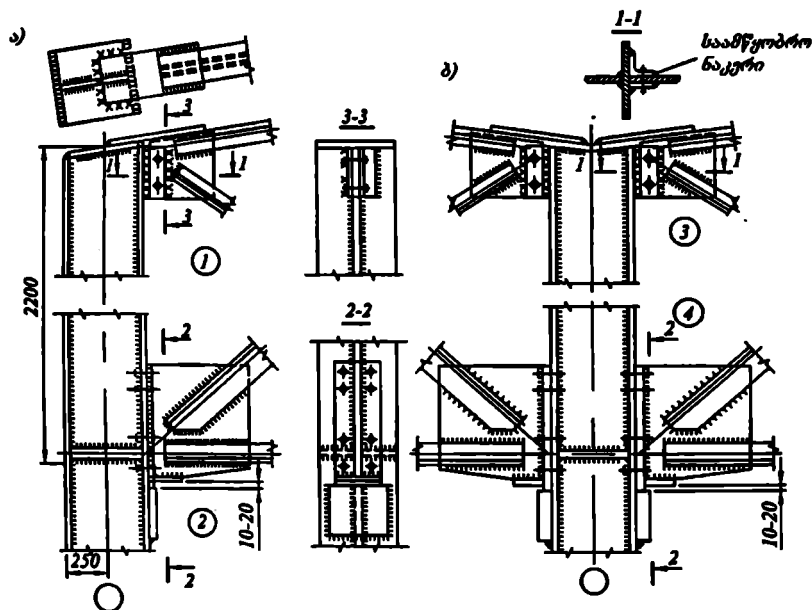
წამწების ფასონურების რეკომენდებული სისქე

საანგარიშო ძალეა საყრდენ ირიბანაში, კნ	150–დე	160–250	260–400	410–600	610–1000	1010–1400	1410–1800	1800-ზე მეტი
ფასონურას სისქე, მმ	6	8	10	12	14	16	18	20

ჭრადი ღეროების საკეანძო ფასონურასთან მიმაგრების შენადული ნაკერების გაანგარიშებას აწარმოებენ მოცემულ ღეროში მოქმედ ძალეაზე. ფასონურას უწვევტ სარტყელთან მიმაგრების ნაკერები უნდა გაანგარიშდეს პანელებში ძაღვების სხეაობაზე (ფიგ. 85, ა). ჭრად საკეანძო ფასონურებთან, სარტყელების ღეროებზე ზესადებებიან, საპირაპირე კეანძებში ფასონურას სარტყელთან მისამაგრებილი ნაკერების გაანგარიშებას ახდენენ გისოსის ელემენტებში ტოლქმედ ძალეაზე.

5.7. მსუბუქი წამწების კონსტრუქცია

ნივინეური წამწები შეიძლება დაეყრდნოს ფოლადის ან რკინაბეტონის სვეტებზე, აგურის ან ბეტონის კედლებზე, აგრეთვე ნივინეუქეა კონსტრუქციებზე. მშენებლობის პრაქტიკაში აგრეთვე გამოიყენება წამწის ხისტი მიმაგრება სვეტზე გვერდიდან (ფიგ. 86), რაც უზრუნველყოფს საანგარიშო მაღლისა და კონსტრუქციის სარტყელებში საანგარიშო ძაღვების შემცირებას. ზედა სარტყელში გრძივი ძაღვების გადაცემა სვეტზე ხორციელდება სარტყელის კუთხედების თაროებზე და სვეტის სათაესის პორიზონტალურ ფურცელზე მიღუღებული საპირაპირე ზესადებით, ხოლო ქვედა სარტყელში – ტორსული საყრდენი წიბოთი.



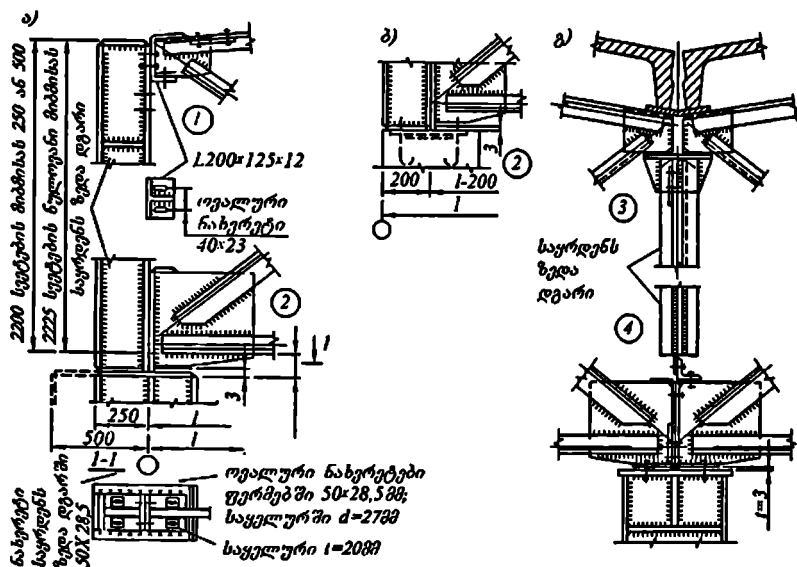
ფიგ. 86. ტიპური უნიფიცირებული წამწების საყრდენი კვანძები (1-4) წამწების სვეტთან გვერდიდან მიმაგრების შემთხვევაში

ა - დაყრდნობა განაპირა სვეტზე; ბ - დაყრდნობა შუა სვეტზე.

ტიპურ გადაწყვეტებში (იხ. ფიგ. 68), წამწების საყრდენი კვანძების უნიფიკაციის მიზნით, ფოლადის ან რკინაბეტონის სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში იყენებენ სახსრულ ჩამაგრებას, რომლის დროსაც წამწის საყრდენის რეაქცია სვეტის სათავეს გადაეცემა ვერტიკალური საყრდენი წიბოს ტორსით (ფიგ. 87). ფოლადის სვეტების გამოყენების შემთხვევაში, განაპირა ღერძებზე მიბმას აპროექტებენ ღერძულად (ფიგ. 87, ა), რკინაბეტონის სვეტების დროს კი მიბმა ნულოვანია (ფიგ. 87, ბ). საყრდენის ზედა ღვარი განკუთვნილია წამწის ზონაში შემომფარგელებელი პანელების დასამაგრებლად.

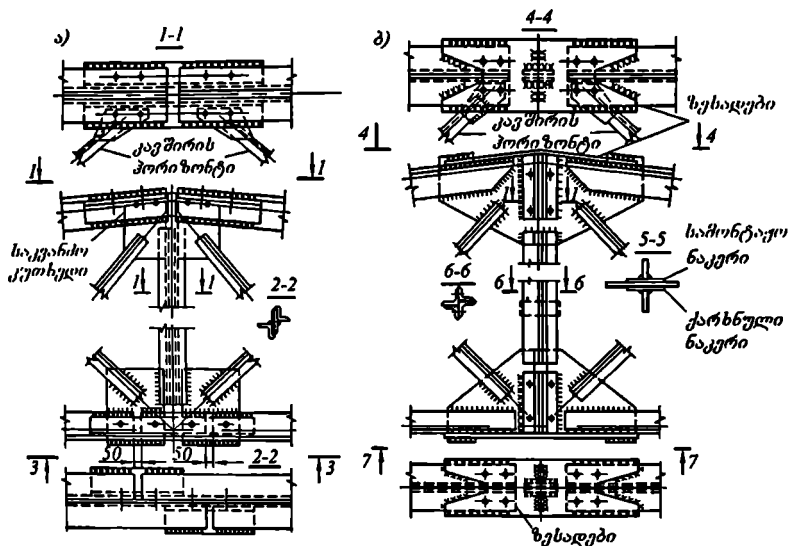
წამწების ყველაზე საპასუხისმგებლო კვანძებია სამონტაჟო პირაპირა კვანძები (ფიგ. 88). ამ კვანძების საჭიროება აიხსნება ნივნიური წამწის ცალკეულ სამონტაჟო ელემენტებად დანაწევრების (უფრო ხშირად ორ ნახევარფერმად, მაღის შუაში - სარტყელებში მაქსიმალური გრძივი

ძაღვების მოქმედების ზონაში) აუცილებლობით. ნახევარწამწების ურთიერთ-შენაცვლებადობის პირობიდან გამომდინარე, სამონტაჟო ელემენტებად დანაწევრება აგრეთვე გულისხმობს საკანძო ფასონურების ორ ტოლ ნაწილად დანაწევრებას.



ფიგ. 87. ტიპური უნიფიცირებული წამწების საყრდენი კვანძები (1-4) განაპირა (ა, ბ) და შუა (გ) სვეტზე ზევიდან დაყრდნობის შემთხვევაში

სამონტაჟო პირაპირის უმარტივესი კონსტრუქცია ნახევენებია ფიგ. 88, ა-ზ. ზედა სარტყელში პირაპირი გადახურულია სიმეტრიულად განლაგებული საპირაპირე კუთხედებით, რომლებიც მიდუღებულია ზედა სარტყელის კუთხედების თაროებთან. საპირაპირე კუთხედებს ნახევარწამწებთან, პირაპირის ყოველ მხარეს, წინასწარ ამაგრებენ ორ-ორი სამონტაჟო ჭანჭიკით. ქვედა (პორიზონტალურ) სარტყელში საპირაპირე კუთხედებს განლაგებენ ხტულად, რაც ამაღლებს პირაპირის საიმედოობას, ვინაიდან ამ შემთხვევაში პირაპირი დახურულია ერთი საპირაპირე კუთხედით და კვანძის ფასონურით.

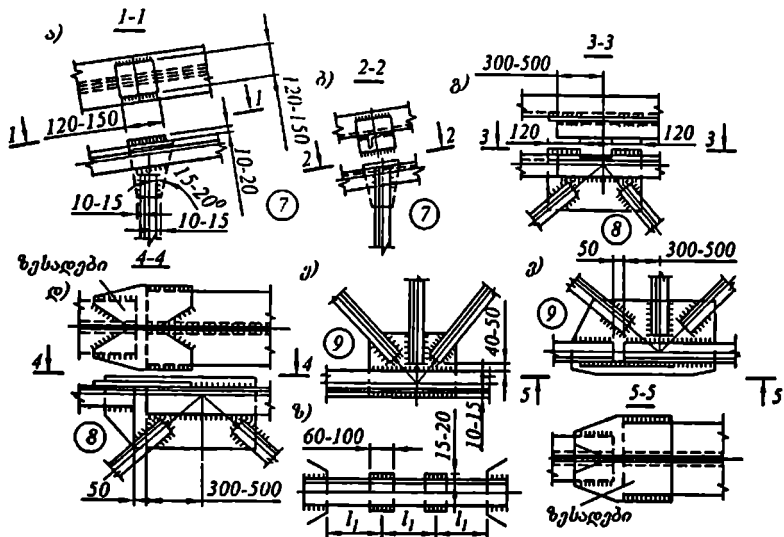


ფიგ. 88. წამწეების ზედა და ქვედა სარტყელების სამონტაჟო პირაპირები

ა - კუთხედი საპირაპირე ზესადებებით; ბ - ფურცლოვანი საპირაპირე ზესადებებით

ამავე მოთხოვნებს პასუხობს ფიგ. 88, ბ-ზე ნაჩვენები კვანძის კონსტრუქცია. ეს გადაწყვეტა პირველთან შედარებით უფრო შრომატევადია, მაგრამ ხასიათდება მეტი მზიდუნარიანობითა და საიმედოობით. სამონტაჟო საპირაპირე კვანძების ძირითადი დანიშნულებაა საპირაპირე ელემენტების კვეთისა და სარტყელების კვეთის თანაბარი სიმტკიცის უზრუნველყოფა. წამწეების კვანძების შუალედური კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები ნაჩვენებია ფიგ. 89-ზე.

წამწეებზე რკინაბეტონის წიბოვანი ფილების დაყრდნობის ადგილებში სარტყელების კუთხედების თაროებს აძლიერებენ არა უმეტეს 150x150 სმ ზომის პორიზონტალური საკვანძო ფირფიტებით (ფიგ. 89, ა, ბ). ნულოვანი ძალის მქონე დეროვებში, ფოლადის დამატებითი ეკონომიის მისაღებად დასაშვებია ცალმაგი კუთხედის გამოყენება (ფიგ. 89, გ). ამ შემთხვევაში, და აგრეთვე სარტყელებში უფრო მცირე კვეთის მქონე კუთხედებზე გადასვლისას, შეწყვილებული ან უფრო დიდი კვეთის მქონე კუთხედები კვანძის ცენტრს გადაცილებიან 300-500 მმ-ით (ფიგ. 89, დ)



ფიგ. 89. ტიპობრივი უნიფიცირებული წამწების შუალედური კვანძები და წამწების ელემენტებში შემავრთბელი თამასების მოწყობა

პირაპირში საანგარიშო კვეთად მიიჩნევა საკვანძო ფასონურას ფურცლისა და ზესადების ფირფიტებისაგან შედგენილი კვეთი. ორი კუთხედისგან, შევლერისგან და ა.შ. შედგენილი ღეროების ერთობლივი მუშაობა უზრუნველყოფილია იმ შემთხვევაში, თუ მათ შორის ჩადგმულია შემავრთბელი თამასები (ფიგ. 89, ზ). შეკუმშულ ღეროების სიგრძეზე თამასებს აყენებენ ბიჯით $\leq 40i_x$ (სადაც i_x კუთხოვანას ინერციის რადიუსია $x-x$ ღერძის მიმართ), ხოლო გაჭიმული ელემენტებისთვის – ბიჯით $\leq 80i_x$. თამასების სისქე აიღება წამწების ძირითადი საკვანძო ფასონურების სისქის ტოლი.

ფოლადის ეკონომიის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა ფოლადის მილისებრი კონსტრუქციების გამოყენება. თეორიულმა და ექსპერიმენტულმა კვლევებმა, აგრეთვე მშენებლობაში მილისებრი ელემენტებისაგან დამზადებული ნივთიერების წამწების გამოყენებამ აჩვენა, რომ ჩვეულებრივი პროფილებისაგან დამზადებულ წამწებთან შედარებით, ფოლადის ერთი და იგივე მარკის შემთხვევაში და თანაბარ საექსპლუატაციო პირობებში, ფოლადის ეკონომია აღწევს 15–20 %-ს, ხოლო 400–500 მპა ღრობითი წინაღობის მქონე ფოლადების შემთხვევაში, მასალის ხარჯი შეიძლება შემცირდეს 30–40 %-მდე.

მილისებრი წამწები, ფოლადის ეკონომიასთან ერთად, ხასიათდება დამზადების ნაკლები შრომატევადობით საშემდუდებლო სამუშაოების მოცულობების შემცირების გამო.

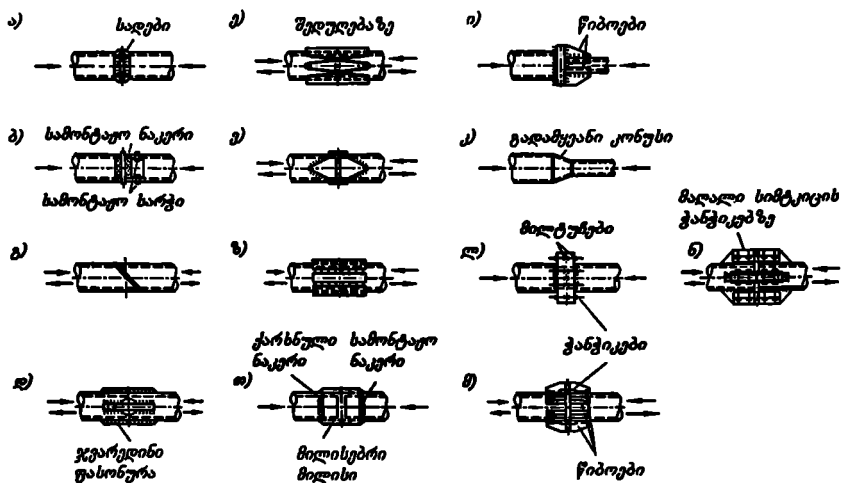
მრგვალი მიღებისაგან ნივნიური წამწების დაპროექტებისას უპირატესობა ენიჭება ისეთ კონსტრუქციულ სქემებს, რომელსაც აქვთ სამკუთხა გისოსი, კვანძებში გისოსის არაუმეტეს ორი ელემენტის შეუღლებით. შპრენგერული გისოსები, კვანძების კონსტრუირების სირთულის გამო, მილისებრ წამწებში რეკომენდებული არ არის. მილისებრი კვეთის გამოყენების მაქსიმალური ეფექტი მიიღწევა კონსტრუქციის ყველა შეკუმშული ღეროს საანგარიშო სიგრძეების ტოლობის შემთხვევაში.

მილისებრ წამწებში დასაშვებია ელექტროშენადული ან ცხლად დეფორმირებული მიღების გამოყენება დიამეტრით 40–530 მმ, თუმცა ყველაზე მიზანშეწონილია მიღები გარე დიამეტრით 140–180 მმ-დე და კედლის სისქის დიამეტრთან შეფარდებით: $1/35 - 1/45$ სარტყელებისათვის; $1/70 - 1/100$ გისოსის შეკუმშული ელემენტებისათვის და $1/100$ გისოსის გაჭიმული ელემენტებისათვის. ამასთან, მილის მინიმალური სისქე უნდა იყოს არანაკლები 3 მმ.

მილისებრი წამწების საკვანძო შეერთებები შეიძლება იყოს ფასონურების გარეშე, საკვანძო ფასონურებითა და საკვანძო ჩასადგმელებით: ცილინდრული, პრიზმული და სფერული ფორმის (ფიგ. 90). მასალის ხარჯის მიხედვით ყველაზე ეფექტურია უფასონურო შეერთებები მიღების ცილინდრული შეუღლებით (ფიგ. 90, ა-გ), რომლებიც გამოიყენება გისოსის სარტყელთან არანაკლებ 30° დახრის კუთხის და გისოსის ელემენტებისა და სარტყელების დიამეტრების შეფარდების არანაკლებ $1/3$ -ის შემთხვევაში. გაბრტყელებულ ბოლოებიანი მიღების უფასონურო შეერთებები (ფიგ. 90, ზ, ი, კ) უფრო მარტივი დასამზადებელია, მაგრამ ნაკლებად საიმედოა მუშაობაში.

ფასონურებიანი კვანძები (ფიგ. 90, დ, მ, ს, ტ) იშვიათად გამოიყენება, ვინაიდან ისინი საჭიროებს მასალის დიდ ხარჯს. ასეთი შეერთებები მოსახერხებელია წამწების საყრდენი კვანძებისათვის სვეტებზე ზევიდან დაყრდნობის შემთხვევაში (ფიგ. 90, ს, ტ). საკვანძო ჩასადგმელებიანი კვანძები (ფიგ. 90, ო, პ) გამოირჩევა უნივერსალობით, მათ ფართოდ იყენებენ ნივნიური წამწების სხვადასხვა ტიპებში (განსაკუთრებით სივრცითში), მაგრამ მასალის ხარჯის მხრივ ჩამორჩებიან უფასონურო შეერთებებს.

პირაპირებს (ფიგ. 91, ლ-ნ) (ტორსული მილტუნიებით ან გრძივი წიბოებით) აპროექტებენ სამონტაჟო სახით, გასაგზავნი მარკების ერთ მთლიან კონსტრუქციად შესაუღლებლად. მილტუნი შეერთებები ჭანჭიკებით გათვალისწინებულია, როგორც გაჭიმული, ასევე შეკუმშული ელემენტებისათვისაც.

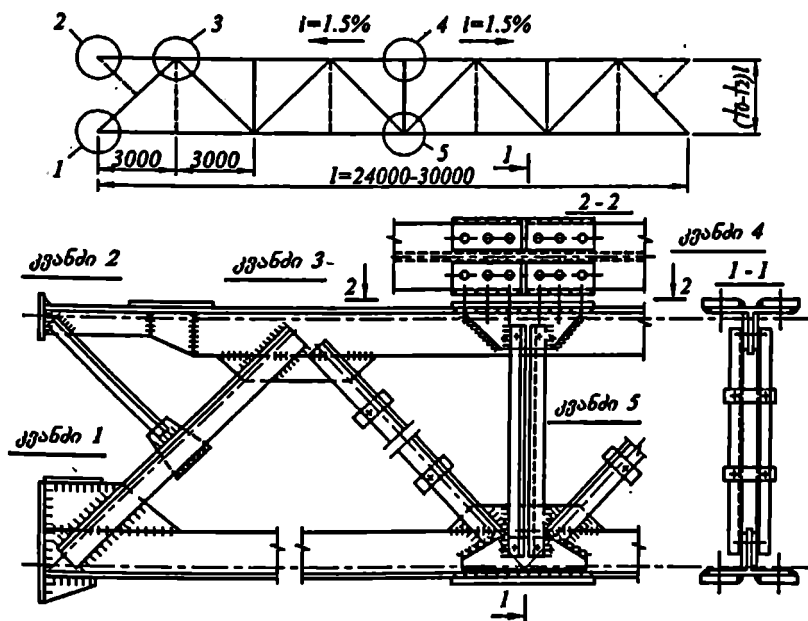


ფიგ. 91. მილისებრი ღეროების შენადული (ა-კ) და ჭანჭიკური (დ-ნ) გრძივი პირაპირები

24 და 30 მ მაღის მქონე სამრეწველო შენობების გადახურვების ეკონომიკური ეფექტურობის გაზრდის მოთხოვნამ გამოიწვია ნივნიური წამწების ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები: ფართოთარობიანი ტესებრი და ორტესებრი, მართკუთხა კვეთის ნალუნ-შენადული, ცალკეული კუთხედი და კუთხედორტესებრი (ცხლად გლინული შეედერისა და კუთხედის კომბინირებული კვეთი) პროფილების გამოყენებით.

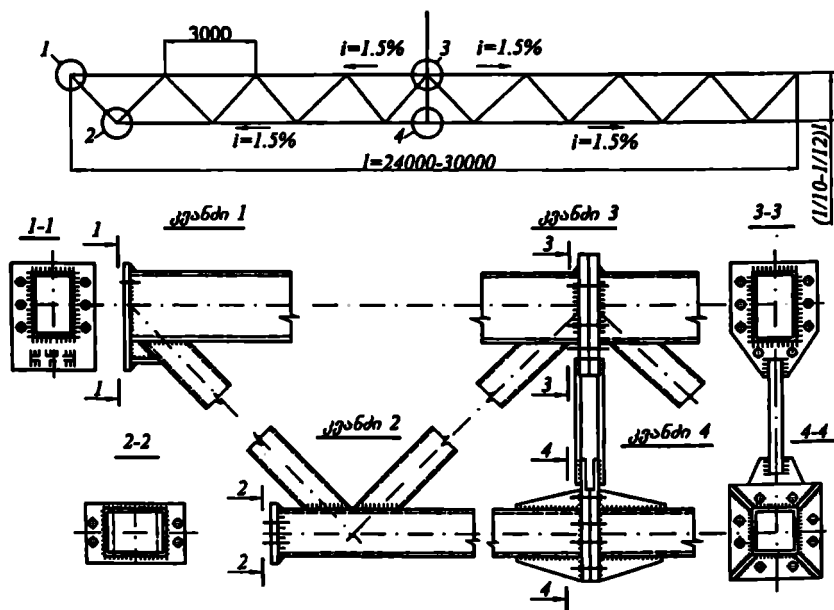
ამ გადახურვების საერთო ნიშანია – ბურულის უგრძივო გადაწყვეტა დაპროფილებული ფენილის უშუალოდ ნივნიური წამწების ზედა სარტყელებზე დაყდნობით. დაპროფილებული ფენილის მზიდუნარიანობიდან გამომდინარე, ნივნიური წამწების ბიჯი მიიღება 3 ან 4 მ. ნივნიური წამწები ეყდნობა ნივნიკვეშა წამწებზე მაღით 12 მ. ნივნიური და ნივნიკვეშა წამწები პარალელურ სარტყელებიანია და ბურულის ქანობი 1.5°-ია.

აღსანიშნავია ფართოთარობიანი ტესებრი და ორტესებრი პროფილები-
ბისგან დამზადებული წამწეების კონსტრუქციები (ფიგ. 92). ისინი წარმატებით
გამოიყენება დაპროფილებული და რკინაბეტონის ფენილებიან გადახურებში.
ამ ტიპის ნივნიეურ წამწეებში სარტყელებს აკეთებენ ფართოთარობიანი
ტესებრი პროფილებისაგან, ხოლო გისოსს – წყვილი კუთხედისაგან. გისოსის
ტიპობრივი სქემის არსებითი ნაკლოვანებაა – კვანძებში გაგანიერების
მოწყობა ტესებრის კედელთან მიდულებული ფურცლოვანი ფასონურების
სახით. გისოსის კუთხედების მჭიდრო მიბჯენისათვის შედულების ნაკერი
პირაპირის ადგილას უნდა იყოს გულმოდგინედ დამუშავებული. საკვანძო
გაგანიერების თავიდან აცილება შესაძლებელია იმ შემთხვევებში, თუ
გისოსი დამზადებულია ცალკეული კუთხედებისგან, შევლერებისგან ან
ტესებრებისგან, როდესაც კვანძში თავს იყრის მხოლოდ ორი ელემენტი –
სამკუთხა დგარების გარეშე, ირიბნული ან ჯვარედინა ტიპის გისოსების
დროს.



ფიგ. 92. ფართოთარობიანი ტესებრი სარტყელების მქონე ტიპობრივი ნივნიეური
წამწეების კვანძები

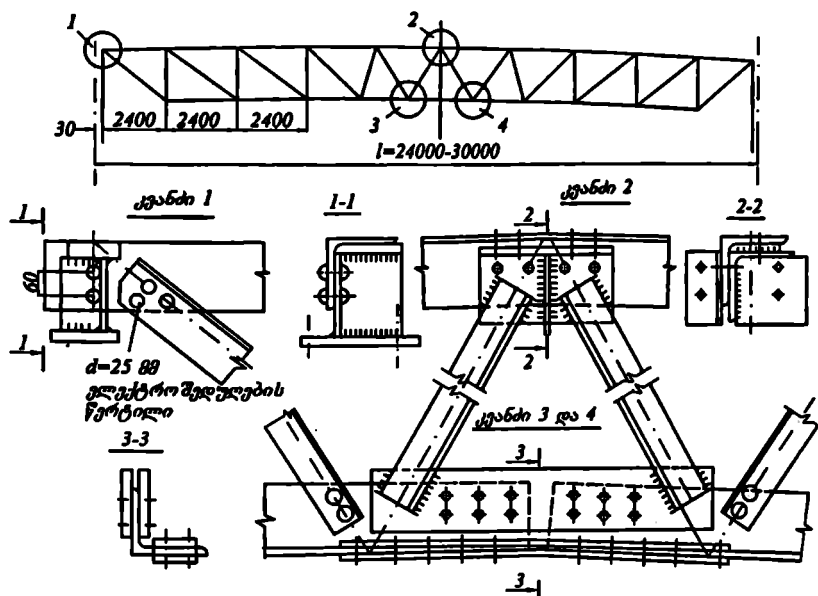
ფართოთარობიანი ტესებრი პროფილებიანი წამწის ქარხნული კვანძები მზადდება წყვილკუთხედიანი ტრადიციული წამწებისათვის დამახასიათებელი ტექნოლოგიით. სამონტაჟო პირაპირები სრულდება შედუღებით ორი წყვილი ზესადების გამოყენებით - ვერტიკალურების, რომელთაგან თითო-თითო ყოველ ნახევარწამწეზე მიდუღებულია ქარხანაში, და პორიზონტალურების, რომლების მიდუღდება ხდება სამშენებლო მოედანზე. ზესადებების დაყენების სიზუსტეს უზრუნველყოფს მათი წინასწარი შეუდლება სარტყელბთან ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკების გამოყენებით.



ფიგ. 93. მართკუთხა კვეთის მიღებისაგან დამზადებული ნივნიეური წამწის კვანძები

სამშენებლო პრაქტიკაში ფართოდაა გავრცელებული მართკუთხა კვეთის ნაღუნ-შენადული პროფილებისაგან დამზადებული ნივნიეური და ნივნიეკევეშა წამწეები (ფიგ. 93). მართკუთხა კვეთის მიღებისაგან დამზადებული წამწეების საკვანძო შეერთებებს აკეთებენ ფასონურების გარეშე. გისოსის ელემენტების უშუალოდ სარტყელბთან მიდუღების გზით. ამასთან, გისოსის ელემენტების კვეთის სიგანეს იღებენ 20-30 მმ-ით ნაკლებს სარტყელის ელემენტების კვეთის სიგანესთან შედარებით, რაც

უზრუნველყოფს შენადული ნაკერების ნორმალურ განლაგებას და არ იწვევს თაროების ადგილობრივ ღუნებას. ასეთი წამწეების ზედა სარტყელს აქვს სიმაღლის მიხედვით განვითარებული მართკუთხა კვეთი, რომელიც მუშაობს არაცენტრალურ კუმშვაზე. ნივნიური წამწეების სამონტაჟო საპირაპირე კენძებს აკეთებენ მილტუჩების გამოყენებით და ნორმალური სიზუსტის ტანჯიკებით.



ფიგ. 94. ცალკეული კუთხედებისაგან შენადული შეერთებების ჩადნობით დამზადებული წამწის კენძები

უგრძივო გადახურვების (ნივნიური წამწეების ბიჯით 3-4 მ) საუკეთესო ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები აქვთ ცალკეული კუთხედებისაგან შენადული შეერთებების ჩადნობით დამზადებული წამწეებით გადახურვებს (ფიგ. 94). ამ წამწეებში სარტყელები და გისოსი მზადდება თანაბარ და არანაბართაროებიანი კუთხედებისაგან. ელემენტების ყველა ქარხნული შეერთება შესრულებულია ფასონურების გარეშე, რკალური წერტილოვანი შედულებით, იძულებითი გამჭოლი ჩადულებით. 25 მმ დიამეტრის შენადული წერტილები მისამაგრებელ ელემენტებში განლაგებულია სიმეტრიულად ელემენტის ღერძის მიმართ ერთ ან ორ რიგად ბიჯით 60 მმ. ერთი წერტილის

მზიდუნარიანობა შეადგენს 135 კნ-ს. იმისათვის, რომ გისოსის კუთხედების თაროების და სარტყელების შეხების ზედაპირზე შესაძლებელი იყოს არანაკლებ ორი შენადული წერტილის განთავსება, ღერძებს აცენტრებენ სარტყელის წიბოზე. ქვედა გაჭიმული სარტყელის სამონტაჟო პირაპირი სრულდება ზესადებებით მაღალი სიმტკიცის ტანჯიკებზე, ხოლო ზედასი – სარტყელის კუთხედების ტორსების ფრეზით.

ნაღუნ-შენადული სწორთკუთხა პროფილებისაგან, ცალკეული კუთხედებისაგან და კუთხედტესტერებისაგან დამზადებულ წამწევებს ანგარიშობენ ისევე, როგორც ხისტკვანძებიან მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევ სისტემებს, კვანძგარე დატვირთვებისა და კვანძებში განცენტრების გათვალისწინებით.

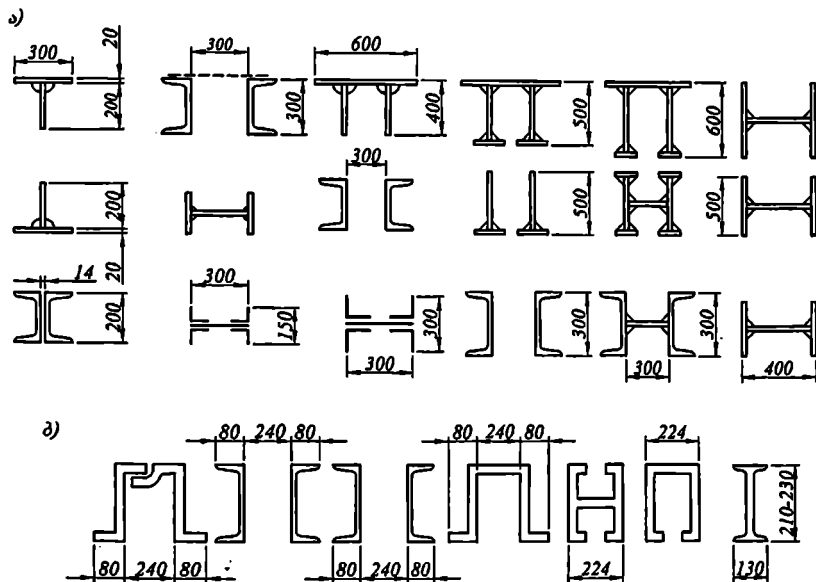
5.8. მძიმე დიდმალიანი წამწევის კონსტრუქცია

60–150 მ მალეში გამოიყენება ე.წ. მძიმე წამწევები, ორკედლიანი კვეთის მქონე ელემენტებით (ფიგ. 95). ასეთი კვეთების გამოყენება გამოწვეულია იმით, რომ ნაგლინი კუთხოვანების კვეთები ვერ აკმაყოფილებს სარტყელებში, ხანდახან კი კონსტრუქციების გისოსებში წარმოქმნილ ძალებს. უპირატესად გამოიყენება შენადული H-ის და II-ის მაგვარი კვეთები (ფიგ. 95, ა), ვინაიდან ისინი საშუალებას იძლევა დაპროექტდეს კვანძებში ღეროების შეუღლების შედარებით მარტივი ვარიანტები. ფიგ. 95, ბ-ზე ნაჩვენებია მძიმე წამწის ალუმიანის შენადნობებისგან დაწნეხილი პროფილების კომპლექტი.

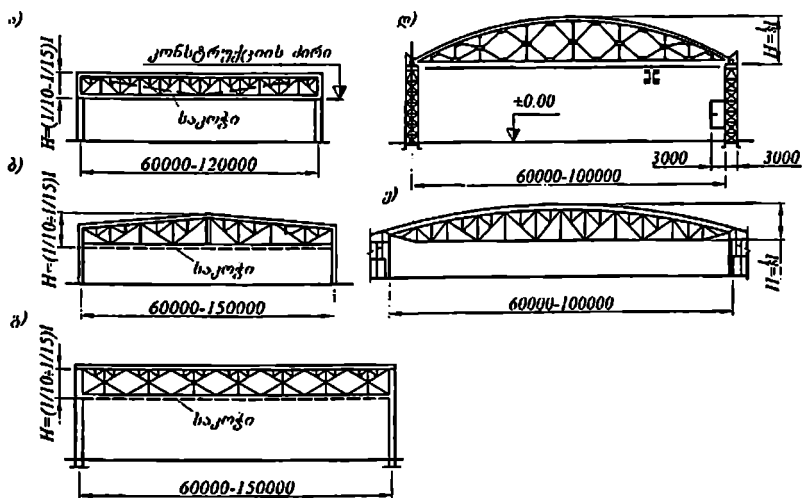
მძიმე დიდმალიან წამწევებს შეიძლება ჰქონდეთ სხვადასხვა მოხაზულობა, მაგრამ მათთვის საერთოა სამკუთხა ან რომბისებრი გისოსების გამოყენება შორეულგელებით, რომლებიც წამწის სიბრტყეში ამცირებს ზედა არაცენტრალურად შეკუმშული სარტყელის საანგარიშო სიგრძეს (ფიგ. 96). დიდი მალეების შემთხვევაში იყენებენ პარალელურსარტყელებიან და ტრაპეციისებრ წინასწარ დაძაბულ წამწევებს (ფიგ. 96, ა-გ).

წამწის საკუთარი მასის შესამცირებლად უპირატესობა ენიჭება სეგმენტურ ან პოლიგონურ მოხაზულებებს (ფიგ. 96, დ, ე), რომელთა გამოყენება დიდი სიმაღლის გამო შეზღუდულია 100 მ-მდე მალეებით.

მძიმე წამწეების სარტყელების კვეთის სიმაღლე, როგორც წესი, არ აღემატება $1/15 l_m$, ხოლო კვეთის სიგანე $b \leq 400-500$ მმ.



ფიგ. 95. მძიმე ნივნივური წამწების ფოლადის (ა) და ალუმინის (ბ) შენადული ელემენტების კეფები

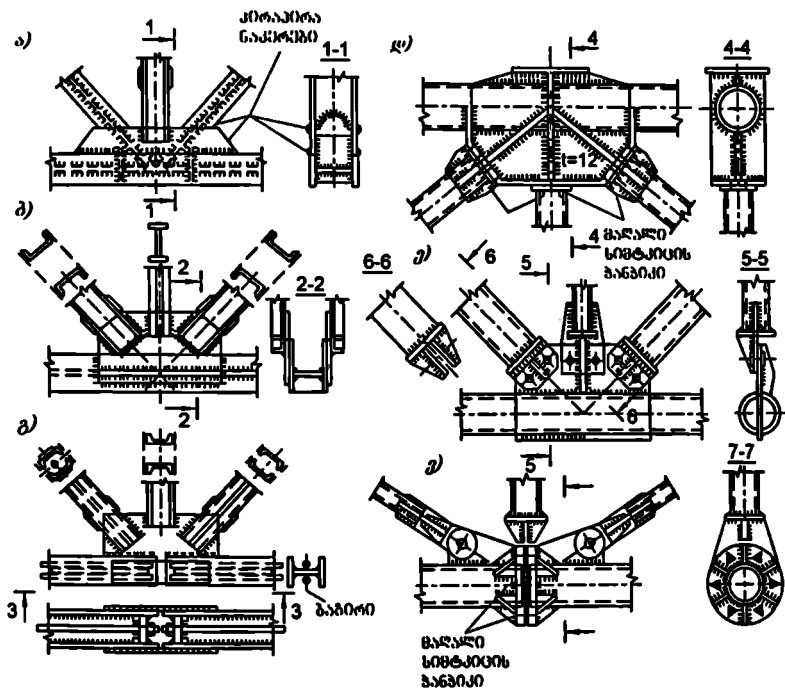


ფიგ. 96. ღიღმალიანი ნივნივური წამწები პარალელური სარტყელებით (ა, გ), ტრაპეციისებრი (ბ) და სვემენტური (დ, ე)

მძიმე წამწეების კონსტრუირების განმასხვავებელი თავისებურებაა სარტყელებისა და გისოსის ელემენტების კვეთის ფორმის ცვალებადობა მოქმედი ძალების სიდიდისა და ნიშნის მიხედვით, კვეთის სიგანის შენარჩუნების პირობიდან გამომდინარე (კვანძებში მათი შეუღლების უზრუნველსაყოფად). მძიმე წამწეების კონსტრუირების დროს აცილებულ უნდა იქნას კვანძებში ღეროების განცენტრება, ეინაიდან დიდი ძალების შემთხვევაში ყველაზე მცირე ექსცენტრისიტეტებიც კი იწვევს მნიშვნელოვანი მღუნავი მომენტების გაჩენას კვანძებში.

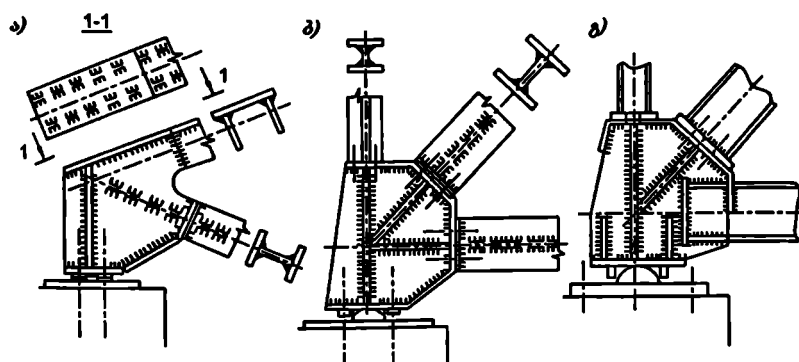
იმის გათვალისწინებით, რომ დიდმალიან წამწებს, დიდი სიმაღლის გამო, ანაწევრებენ გასაგზავნ ელემენტებად ცალკეული ღეროების სახით, უნდა ეცადოთ საკვანძო შეერთებების მაქსიმალური გამარტივება, რათა მონტაჟის დროს შესაძლებელი იყოს მაღალი ხარისხის ტანჯიკებიანი შეერთებებისა და შედუღებითი სამუშაოების ჩატარება. ცალკეული ღეროებისგან აწყობილ მძიმე წამწებში უპირატესობა ენიჭება შეერთებებს მაღალი სიმტკიცის ტანჯიკებით. ამ შემთხვევაში, სამონტაჟო პირაპირებს განაღებენ ღეროებზე კვანძებთან ახლოს. მილისებრი კვეთების გამოყენების შემთხვევაში, მძიმე წამწებისათვის ყველაზე რაციონალურია ტანჯიკებიანი შეერთებები ვერტიკალური ფასონურებით ან მილტუჩებით. მძიმე წამწების დამახასიათებელი კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 97-ზე და ფიგ. 98-ზე.

მძიმე დიდმალიან წამწებში, აგრეთვე მაღალი სიმტკიცის ფოლადისა და ალუმინის წამწებში, ღეროების დიდი გრძივი დეფორმაციების შედეგად (დაგრძელება – გაჭიმული ღეროების, დამოკლება – შეკუმშული ღეროების), წარმოიქმნებან მნიშვნელოვანი ვერტიკალური ჩაღუნვები და საყრდენი კვანძების ჰორიზონტალური გადაადგილებები. კონსტრუქციის ექსპლუატაცი-ზე ზომასზე მეტი ჩაღუნვების გავლენის თავიდან ასაცილებლად, წამწებში აწყობენ სამშენებლო აწევას, რომლის სიდიდე მიიღება მთლიანი მუდმივი და ნახევარი დროებითი დატვირთვისაგან გამოწვეული ჩაღუნვის სიდიდის ტოლი (ფიგ. 99, ა).

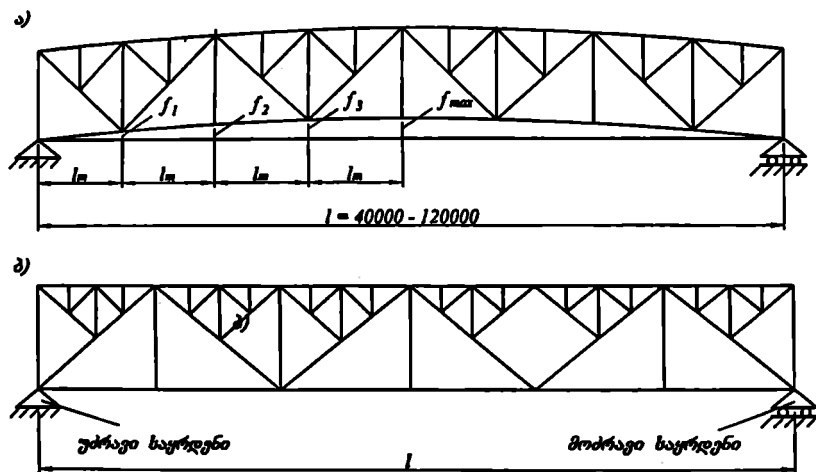


ფიგ. 97. შიშვე წამწის კვანძები

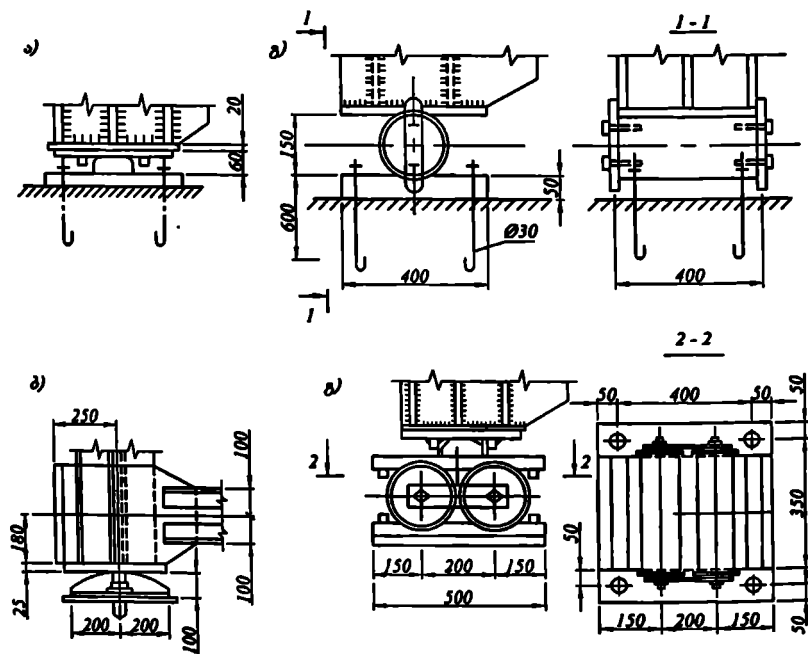
(ა-გ) - შენადული; (დ-ე) - მაღალი სიმტკიცის ზანგის



ფიგ. 98. შიშვე წამწის საყრდენი კვანძები



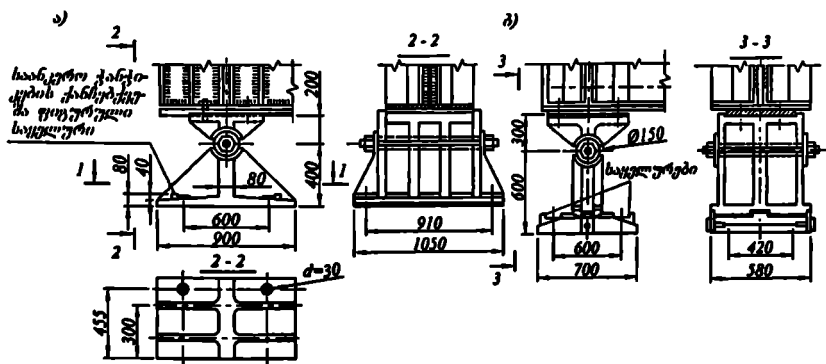
ფიგ. 99. შიშივე წამწის მუშაობის სქემა



ფიგ. 100. შიშივე წამწის საყრდენის ტიპები

ა, ბ - უძრავი; გ, დ - საგორავებიანი

წამწისა და კარკასის საყრდენი (დამჭერი) ელემენტების მუშაობაზე პორიზონტალური გადაადგილების გაელენის გამოსარიცხად, მძიმე წამწებისათვის აპროექტებენ უძრავ და მოძრავ საყრდენებს (ფიგ. 99, ბ). $l = 30-60$ მ მაღლების შემთხვევაში უძრავ საყრდენს აკეთებენ ფილისებრი ან ტანგენციური სახსრების სახით (ფიგ. 100, ა, ბ), ხოლო მოძრავს — ერთსაგორავიანი საყრდენის სახით (ფიგ. 100, გ). $l = 60-120$ (150) მ მაღლების დროს იყენებენ უძრავ ბალანსირულ საყრდენს (ფიგ. 101, ა), ხოლო მოძრავ საყრდენად — ორ ან მრავალსაგორავიან (ნახ. 101, დ) ან ბალანსირულ საყრდენს (ფიგ. 101, ბ).



ფიგ. 101. მძიმე წამწის ბალანსირული საყრდენები

ა — უძრავი; ბ — მოძრავი

ცილინდრული საგორავის დიამეტრი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$d = F_v / n l_{cd} R_{cd},$$

სადაც F_v არის საყრდენი რეაქცია; n — საგორავეების რაოდენობა; d — საგორავის დიამეტრი; l_{cd} — საგორავის სიგრძე; R_{cd} — თავისუფალი შეხების დროს საგორავეების საანგარიშო წინაღობა დიამეტრულ შეკუმშვაზე.

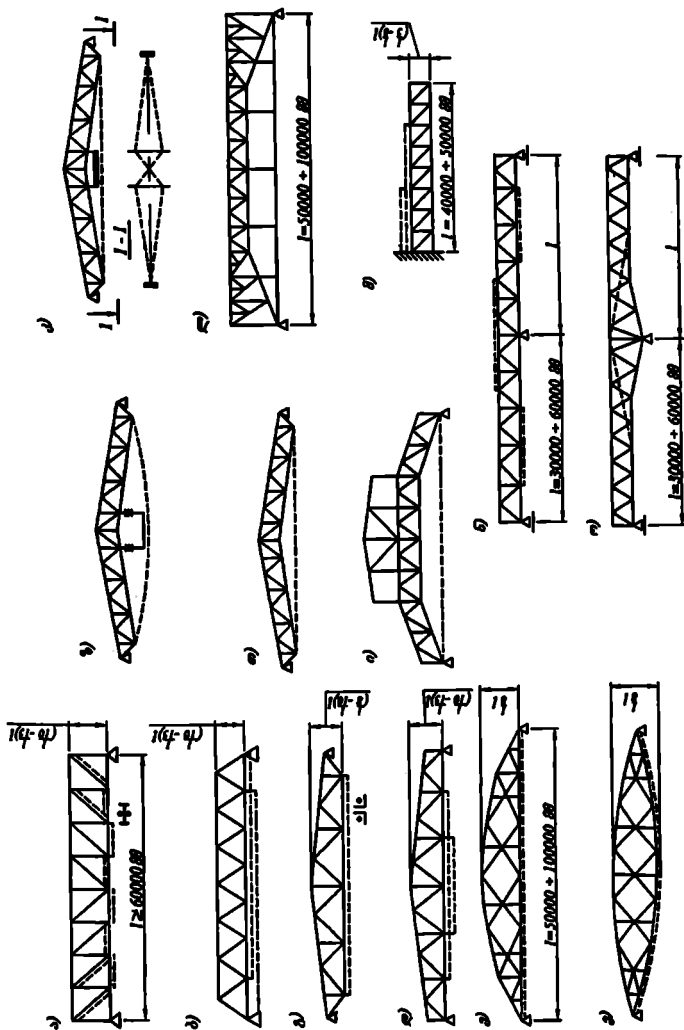
59. წინასწარ დაძაბული წამწამების კონსტრუქციული გადაწყვეტები

წინასწარი დაძაბვის ძრითადი იდეაა კონსტრუქციაში ან მის ელემენტებში გარე საექსპლუატაციო დატვირთვების ზემოქმედებისაგან წარმოქმნილი ძაბვების საწინააღმდეგო ნიშნის წინასწარი საწყისი ძაბვების შექმნა. ამის შედეგად იზრდება კონსტრუქციის დრეკადი მუშაობის არეალი, ეინაიდან გარე დატვირთვები ჯერ აქრობს წინასწარ დაძაბვას, ხოლო შემდეგ ავითარებს ძირითად ძაბვებს მასალის საანგარიშო წინაღობამდე. წინასწარი დაძაბვა გამოიყენება ლითონის კონსტრუქციების ეფექტურობის ასამაღლებლად (ლითონის ხარჯის შესამცირებლად), ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში სიხისტის გასაზრდელად.

წინასწარ დაძაბვას უფრო ხშირად იყენებენ ღერძულ გაჭიმვაზე მომუშავე ღეროებში (ფერების ელემენტები და სხვა გისოსოვანი კონსტრუქციები) ან ღუნვაზე მომუშავე ელემენტებში (კოჭები). თუმცა, წინასწარ დაძაბული მოქნილი ელემენტი – ბაგირი, თხელი ფურცელი, საარმატურე ღერო – შეიძლება მუშაობდეს კუმშვაზე წინასწარი დაძაბვის სიდიდის საზღვრებში, რაც ფართოდ გამოიყენება ლითონის სხვადასხვა კონსტრუქციებში (ვანტური წამწამები, მემბრანები და სხვ.) მათი მზიდუნარიანობის გასაზრდელად. წინასწარი დაძაბვა ფართოდ გამოიყენება ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტებისა და მთლიანად ნაგებობების მდგრადობის ამაღლების მიზნით. იგი განსაკუთრებით ეფექტურია მძიმე დიდმალიან წამწამებში.

წინასწარი დაძაბვა მნიშვნელოვნად ზრდის წამწამის მზიდუნარიანობას და სიხისტეს, გამომდინარე აქედან საშუალებას იძლევა შემცირდეს კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლე და მიღებულ იქნას ლითონის 25–30 %-ანი ეკონომია ტრადიციულ გადაწყვეტებთან შედარებით. მაგრამ ამავე დროს იზრდება წამწამის დამზადების შრომატევადობა, ეინაიდან წინასწარი დაძაბვის სამუშაოები გადააქვთ სამშენებლო მოედანზე.

ცნობილია წინასწარი დაძაბვის მრავალი ხერხი, თუმცა ბრტყელი წამწამებისათვის ყველაზე მისაღებია მაღალი სიმტკიცის მასალებისგან (ფოლადის ბაგირები, კონები და წნულები) დამზადებული სხვადასხვა სახის საკოჭების მოწყობაზე დაფუძნებული ხერხი.

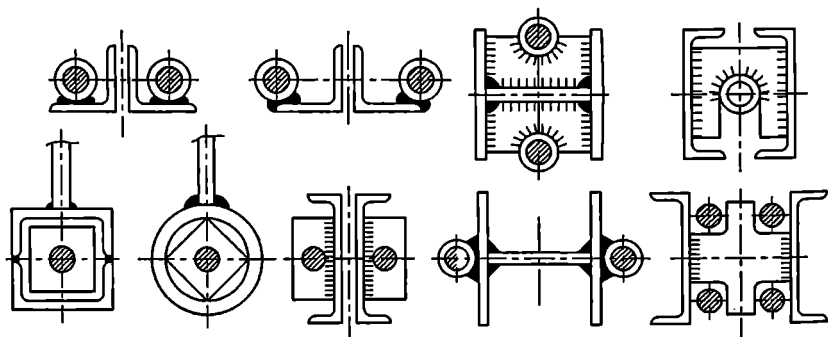


ფიგ. 102. წინასწარ დამატული ნივთიერების ფერმეების ტიპები

საკოჭების განლაგების მიხედვით წინასწარ დაძაბული წამწები იყოფა ორ ძირითად ტიპად: წამწები, რომლებშიც საკოჭები განლაგებულია ყველაზე დატვირთული ყოველი ღეროს საზღვრებში (ფიგ. 102, ა); წამწები, რომლებშიც საკოჭები განლაგებულია მთელი მალისა და ყველაზე დატვირთული ღეროების ჯგუფის საზღვრებში (ფიგ. 102, ბ-ე). მეორე ტიპი უფრო ეფექტურია და გააჩნია მრავალი კონსტრუქციული ფორმა. ამ ტიპს აგრეთვე მიეკუთვნება წამწები გამოსატანი შპრენგელური საკოჭებით, რომელთა განმტვირთავი ზემოქმედება ძირითადი წამწის ელემენტებზე განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია (ფიგ. 102, ზ-ლ). ასეთი წამწების ნაკლია კონსტრუქციის დიდი სამშენებლო სიმაღლე.

სტატიკური თეალსაზრით წინასწარ დაძაბულ წამწებს უფრო ხშირად აპროექტებენ, როგორც ჭრად ერთმალისან (ფიგ. 102 ა-ლ), აგრეთვე კონსოლურს (ფიგ. 102, მ) და მრავალმალისან (ფიგ. 102, ნ, ო).

წინასწარ დაძაბულ წამწებში ღეროების კვეთებს აპროექტებენ ისეთივეს, როგორც წინასწარ დაუძაბავ ჩვეულებრივ წამწებში (ფიგ. 103). ამასთან, ღეროების წინასწარ დაძაბული საკოჭების განლაგება კვეთის ინერციის მთავარი ღერძების მიმართ უნდა იყოს სიმეტრიული, ხოლო ტოლქმედი ძალა უნდა გადიოდეს კვეთის ცენტრზე. ღეროს სიგრძის გასწვრივ საკოჭის ფიქსირება ხორციელდება მიღებში ან სიხისტის წიბოებზე, რომლებიც მიღებულია კვეთის პროფილურ ელემენტებზე.

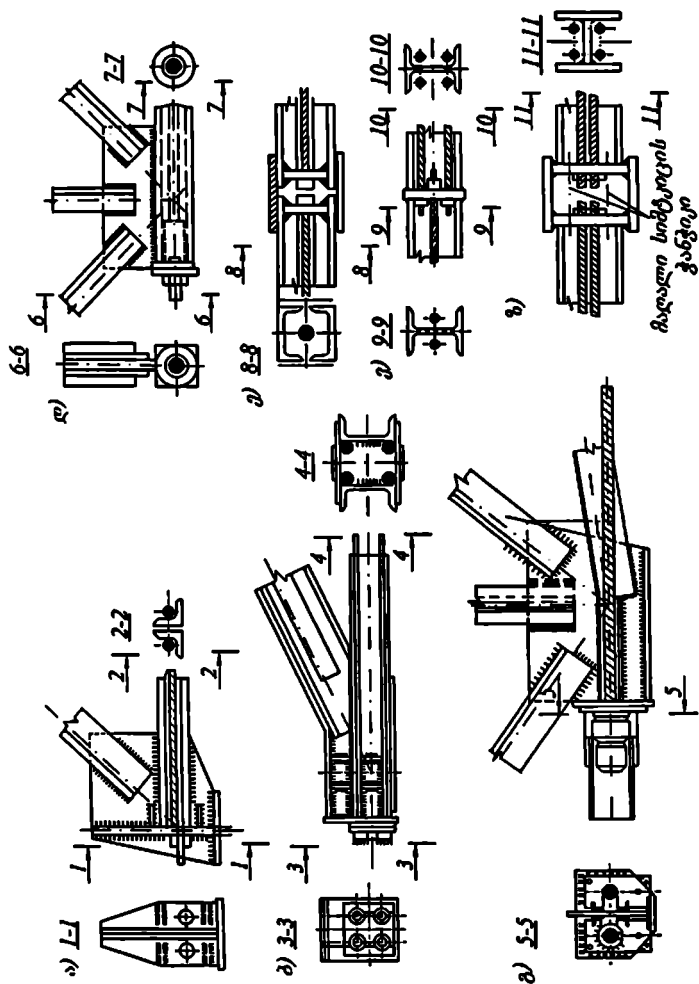


ფიგ. 103. წინასწარ დაძაბული წამწების ელემენტების კვეთები

საკვანძო შეერთებების გადაწყვეტა ჩვეულებრივი წამწეების ანალოგიურია, იმ კვანძების გამოკლებით, რომლებშიც საკოჭი ღეროები დაანკერებულია. ასეთ კვანძებში აპროექტებენ საანკერო საბრჯენებს წინასწარი დაძაბვის ძალების საკოჭიდან სარტყელის ელემენტის კვეთზე ან ირიბნებზე გადასაცემად (ფიგ. 104, ა-დ).

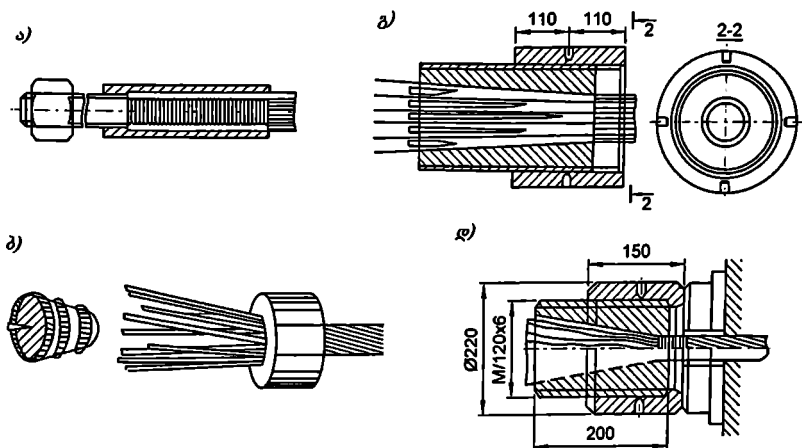
წამწეების დიდი ძალებისა და საკოჭების შეზღუდული სიგრძეების შემთხვევაში, წამწეების წინასწარ დაძაბული უბნების ქარხნულ პირობებში დამზადებისა და მათი სამონტაჟო ბლოკებად დანაწევრების შემთხვევაში, იქმნება წინასწარ დაძაბული ღეროების (საკოჭების ჩათვლით) შეპირაპირების აუცილებლობა სიგრძის გასწვრივ. განასხვავებენ პირაპირის რამდენიმე ვარიანტს იმაზე დამოკიდებულებით, თუ რამდენი საკოჭია პირაპირის ორივე მხარეს და როგორია პირაპირში ერთი წინასწარ დაძაბული ელემენტიდან მეორეზე ძალების გადაცემის პრინციპი. ყველაზე გავრცელებულია პირაპირი, რომელშიც შენარჩუნებულია საკოჭის თანაღერძულობა, ხოლო ძალვა გადაცემა ჩვეულებრივი ფურცლოვანი ზესადებებით (ფიგ. 104, ე). პირაპირი შეიძლება რეკომენდებულ იყოს მასში ძალების ცვლილების შემთხვევაში (ფიგ. 104, ე), აგრეთვე მძლავრი ღეროებისათვის პირაპირში დიდი ძალების დროს (ფიგ. 104, ზ).

ანკერული მოწყობილობები და ღიაფრაგმები უნდა იყოს ხისტი, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს კვანძის არადეფორმადობა საკოჭების შტოებიდან გადაცემული შეყურსული ძალის ზემოქმედების შედეგად. საკოჭის დაძაბვის პროცესში, როდესაც წამწეზე არ მოქმედებს საანგარიშო საექსპლუატაციო დატვირთვები, სარტყელში წარმოიქმნება დიდი მკუმშავი ძალები და შედეგად, შეიძლება დაკარგოს მდგრადობა. ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად მიწის ზედაპირზე აწარმოებენ სამონტაჟო ბლოკების გამსხვილებულ აწყობას ორი დაწყვილებული წამწის სახით, და მხოლოდ ამის შემდეგ ახდენენ საკოჭის დაჭიმვას. ამ მიზეზის გამო, არც თუ იშვიათად, ბრტყელ წამწეებს ცვლიან სამკუთხა განივი კვეთის სივრცითი წამწეებით.



ფიგ. 104. წინასწარ დაგებული წაქის კვანძები

წინასწარ დაძაბული წამწების მუშაობის საიმედოობის უზრუნველსაყოფად დაძაბულ ღეროს საბრჯენ კვანძში მყარად აანკერებენ. ამ მიზნით, მშენებლობის პრაქტიკაში გამოიყენება სხვადასხვა გადაწყვეტები (ფიგ. 105). შესასრულებლად ყველაზე მარტივია მასრულ-ღეროვანი ანკერი (ფიგ. 105, ა) და ლარისებრი (ვარცლისებრი) ანკერი საცობით (ფიგ. 105, ბ). ასეთ ანკერებს იყენებენ შედარებით დატვირთვით მცირე საანგარიშო ძალების შემთხვევებში (1500 კნ-დე). დიდი ძალების შემთხვევაში (6000 კნ-დე) იყენებენ ტიქურ ანკერებს სოლების ჩატყდვით (ფიგ. 105, გ) ან ადვილდნობადი შენადნობის ჩასხმით (ფიგ. 105, დ).



ფიგ. 105. წინასწარ დაძაბული ღეროების დაანკერების სახეები

წინასწარ დაძაბულ წამწებს, მთელ სარტყელზე ან ღეროების ჯგუფზე საკოჭებით, ანგარიშობენ როგორც სტატიკურად ურკვევ სისტემებს, რომლებშიც ზედმეტ უცნობებად ღებულობენ საკოჭებსა და ზედმეტ ღეროებში ძალებს. კონსტრუქციის გაანგარიშება წარმოებს თანამიმდევრობითი მიახლოების მეთოდით. ცალკეულ ღეროში ადგილობრივი ძალების შემთხვევაში, გატვირთული ხისტი ღეროსა და საკოჭის კვეთები შესაძლებელია განისაზღვროს მასალის საანგარიშო წინაღობის სრული გამოყენების პირობიდან გამომდინარე, ფორმულებით:

$$A_m = \frac{S \left(R_{dh} - \frac{1.8 R_y E_{dh}}{E} \right)}{1.8 R_y \left(R_{dh} - \frac{R_y E_{dh}}{E} \right)}, \quad (85)$$

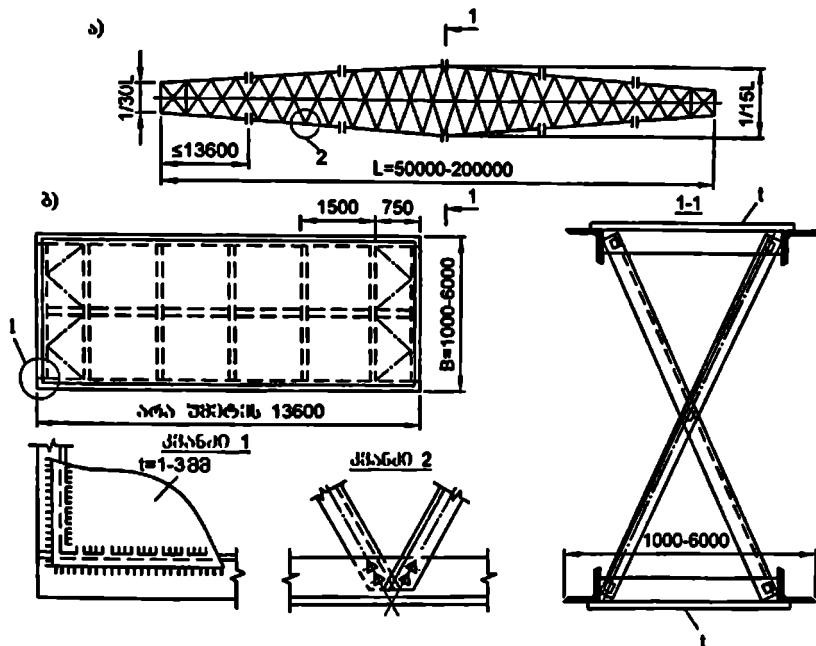
$$A_p = S \left[\frac{1}{R_{dh}} - \frac{1 - \frac{1.8 E_{dh} R_y}{E R_{dh}}}{1.8 \left(R_{dh} - \frac{E_{dh} R_y}{E} \right)} \right], \quad (86)$$

სადაც A_m და A_p არის პროფილური ღეროს და საკოჭის ღეროს კვეთების ფართობები; R_y და R_{dh} – პროფილური ღეროს და საკოჭის ღეროს საანგარიშო წინაღობები; E და E_{dh} – პროფილური ღეროს და საკოჭის ღეროს დრეკადობის მოდულები.

ვინაიდან, საკოჭის წინასწარი დაძაბვის პროცესში, პროფილური ღერო განიცდის მკუმშავ ძალებს, მისი ზღვრული მოქნილობა არ უნდა აღემატებოდეს $\lambda=120$ მნიშვნელობას.

სამშენებლო პრაქტიკაში ფართოდ არის გავრცელებული ბლოკური და ბლოკურ-პანელური წინასწარ დაძაბული დიდმალიანი ფოლადისა და ალუმინის კონსტრუქციები (ფიგ. 106). ასეთ კონსტრუქციებში დამძაბვე ელემენტად გამოიყენება თხელკედლიანი $t=1-3$ მმ სისქის ფურცელი, რომელიც ბლოკის სარტყელების ძირითად კვეთთან ერთად მუშაობს კუმშვაზე და გაჭიმვაზე, აგრეთვე ასრულებს შემომფარგლავი ზედაპირის ფუნქციას. თხელკედლიან ფურცელს დაჭიმევენ ნაგლინი ან ნალუნი ელემენტებისაგან შემდგარ ხისტ კარკასზე, რომელიც წარმოადგენს სივრცით ბლოკს და შეიცავს ცალკეული კუთხოვანებისაგან აწყობილ რომბულ გისოსებიან ორ ვერტიკალურ წამწეს.

ბლოკის სიხისტე განივი მიმართულებით მიიღწევა ჯვარედინა დიაფრაგმებით, რომლებიც ნორმალური სიზუსტის ტანჭიკებით მაგრდება გრძივ სასარტყელე კუთხედებთან მიდრეკილულ განივ განმბჯენებთან. რომბული გისოსის ელემენტებს სარტყელების კუთხედებთან ამაგრებენ მაღალი სიმტკიცის ტანჭიკებით.



ფიგ. 106. დიდმალიანი წინასწარ დაძაბული ბლოკური წამწე
თხელფურცლოვანი შემოსვით
ა - სქემა; ბ - ბლოკ-პანელი

დამზადების შრომატევადობის შემცირების მიზნით დამუშავებულია კონსტრუქციის ბლოკურ-პანელური ვარიანტი, რომელიც ბლოკურისგან იმით განსხვავდება, რომ დიდმალიან კონსტრუქციას ანაწევრებენ პანელებად, რომელთა გაბარიტები არ აღემატება სატრანსპორტო შესაღებლობებს. არაუმეტეს 13.6×3 მ ზომის დაძაბული პანელები მიაქვთ სამონტაჟო მოედანზე, სადაც სპეციალური კონდუქტორების გამოყენებით აერთიანებენ მთლიანი საანგარიშო სიგრძის ბლოკებად.

ფოლადის თხელფურცლოვან შემოსვას ამზადებენ 10XHDII მარკის მაღალი სიმტკიცის ან BCr3kn2 მარკის ნახშირბადიანი ფოლადისაგან, ხოლო ალუმინის ვარიანტში - AMr21/2H მარკის შენადნობით. შესაძლებელია კომბინირებული ბლოკური კონსტრუქციები, რომლებშიც თხელკედლიანი ფურცლები გაკეთებულია ალუმინისგან, ხოლო კარკასი - ფოლადისგან.

ამის გამო, ალუმინის ვარიანტთან შედარებით, გადახურვის ღირებულება მცირდება 1.5-ჯერ. დასახელებული კონსტრუქციების გამოყენება შესაძლებელს ხდის 10–20%-ით შემცირდეს მზიდი კონსტრუქციის მასა, 1.5-ჯერ შემცირდეს სამშენებლო სიმაღლე მაღალი სიხისტის შენარჩუნებით, უზრუნველყოფილ იქნეს ბურულის შეთავსებული გადაწყვეტა და შემცირდეს მშენებლობის საერთო ღირებულება.

თავი 6. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის პარკასები

6.1. პარკასების საერთო დახასიათება და მათი დაპროექტებისათვის წაყენებული პირითადი მოთხოვნები

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობები განკუთვნილია ტექნოლოგიური პროცესებისათვის, რომელთა განთავსება მრავალსართულიან შენობებში შეუძლებელია ან ეკონომიკურად მიზანშეწონილი არ არის. მათ უმთავრესად მიეკუთვნება მანქანათმშენებლობისა და მეტალურგიული ქარხნების საამქროები, თბოენერგოსადგურების მთავარი კორპუსების შენობები, საავიაციო ანგარები და სხვ. საწარმოო პროცესის ხასიათის, ამწეების არსებობის და ტვირთამწეობის მიხედვით თანამედროვე სამრეწველო შენობებს აქვთ სხვადასხვა მაღლები და სიმაღლეები, და გარე დატვირთვების ზემოქმედების შედეგად კონსტრუქციულ ელემენტებში წარმოიქმნებიან მნიშვნელოვანი ძალები (ფიგ. 107).

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობების ფოლადის კარკასი მოიცავს კონსტრუქციული ელემენტების კომპლექსს (სვეტები, ნივნიური და ნივნიკეშა წამწები, ამწისკეშა კოჭები, გრძივები, ჩალანგარებისა და კავშირების ელემენტები), რომლებიც ერთმანეთთან შეუღლებით ქმნიან სივრცით გეომეტრიულად უცვლელ სისტემას (ფიგ. 108). ეს სისტემა მოიცავს განივ ჩარჩოებს, რომლებიც შედგებიან საძირკველში ხისტად ჩამგრებული სვეტებისა და სვეტებთან სახსრულად ან ხისტად დაკავშირებული ნივნიური წამწეებისაგან, რომლებიც ღებულობენ კარკასზე მოქმედ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვებს. ჩარჩოვანი კარკასის სიხისტე და მდგრადობა

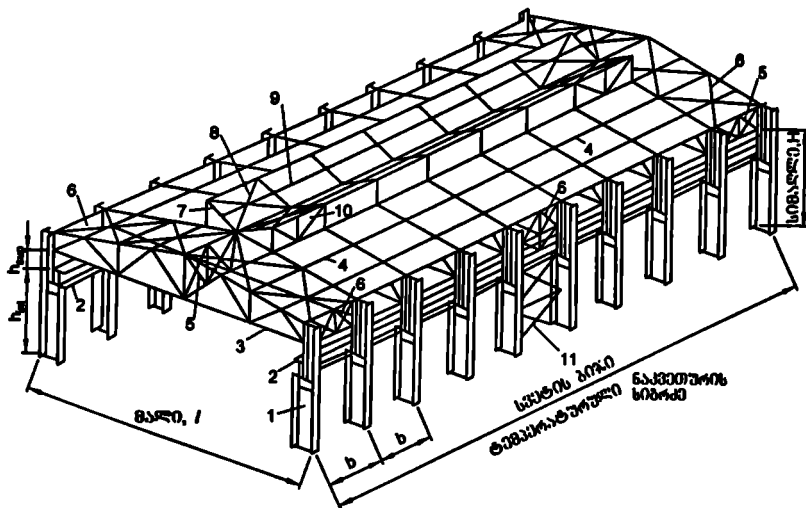
უზრუნველყოფილია ვერტიკალური და ჰორიზონტალური კავშირების მუშაობით, რომლებსაც ამონტაჟებენ სვეტებს შორის და წამწეების (რიგელების) სარტყელების სიბრტყეში, აგრეთვე გადახურვის ხისტი დისკოთი (მსხვილზომიანი ფილების გამოყენების შემთხვევაში).

ჩარჩოს გენერალური მალი ეწოდება მანძილს სვეტების ამწისზედა ნაწილის ღერძებს შორის განივი მიმართულებით, ხოლო ჩარჩოების ბიჯი – მანძილს ჩარჩოებს შორის შენობის გასწვრივ. ძირითადი სამშენებლო მასალების ეკონომიური ხარჯვის მიხედვით ფოლადის კარკასები გამოიყენება მალეში არანაკლებ 24 მ.

სამრეწველო მშენებლობაში ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ზომებისთვის გამოიყენება ერთიანი მოდული $M=600$ მმ. ამ მოდულის შესაბამისად, ერთსართულიანი შენობებისთვის ფოლადის კარკასის მალეები მიიღება 6 მ-ის ჯერადი – 24, 30, 36 მ და ა.შ. სვეტების ბიჯი განაპირა და შუალედური რიგებისთვის მიიღება 6 ან 12 მ. მრავალმალეან შენობებში, სადაც აუცილებელია დიდი ზომის პროდუქციის მაღიდან მალეში გადაცემა, სვეტების მალი შიგა რიგებში აგრეთვე 6 მ-ის ჯერადია და შეიძლება გაიზარდოს 18, 24 და მეტ მეტრამდე. ჩარჩოს სიმაღლე H იატაკის დონიდან ნივნიური წამწის ქვედა სარტყელის ღერძამდე უნდა იყოს 12 მ-ის ($2M$) ჯერადი 10.8 მ სიმაღლემდე და 1.8 მ-ის ($3M$) ჯერადი 10.8 მ-ზე მეტი სიმაღლის შემთხვევაში.

ერთსართულიანი საწარმოო შენობები შეიძლება იყოს ერთმალეანი და მრავალმალეანი. გამსხვილებული აწყობისა და უწყვეტი ტექნოლოგიური პროცესების მქონე მანქანათმშენებლობის, მეტალურგიული და სხვა წარმოებების სრულყოფისათვის საჭიროა სხვადასხვა საამქროების ერთ ჭერქვეშ ბლოკირება. ბლოკირებული შენობები წარმოადგენს დიდი ფართობის კორპუსებს, რომლებიც მოიცავს სხვადასხვა ტვირთამწეობის ხიდური და კიდული ამწეებით აღჭურვილ სხვადასხვა სიმაღლის გრძივ და განივ მალეებს (ფიგ. 107).

კარკასის მუშაობაზე დიდ გავლენას ახდენს ხიდური ამწეები, რომელთა მუშაობის რეჟიმიც მთლიანობაში განსაზღვრავს საწარმოო კორპუსის მუშაობის რეჟიმს: მსუბუქი, საშუალო, მძიმე და განსაკუთრებით მძიმე. შენობების რეჟიმი გაითვალისწინება კონსტრუქციების დაპროექტირებისა და გაანგარიშების დროს სპეციალური კოეფიციენტებით სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნების შესაბამისად.



ფიგ. 108. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის ფოლადის კარკასის კონსტრუქციული სქემა

- 1 – სვეტები; 2 – ამწისქვეშა კოჭები; 3 – ნიენიური წამწები;
 4 – წამწების გრძივები; 5 – ვერტიკალური კაეშირები ფერმებს შორის;
 6 – ფერმების პორიზონტალური კაეშირები; 7 – შუქფარნის ჩარჩოები;
 8 – შუქფარნის პორიზონტალური კაეშირები; 9 – ფარანის გრძივები;
 10 – შუქფარნის ვერტიკალური კაეშირები; 11 – სვეტების ვერტიკალური კაეშირები

მაღალი ტემპერატურისა და აგრესიული გარემოს შემთხვევაში, საწარმოო შენობების დაპროექტებისას ითვალისწინებენ ფოლადის კონსტრუქციების სპეციალურ დაცვას გადაჭარბებული გახურებისა (კერამიკით და ბეტონით მოპირკეთება, ამრეკლი გერანების მოწყობა და სხვ.) და კოროზიისაგან (ზეთის საღებავებით, ბიტუმის ლაქით, ლითონებით დაფარვა და სხვ.). დაბალი ტემპერატურის პირობებში (-40° -დან -65°C -დე) საექსპლუატაციო შენობის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება დრეკად სტადიაში, მცირდება ტემპერატურული ნაკვეთურების ზომები, კარკასზე ყენდება დამატებითი კაეშირები, გაითვალისწინება ძაბვების კონცენტრაციის შესამცირებელი ღონისძიებები.

ფოლადის კარკასის მონტაჟის დაჩქარებისა და შრომატევადობის შემცირების მიზნით ფართოდ იყენებენ მსხვილი ბლოკებით მონტაჟის

კონვეირულ მეთოდს. ამ მეთოდის ღირსებაა აწყოების პროცესის დანაწევრება მარტივ ოპერაციებად, რომლებიც სრულდება კარგად მოწყობილ ასაწობ სტენდებზე ბლოკების შემდგომი გადაადგილებით ერთი პოსტიდან მეორეზე და აწევის ზონაში, მოძრავი ურიკა-პლატფორმების საშუალებით.

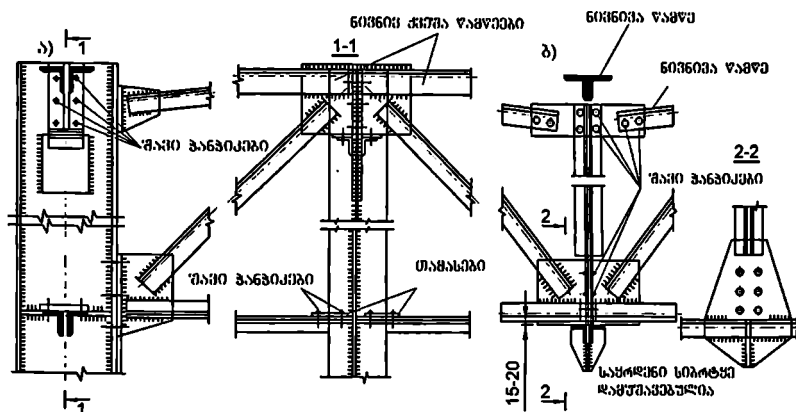
6.2. საწარმოო შენობების კარკასის ელემენტები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, კარკასების ძირითადი ელემენტებია მთლიანი ან გამჭოლი კვეთის მქონე დგარებითა და რიგელებით შედგენილი განივი ჩარჩოები (ფიგ. 108). მთლიანკვეთიან რიგელებს (კოჭებს) აქვთ ნაკლები სამშენებლო სიმაღლე გამჭოლკვეთთან შედარებით, მარტივია დასამზადებლად და მოსახერხებელია ტრანსპორტირების დროს, მაგრამ საჭიროებენ ლითონის მეტ ხარჯს ვიდრე გამჭოლკვეთიანი რიგელები (ფერმები). ამიტომ კარკასულ საწარმოო შენობებში რიგელის ძირითად ტიპებად მიღებულია პარალელურ სარტყელებიანი, ტრაპეციისებრი ან სევმენტური ნივნივური წამწეები (იხ. პ. 5.2). 20 ტ-ზე მეტი ტვირთამწეობის ხიდური ამწეების შემთხვევაში იყენებენ მთლიანკვეთიან საფეხუროვან სვეტებს, ან გამჭოლ სვეტებს, რომლებიც შედგება ერთობლივად მომუშავე გარე და ამწისქვეშა შტოებისაგან (იხ. პ. 4.2).

უპირატესად გამოიყენება შერეული ტიპის სვეტები, რომლებშიც ამწისზედა ნაწილი კეთდება მთლიანკედლიანი, ნაგლინი ან შენადული ორტესებრის სახით, ხოლო ამწისქვედა – გამჭოლი, თამასებით ან ირიბნული გისოსით დაკავშირებული ნაგლინი პროფილის ორი შტოს სახით. 125 ტ და მეტი ტვირთამწეობის მძიმე ხიდურ ამწეებიან შენობებში ითვალისწინებენ განცალკევებული ტიპის სვეტებს, რომლებიც შედგება ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად მომუშავე გარე და ამწისქვეშა შტოებისაგან. განივი მიმართულებით შენობის სიხისტის გასაზრდელად ნივნივურ წამწეს ხისტად აერთებენ სვეტზე. ასეთი გადაწყვეტა მიიღწევა ნივნივური წამწის მიერთებით სვეტის გარე შტოსთან გვერდიდან (ფიგ. 109, ა). წამწის სარტყელების სვეტებთან შეუღლება ხორციელდება შაეი ჭანჭიკებით.

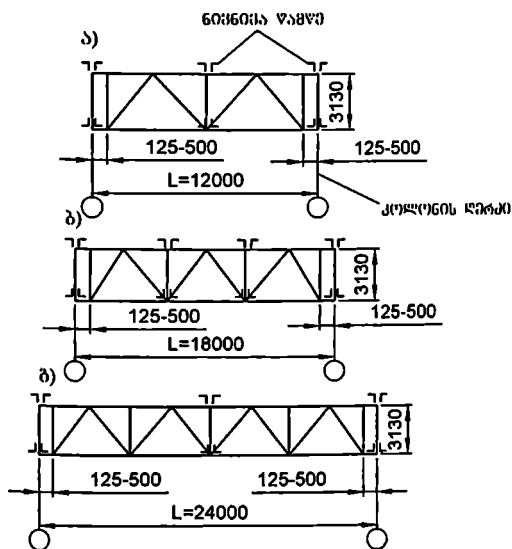
მრავალმალისანი შენობის შუა რიგების ბიჯის 12–24 მ-მდე გაზრდის შემთხვევაში ნივნივური წამწეები სვეტებს შორის შუალედში ეყრდნობა ნივნივქვეშა წამწეებზე (ფიგ. 109, ბ). როგორც წესი, ნივნივქვეშა წამწეები

წარმოადგენს პარალელურ სარტყელებიან წამწებს (ფიგ. 110), რომლებიც სვეტების ამწისქვეშა ნაწილთან აგრეთვე შეუღლებული არიან შავი ჭანჭიკებით (ფიგ. 115, ა).



ფიგ. 109. ფერმის სვეტთან შეერთების კვანძები

ა - ნივნიური და ნივნიკეშა წამწების სვეტთან შეერთება; ბ - ნივნიური წამწის ნივნიკეშასთან შეერთება

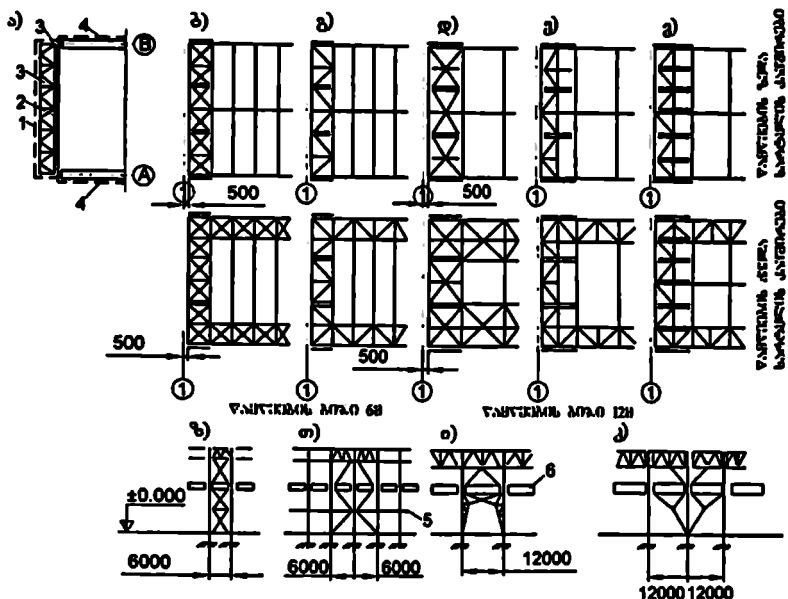


ფიგ. 110. ნივნიკეშა წამწების უნიფიცირებული ტიპური სკემები

ამწისქვეშა კონსტრუქციების ძირითადი მზიდი ელემენტებია – მთლიანი ან გამჭოლი განიგვეთის მქონე ამწისქვეშა კოჭები. მლიანკედლიანი მზადდება ნაგლინი ორტესებრისაგან, კუთხედებით ან ბრტყელი ფურცლებით გაძლიერებული ზედა სარტყელით. მათ იყენებენ სვეტების 6 მ ბიჯის და 20 ტ-მდე ტვირთამწეობის ამწეების შემთხვევაში. უფრო მეტი ტვირთამწეობის შემთხვევაში, ამწისქვეშა კოჭებს აკეთებენ ორტესებრი განიგვეთისას სამი შედუღებული ფურცლისაგან. მთლიანკედლიანი ამწისქვეშა კოჭები შეიძლება იყოს ტრადი და უჭრი. უჭრი კოჭების დამონტაჟება შრომატევადია, მაგრამ უფრო ხისტია და 10–13 %-ით მსუბუქია ტრადზე.

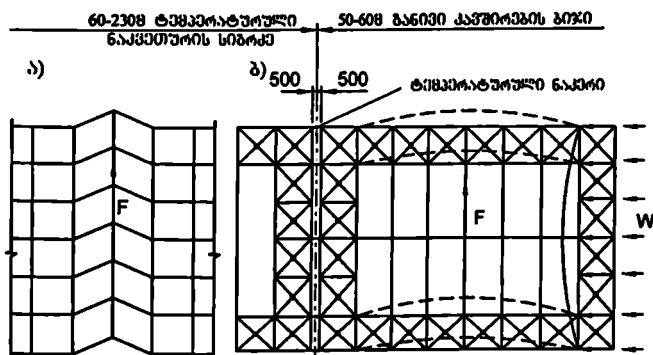
გისოსოვანი ამწისქვეშა კოჭების გამოყენება მიზანშეწონილია სვეტების 12 მ და მეტი ბიჯის, 75 ტ-მდე ტვირთამწეობის მსუბუქ და საშუალო რეჟიმზე მომუშავე ამწეების შემთხვევაში. ამ შემთხვევაში, მთლიანკედლიანთან შედარებით, ფოლადის ეკონომია შეადგენს 15-20 %. დიდი მალეებისა და მძიმე ხიდური ამწეების შემთხვევაში, სიხისტის გასაზრდელად, ამწისქვეშა კოჭს აერთიანებენ ნიენიგვეშა წამწესთან, შედეგად მიიღება კომბინირებული კონსტრუქცია, რომელსაც ეწოდება ამწისქვეშა–ნიენიგვეშა წამწე. ამწისქვეშა კოჭები ეყრდნობა სვეტების ამწისქვეშა შტოებზე საყრდენი ტორსული წიბოებით და მაგრდება ჭანჭიკებით, ხოლო გარე შტოსთან – მისამაგრებელი თამასებით (იხ. ფიგ. 52 და 63). კარკასის კონსტრუქციული სქემის გაერთმთლიანება მოიცავს კავშირების სისტემის მოწყობას სვეტებზე და წამწებზე. წამწის ზედა და ქვედა სარტყელებზე ამონტაჟებენ პორიზონტალურ კავშირებს, ხოლო წამწეებს შორის – ვერტიკალურ კავშირებს (ფიგ. 111).

ზედა სარტყელებზე პორიზონტალურ კავშირებს ამონტაჟებენ განივი მიმართულებით, რითაც უზრუნველყოფენ წამწეების ზედა სარტყელის შეკუმშული ელემენტების მდგრადობას ვერტიკალური დატვირთვებისაგან (იხ. თვ. 5). უგრძივო სისტემაში ზედა სარტყელებში კავშირების ფუნქციას ასრულებს რკინაბეტონის ფილები, რომლებსაც ზედა სარტყელთან ამაგრებენ შედუღებით, ხოლო კავშირებს აწყობენ მხოლოდ ტემპერატურული ნაკვეთურების ნაპირებში მონტაჟის დროს. პორიზონტალურ კავშირებს წამწეების ქვედა სარტყელებში აწყობენ როგორც განივი ასევე გრძივი მიმართულებით. ქვედა სარტყელებში განივი კავშირებს, როგორც წესი, აწყობენ შენობებისა და ტემპერატურული ნაკვეთურის ტორსებში, რაც აუცილებელია შენობის ტორსზე მოქმედი ქარის დატვირთვისაგან დასაცავად (ფიგ. 112, ბ).



ფიგ. 111. კავშირების სისტემის სქემები

ა-ბ — გადახურვაზე, სვეტების ბიჯით 6 მ; დ-ე — გადახურვაზე, სვეტების ბიჯით 12 მ;
 ზ-კ — სვეტებს შორის



ფიგ. 112. კარკასის განივი დეფორმაცია ამჟის ადგილობრივი დატვირთვისაგან

ა — წამწეების ქვედა სატყელების პორიზონტალური კავშირების გარეშე;
 ბ — იგივე, პორიზონტალური კავშირებით

ქვედა სარტყელებზე გრძივი კავშირები უმთავრესად გამოიყენება მთელი გადახურვის სივრცით მუშაობაში ჩართვის მიზნით ამწეების ადგილობრივი (ფიგ. 112, ა) ან სხვა დატვირთვების მოქმედების დროს. ქვედა სარტყელებში კავშირებს ძირითადად იყენებენ მუშაობის მძიმე რეჟიმიან შენობებში.

წამწეებს შორის ვერტიკალურ კავშირებს აწვობენ წამწეების საყრდენ დგარებს შორის და წამწეებს შორის შუალედში ბიჯით არა ნაკლები 12 მ. მათი ძირითადი დანიშნულებაა – ხისტი უცვლელი სივრცითი ბლოკის შექმნა, რომელიც შედგება ორი ნივნიური წამწისა და ზედა და ქვედა სარტყელების განივი კავშირებისაგან.

მსუბუქი და საშუალო მუშაობის რეჟიმიან შენობებში კავშირებს ამზადებენ ცალკეული კუთხედებისა და მილებისაგან, რომლებიც ნივნიური წამწეების კვანძებთან მიემაგრება ჭანჭიკებით, ხოლო მძიმე რეჟიმის შენობებში – მილებისა და შევლერებისაგან შედუღებით. ორი წამწისა და კავშირების სისტემით წარმოქმნილ ხისტ ბლოკებთან დანარჩენ წამწებს აერთებენ განმბჯენებით ან გრძივებით ზედა სარტყელებში, ხოლო მუშაობის მძიმე რეჟიმის შენობებში – ქვედა სარტყელებშიც, მათი ვიბრაციის თავიდან ასაცილებლად (ფიგ. 111). კავშირის ელემენტებში კუმშვის ძალების თავიდან ასაცილებლად მას აპროექტებენ ჯვრისებრი ფორმით.

გაჭიმვაზე და კუმშვაზე მომუშავე, სამკუთხა გისოსიანი კავშირების მქონე წამწეებში ლითონის ხარჯი მეტია ჯვარედინ გისოსიან წამწეებთან შედარებით, მაგრამ მათი დამზადება და მონტაჟი უფრო იოლია, რაც განაპირობებს მათი გამოყენების უპირატესობას.

გადახურვის კავშირების გარდა, კარკასის სვეტებს შორის ეწყობა ვერტიკალური კავშირები გრძივი მიმართულებით (ფიგ. 111, ზ, კ), რაც უზრუნველყოფს შენობის კარკასის სიხისტესა და უცვლელობას გრძივი მიმართულებით: გრძივი მიმართულების ქარის ზემოქმედებისაგან; ხიდური ამწეების ზემოქმედებისაგან გამოწვეულ გრძივი სამუხრუჭო ძალებისაგან; აგრეთვე, ზრდის სვეტების მდგრადობას მართობ სიბრტყეში. უმარტივესი კონსტრუქციაა ჯვარედინი ან ირიბნული კავშირის სისტემები (ფიგ. 111, ზ, თ). შუა რიგებში თავისუფალი გასასვლელისთვის ეწყობა პორტალური ან ნახევრად პორტალური კავშირების სისტემები (ფიგ. 111, ი, კ).

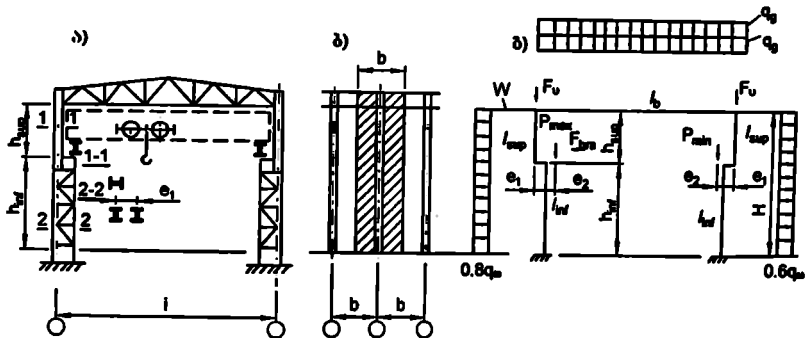
ჰორიზონტალურ დატვირთვას და გადასცემს მას კარკასის ტორსულ ჩარჩოს. ტორსული ჩალანგარის ტრადიციული გადაწყვეტა ნაჩვენებია ფიგ. 113, ა. ძირითად ვერტიკალურ დგარებს აყენებენ 6 ან 12 მ ინტერვალით, აყრდნობენ განივი კავშირის წამწეზე ნივნიური წამწის დონეზე (ფიგ. 113, დ) და სახსრულად საძირკველზე. განივი ჩარჩოს სიმაღლის მიხედვით ძირითადი დგარები შეიძლება იყოს მთლიანკედლიანი ($H \leq 18$ მ) ან გამჭოლი გისოსოვანი წამწების სახით ($H > 18$ მ). რიგელები, განმბჯენები და შუალედური დგარები, როგორც წესი, კეთდება ნაღუნი შევლერების ან ნაგლინი ორტესებრებისაგან.

განივი ჩარჩოს დიდი მაღლისა და სიმაღლის შემთხვევაში, ტორსული ჩალანგარი შეიძლება შესრულდეს მთელ პერიმეტრზე დაყრდნობილი ჯვარედინ-ღეროვანი სივრცითი კონსტრუქციის სახით (ფიგ. 113, ე). ასეთი გადაწყვეტის ღირსებებია: სარტყელების ღერძებში ჩალანგარის სამშენებლო სიმაღლის შემცირება 2-ჯერ, ფოლადის ხარჯის შემცირება 2-3-ჯერ და გარე ხედის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესობა. გრძივი ჩალანგარი (ფიგ. 113, ბ, გ) ტორსული ჩალანგარის ტრადიციული გადაწყვეტის ანალოგიურია.

6.3. ბანიში ჩარჩოს გაანგარიშება. საერთო ცნებები

სტატიკური თვალსაზრისით ერთმაღლიანი განივი ჩარჩო შესაძლებელია იყოს ორი ტიპის: ორსახსრიანი (სახსრებით რიგელის სვეტებთან შეუღლების კვანძებსა და საყრდენებზე) და უსახსრო. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობებისთვის ყველაზე გავრცელებულია უსახსრო ტიპის ჩარჩო. იგი სამჯერ სტატიკურად ურკვევია, ამიტომ მისი გაანგარიშება შეიძლება განხორციელდეს გადაადგილებების ან ძალების მეთოდით.

სტატიკური გაანგარიშებისთვის კონსტრუქციული სქემის მიხედვით ადგენენ საანგარიშო სქემას და საანგარიშო ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვებს ერთი ჩარჩოს სატვირთო ფართობისა და ხიდური ამწების ზემოქმედების გათვალისწინებით (ფიგ. 114). ჩარჩოს ელემენტებში ძალები განისაზღვრება ცალცალკე ყოველი დატვირთვისათვის, შემდეგ მათი კომბინაციის გზით განისაზღვრება ყველაზე არახელსაყრელი შეხამება, რომელსაც იღებენ საანგარიშოდ.



ფიგ. 114. ერთმალღიანი ჩარჩოს გაანგარიშებისათვის

ა - კონსტრუქციული სქემა; ბ - საანგარიშო ბლოკის სიგანე;

გ - საანგარიშო სქემა

სტატიკური გაანგარიშებისთვის აუცილებელია ჩარჩოს ელემენტების კვეთების ინერციის მომენტების თანაფარდობები. ერთგვაროვანი ფოლადის გამოყენების შემთხვევაში, ეს თანაფარდობები მიახლოებით შეიძლება მიღებულ იქნას:

ერთმალღიანი ჩარჩოებისთვის

$$J_{lmf}/J_{sup} = 7 - 10, \quad J_b/J_{sup} = 20 - 40,$$

მრავალმალღიანებისთვის

$$J_{lmf,1}/J_{lmf,n} = 1 - 4,$$

სადაც J_{lmf} არის ერთმალღიან შენობაში სვეტის ამწისქვეშა ნაწილის კვეთის ინერციის მომენტი; $J_{lmf,1}$ - იგივე, გარე რიგის სვეტებისათვის; J_{sup} - ერთმალღიან შენობაში სვეტის ამწისზედა ნაწილის კვეთის ინერციის მომენტი; $J_{lmf,n}$ - იგივე, შუა რიგის სვეტებისათვის; J_b - ნივნიური წამწის განივი კვეთის ინერციის მომენტი.

იმის გათვალისწინებით, რომ ინერციის მომენტების ფარდობის ცვლილება 30 %-ს საზღვრებში მცირედ აისახება საანგარიშო მომენტების მნიშვნელობებზე, შეიძლება, კონსტრუქციული მოსაზრებებით, წამწის კვეთის დანიშნული ინერციის მომენტის (იხ. პ. 63) მეშვეობით განისაზღვროს ჩარჩოს დანარჩენი ელემენტების ინერციის მომენტები.

ჩარჩოებიანი კარკასების გაანგარიშების თანამედროვე ტენდენცია, ადგილობრივი და ამწეების დატვირთვების მოქმედებისას, ითვალისწინებს მთლიანი კონსტრუქციის სიერცით მუშაობას, ანუ ყველა განივი ჩარჩოსა და კაეშირების სისტემის ერთობლივ მუშაობას ერთ სიერცობრივ ბლოკში. ჩარჩოვანი კარკასის ასეთი გაანგარიშება იძლევა ღითონის ხარჯის მნიშვნელოვან ეკონომიას, განსაკუთრებით ამწეების შეყურსული დატვირთვების ზემოქმედების დროს. შენობებში, რომლებშიც რიგელები სვეტებთან სახსრულადაა შეუღლებული, ნიენიურ წამწეს (რიგელს) ანგარიშობენ, როგორც ორ საყრდენზე დაყრდნობილ ჩეულებრივ წამწეს ან, როგორც მრავალმალიან უჭრ (გაუჭრელ) წამწეს. სვეტებს ანგარიშობენ, როგორც საძირკველში ჩამაგრებულ, არაცენტრალურად შეკუმშულ ღეროებს (იხ. პ. 1.10).

თავი 7. მრავალსართულიანი შენობის კარკასი

7.1 კონსტრუქციული სქემები.

სვეტების და კოჭების ბანივკვეთის ტიპები

გაზრდილი სართულიანობის (16–30 სართული) და მაღლივ შენობებში (30 სართულზე მეტი) ფოლადის კონსტრუქციების გამოყენება აიხსნება უპირატესობებით, რომლებიც გააჩნია ფოლადს, როგორც კონსტრუქციულ მასალას: მინიმალური განივი კვეთის მქონე სვეტების დიდი ბიჯით დაპროექტების შესაძლებლობა; მცირე საკუთარი მასის მქონე კარკასის მაღალი მზიდუნარიანობა; დაგეგმარების მაქსიმალური მოქნილობა შენობის მოცულობის გამოყენების მაღალი კოეფიციენტი; მშენებლობის ინდუსტრიალიზაცია სრული ქარხნული დამზადების ელემენტებისგან, რაც ამცირებს მშენებლობის ვადებს; მონტაჟის დროს სველი პროცესების თავიდან აცილება; შენობის დემონტაჟის შესაძლებლობა ექსპლუატაციის ვადის დასრულების შემდეგ.

კარკასის ელემენტებია: სვეტები, გადახურვის კოჭები (რიგელები), სიხისტის ვერტიკალური კაეშირები და გადახურვის ჰორიზონტალური დისკოები გადახურვის ფილის ჩათვლით. მაღლივი და გაზრდილი სართულიანობის შენობის კარკასი იღებს და საძირკველს გადასცემს ყველა ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვას. შენობის სიმაღლის

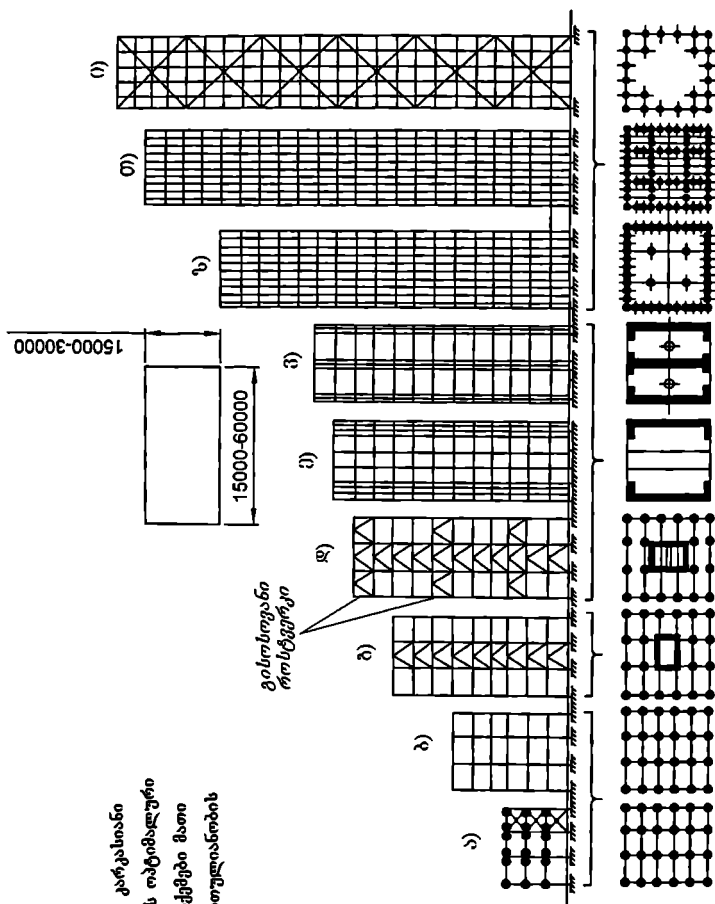
გაზრდისას ყველაზე სახიფათო შემოქმედებად ითვლება ქარის პორიზონტალური დატვირთვა, ამიტომ მრავალსართულიანი შენობის კარკასის თანამედროვე კლასიფიკაცია დაკავშირებულია პორიზონტალური დატვირთვების აღქმის ხერხთან (ფიგ. 115).

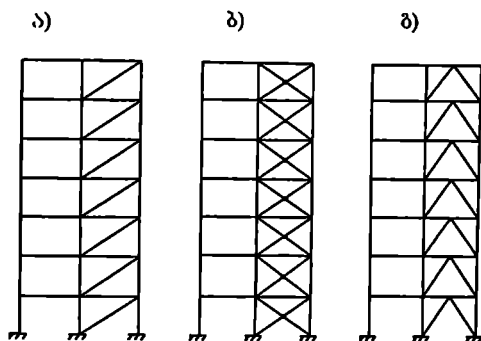
20 სართულამდე შენობებში დიდი გავრცელება პოვა დამყოლი საკანძო შეერთებების მქონე კავშირებიანმა სქემამ (ფიგ. 115, ა). სხვა სქემებთან შედარებით მას გააჩნია რიგი უპირატესობებისა, რომელთა შორის მთავარია კოჭების სეგტებთან შეუღლების სიმარტივე და აგების ნაკლები შრომატევადობა. პორიზონტალურ სიხისტეს უზრუნველყოფს ვერტიკალური კავშირები, რომლებსაც, როგორც წესი, აყენებენ ჩარჩოების ყველა განივ და გრძივ სიბრტყეებში. ვერტიკალური კავშირები კეთდება ირიბნული, ნახევრად ირიბნული და ჯვარედინი გისოსების სახით, რომლებიც განლაგებულია ჩარჩოს ერთ მალში მთელ სიმაღლეზე (ფიგ. 116). უპირატესობა უნდა მიენიჭოს ნახევრად ირიბნულ სქემას, რომელსაც კავშირების ელემენტების ნაკლები სიგრძე აქვს, ამავე დროს მცირდება მთავარი კოჭების მაღლი და შედეგად მასალის ხარჯიც.

სართულიანობის 30–50 სართულამდე გაზრდის შემთხვევაში იყენებენ ჩარჩოვან (როდესაც ექსპლუატაციის პირობებით კარკასში შეუძლებელია კავშირების განლაგება) და კომბინირებულ ჩარჩო-კავშირებიან სქემებს (იხ. ფიგ. 115, ბ, გ). პორიზონტალური სიხისტის გასაზრდელად კავშირებიანი მალეების ბეტონით შევსებით იქმნება სიხისტის დიაფრაგმები ან ეწყობა კოლოფისებრი რკინაბეტონის ბირთვი, რომელიც აგრეთვე გამოიყენება ვერტიკალურ საკომუნიკაციო შახტად. ასეთ სქემებში სიხისტის შემდგომი გაზრდა მიიღწევა სიმაღლეზე ორ ან მეტ იარუსში გისოსოვანი ხისტი როსტერკის მოწყობით (იხ. ფიგ. 115, დ).

60-ზე მეტ სართულიან შენობებში გამოიყენება უკარკასო სქემები განივი მზიდი კედლებით, რომლებიც ასრულებს სიხისტის დიაფრაგმების როლს (იხ. ფიგ. 115, ე, ვ). პორიზონტალური დატვირთვების მოქმედების დროს, განივი კედლების ერთობლივი მუშაობის უზრუნველყოფა ხორციელდება გადახურვის დისკებით, კედლების შევსებით და, გარე და შიგა კედლების სიბრტყეში მდებარე პორიზონტალური და ვერტიკალური კავშირების სისტემით. ასეთ სქემებში გამოიყენება ხისტად დაარმირებული (ნაგლინი პროფილებისგან) მონოლითური რკინაბეტონის კედლები.

ფიგ. 115. ფოლადის კარკასიანი
მაღლივი შენობების ობტომალური
კონსტრუქციული სქემები მათი
სიმაღლისა და სართულიანობის
მიხედვით





ფიგ. 116. ვერტიკალური კავშირის წამწეების გისოსის ტიპები

ა - ირიბნული; ბ - ჯვარედინი; გ - ნახევრად ირიბნული;

მაღლივი შენობების შესამსუბუქებლად და სიხისტის ასამაღლებლად გამოიყენება კოლოფისებრი სქემები შიგა კარკასით და კოლოფისებრი მრავალსექციანი სქემები (იხ. ფიგ. 115 ზ, თ).

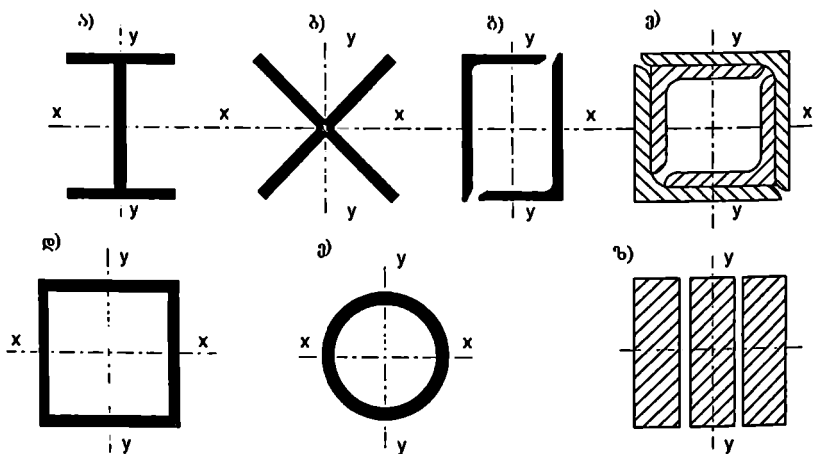
ამ კონსტრუქციული სქემების თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ პორიზონტალურ დატვირთვებს იღებს გარე კედლების კოლოფის განვითარებული განივი კვეთი, ხოლო ვერტიკალურებს - კარკასის შიგა ელემენტები, რის გამოც კოლოფისებრი სქემები ხასიათდებიან პორიზონტალური ზემოქმედებების მიმართ გაზრდილი გამძლეობით.

მზიდი განივი კედლებიანი სქემებისაგან განსხვავებით, კოლოფისებრი სისტემებში კედელი გადაწყვეტილია, როგორც უირიბნო ტიპის ხისტი სიერციითი გისოსოვანი სახის. ეს იძლევა შენობის მთელი პერიმეტრის შემინვის საშუალებას. უდიდესი პორიზონტალური სიხისტით გამოირჩევა გარეთა შემომფარგლავ სიბრტყეში მდებარე კოლოფისებრი სისტემა სიერციითი ირიბნული გისოსით (იხ. ფიგ. 115, ი).

სვეტების განივი კვეთების გავრცელებული ტიპებია: ორტესებრი, მართკუთხა და კვადრატული კოლოფისებრი პროფილები, ჯვარედინი, მილისებრი, აგრეთვე კუთხედების და სქელფურცლოვანი ფოლადისაგან შედგენილი პროფილები (ფიგ. 117). ფართო გამოყენება აქვთ ორტესებრი კვეთებს, რომლებიც გამოირჩევა კარკასის მონტაჟის მინიმალური შრომატევადობით (ფიგ. 117, ა).

მართკუთხა კეეები ხშირად გამოიყენება კოლოფისებრ სქემებში მზიდი გისოსოვანი კედლებისათვის, ამასთან კეეების გაბარიტები კედლის სიბრტყეში 30–150 სმ-ია, ხოლო კედლის მართობულ სიბრტყეში – 20–60 სმ. კარკასის შიგა სვეტებისათვის, რომლებთანაც განლაგებულია ტიხრები, მოსახერხებელია ჯვარდინი კეეები, რომლებიც ტიხარში სვეტის დამალვის საშუალებას იძლევა (ფიგ. 117, ბ).

მალღივი შენობებისთვის აგრეთვე გამოიყენება კომბინირებული პროფილები (ფიგ. 117, ვ, ზ), რომლებიც უზრუნველყოფენ კეეთის მაქსიმალურ მზიდუნარიანობას მინიმალური გაბარიტული ზომებით. კოჭებისათვის უმთავრესად გამოიყენება სიმაღლეში განვითარებული ორტესებრი, შევლერისებრი და კოლოფისებრი კეეები (ფიგ. 118). ფოლადის ეკონომიის მიზნით, ორტესებრი კეეთის შედგენილი შენადული კოჭები შეიძლება იყოს მღუნავე მომენტის ებიურის ცვლილების შესაბამისი ცვლადი სიმაღლის. კოჭები ქმნის კოჭოვან უჯრედს, რომლის დაპროექტების საფუძვლები მოცემულია მე-3 თავში.



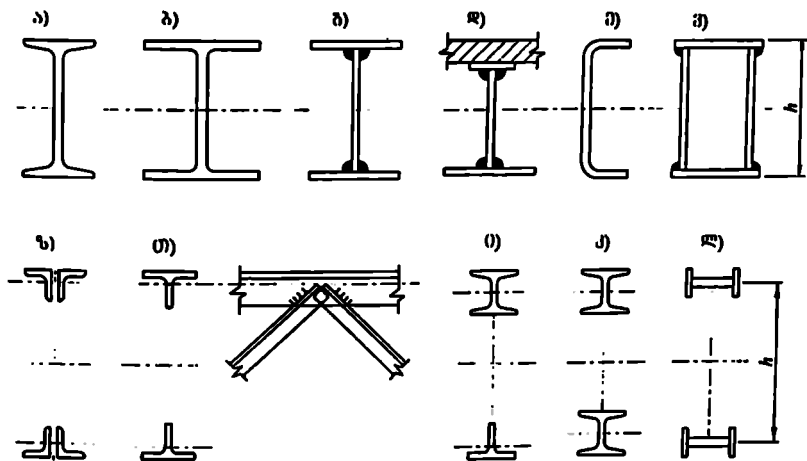
ფიგ. 117. სვეტის განიკეეების ტიპები

ა – ორტესებრი; ბ – ჯვრისებრი; გ – მართკუთხა; დ – კვადრატული;

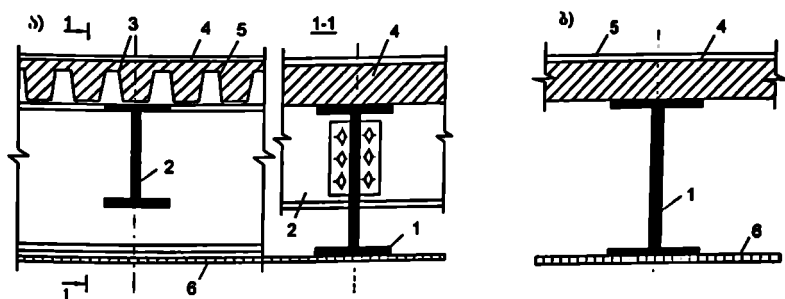
ე – მილისებრი; ვ – კუთხედებით კომბინირებული;

ზ – სქელფურცლოვანი ფოლადით კომბინირებული;

სართულშუა გადახურვის საშენებლო სიმაღლე ეკონომიკური მოსაზრებით იზღუდება 350—400 მმ-ით. ამიტომ მთავარი კოჭების სიმაღლეს იღებენ ოპტიმალურ მნიშვნელობაზე ნაკლებს, გამომდინარე ფარდობიდან $h/l=1/10-1/18$. კოლოფისებრი სქემის მაღლივ შენობებში, დიდი მაღის გამო, სართულშუა გადახურვის მზიდი კონსტრუქცია შეიძლება გაკეთდეს ჯვარედინი კოჭებით ან წამწევებით (იხ. ფიგ. 196, 209), რომლებიც შენობის გეგმის ფორმიდან გამომდინარე მუშაობენ ორი და მეტი მიმართულებით.



ფიგ. 118. კოჭების (ა-ფ) და წამწევების (ზ-ღ) განივკვეთების ტიპები



ფიგ. 119. სართულშუა გადახურვის ძირითადი ხისტემა

ა - ფოლადის მზიდი დაპროფილებული ფენილით; ბ - იგივე, რკინაბეტონის ფილით;
1 - მთავარი კოჭი; 2 - დამხმარე კოჭი; 3 - ფოლადის დაპროფილებული ფენილი;
4 - ბეტონის ფილა; 5 - იატაკის კონსტრუქცია; 6 - კედელი ჭერის კონსტრუქცია

კავშირებიან, ჩარჩოვან და ჩარჩო-კავშირებიან კარკასებში გარე კედლებს აკეთებენ მსუბუქი ბეტონის ერთშრიანი კიდული პანელების სახით ან მრავალშრიანს, რომლის გარე და შიგა ფენები დამზადებულია დაპროფილირებული ფოლადის ან ალუმინის შენადნობისაგან, ხოლო შუა ფენა მსუბუქი ფეკტური მათუნებლისაგან. კოლოფისებრ სისტემებში კედლებს აპროექტებენ მზიდი გისოსოვანი სახით, რომლებიც შედგება ორტესებრი ან კოლოფისებრი კვეთის სვეტებისა და კოჭებისაგან. ასეთ კედლებში სვეტების ბიჯი არ აღემატება 3 მ-ს.

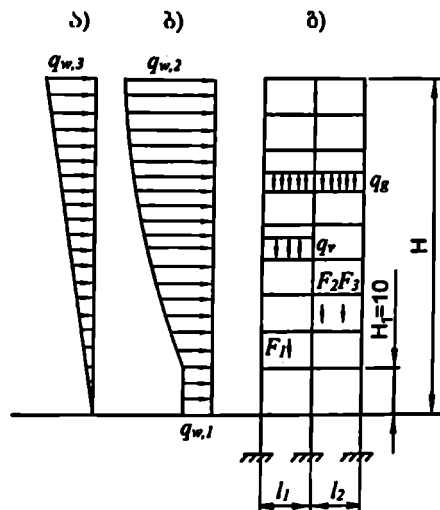
გადახურვის შემომფარგლავ კონსტრუქციებად გამოიყენება მონოლითური გადახურვები ფოლადის დაპროფილებულ ფენილზე ან რკინაბეტონის ფილები ფოლადის კოჭებზე. ფოლადის ფენილზე გადახურვის მაღი, როგორც წესი, არ აღემატება 3 მ-ს, ხოლო ფოლადის კოჭებზე – 6 მ-ს. დიდი მალეების შემთხვევაში ეწყობა რკინაბეტონის წიბოვანი ფილები (ფიგ. 119).

7.2. მრავალსართულიანი შენობის კარკასის მუშაობა

მრავალსართულიანი შენობის კარკასზე მოქმედი ძირითადი დატვირთვებია: ვერტიკალური – კარკასის კონსტრუქციისა და სართულშუა გადახურვის საკუთარი მასისგან გამოწვეული მუდმივი თანაბრად განაწილებული დატვირთვები; დროებითი – მოწყობილობებისა და ადამიანებისაგან გამოწვეული თანაბრად განაწილებული დატვირთვები; მუდმივი და დროებითი – მანქანებისგან, მოწყობილობისგან და ა. შ. გამოწვეული შეყურსული დატვირთვები; ჰორიზონტალური – ქარისგან არათანაბრად განაწილებული დატვირთვები; სეისმური დატვირთვები (ფიგ. 120);

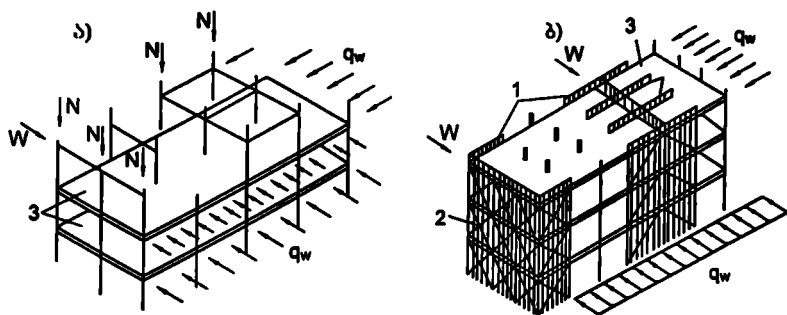
მრავალსართულიანი შენობის ან ნაგებობის ფოლადის კარკასის გაანგარიშება ხორციელდება მზიდუნარიანობაზე პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის, და სიხისტეზე – მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით. რიგელის სვეტებთან ხისტად შეუღლების მქონე ჩარჩოვან კარკასებში, კარკასის ყველა ელემენტი ერთდროულად ერთდება მუშაობაში სიერციით ჩარჩოს ნებისმიერ უბანში მოდებული ჰორიზონტალური დატვირთვების ასათვისებლად. ამასთან, ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვები, რომლებიც მოქმედებენ გარე კედლებზე, გადახურვების მეშვეობით გადაეცემათ კარკასის ყველა ჩარჩოზე (ფიგ. 121, ა). კავშირებიან

სისტემებში რიგელები და სვეტები იღებენ მხოლოდ ვერტიკალურ დატვირთვებს, ხოლო ჰორიზონტალურ დატვირთვებს იღებენ ვერტიკალური კაეშირის წამწები, რომლებიც განლაგებული არიან როგორც გარე შემოფარგლავ სიბრტყეში, აგრეთვე შენობის შიგა ღერძებზე (ფიგ. 121, ბ).



ფიგ. 120. საანგარიშო დატვირთვები კარკასზე

ა - ქარის ჩქაროსნული დაწნევის პულსაცია; ბ - ქარის სტატიკური მოქმედება; გ - განივი ჭრილი ვერტიკალური დატვირთვის ვარიანტებით;



ფიგ. 121. კარკასის მუშაობის სქემები ჰორიზონტალურ ზემოქმედებაზე

ა - ჩარჩოსებრი; ბ - კაეშირებიანი; 1 - სიხისტის გრძივი ვერტიკალური დისკოები; 2 - იგივე, განივი; 3 - სიხისტის ჰორიზონტალური დისკოები;

მრავალსართულიანი შენობის ან ნაგებობის კარკასის გაანგარიშებისას ევრტიკალური მუდმივები და დროებითი დატვირთვები დაიყვანება გადახურვის კოტეზე მოდებულ წრფივ, თანაბრად განაწილებულ ან შეყურსულ დატვირთვებამდე მათი ნორმატიული მნიშვნელობების და გადატვირთვის კოეფიციენტების გათვალისწინებით. ქარისაგან გამოწვეული ჰორიზონტალური დატვირთვა განისაზღვრება შემდეგი მიახლოებითი ფორმულებით:

$$q_{w,1} = w (0.8 + 0.6) \gamma_w s, \quad (87)$$

$$q_{w,2} = q_{w,1} k_w, \quad (88)$$

$$q_{w,3} = 0.24 (2q_{w,2} + q_{w,1}), \quad (89)$$

სადაც w არის ქარის ჩქაროსნული ნორმატიული დაწნევა, რომელიც განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით, კნ/მ²; $q_{w,1}$ და $q_{w,2}$ – ქარის განაწილებული დატვირთვის ეპიურის სტატიკური ნაწილის ორდინატები, შესაბამისად მიწიდან 10 მ-ის სიმაღლეზე და შენობის ზედა ნიშნულზე, კნ/მ; k_w – სიმაღლის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით; $\gamma_w = 1.2$ – გადატვირთვის კოეფიციენტი ქარის დატვირთვისათვის; 0.8 და 0.6 – აეროდინამიკური კოეფიციენტები; $q_{w,3}$ – ქარის დინამიკური ჩქაროსნული დაწნევისგან გამოწვეული განაწილებული დატვირთვის ეპიურის ორდინატა, კნ/მ²; s – ჩარჩოების ბიჯი, მ.

მიწის დონეზე სრული მღუნავი მომენტი, რომელიც მოქმედებს მთელ ნაგებობაზე, განისაზღვრება ფორმულით:

$$M = (H^2 / 3) [(q_{w,1} / 2) + q_{w,2}] (1 + \xi / 5), \quad (90)$$

სადაც ξ არის დინამიკურობის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით. XX

ქარის დატვირთვის სტატიკური ნაწილისგან გამოწვეული მღუნავი მომენტი ტოლია:

$$M_s = (H^2 / 6) (2q_{w,2} + q_{w,1}). \quad (91)$$

კავშირებიანი სქემის მქონე კარკასის სტატიკური გაანგარიშება ითვალისწინებს სივრცითი კონსტრუქციის დანაწევრებას ცალკეულ ბრტყელ სისტემებად, რომლებიც მუშაობენ, როგორც წესი, განივი მიმართულებით (ფიგ. 122, ა). საანგარიშო სქემა წარმოადგენს მრავალსართულიან ჩარჩოს რიგელების სვეტებთან სახსრული შეუღლებით და კავშირის წამწით ერთ-ერთ მაღშ.

ასეთი ჩარჩოს რიგელები, რომლებიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული მუდმივი და დროებითი დატვირთვებით, მუშაობენ როგორც ჭრადი კოჭები და მათი გაანგარიშება წარმოებს მე-3 თავში მოყვანილი მეთოდით. რიგელების საყრდენი რეაქციები კარკასის სვეტებზე გადაეცემა გრძივი N ძალების სახით.

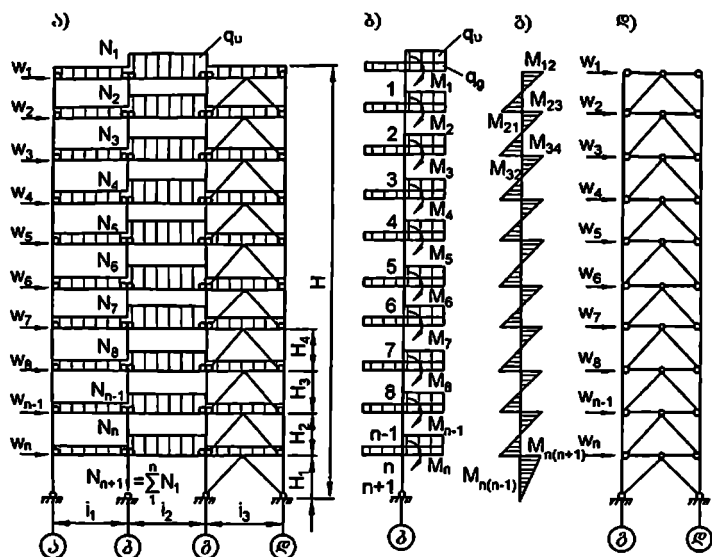
ყველა სართულზე რიგელების სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში სვეტებში წარმოიშევა მხოლოდ ცენტრალური კუმშვის ძალები. ექსპლუატაციის პროცესში დატვირთვის ყველაზე უარესი ვარიანტია ძალების ცალმხრივი დროებითი დატვირთვა (ფიგ. 122, ბ), რაც იწვევს ადგილობრივი M_{loc} მღუნავი მომენტების წარმოქმნას სვეტებში (ფიგ. 122, გ), ამიტომ სვეტების დაპროექტირების დროს სრულდება ორი გაანგარიშება: პირველი – ცენტრალურ კუმშვაზე, რომელიც გამოწვეულია მაქსიმალური მკუმშავი ძალისგან N_{max} ; მეორე – არაცენტრალურ კუმშვაზე, რომელიც გამოწვეულია ადგილობრივი M_{loc} მღუნავი მომენტისა და შესაბამისი N გრძივი ძალის ერთობლივი მოქმედებით. ადგილობრივი მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით

$$M_{loc} = G_{max} e_1 - G_{min} e_2, \quad (92)$$

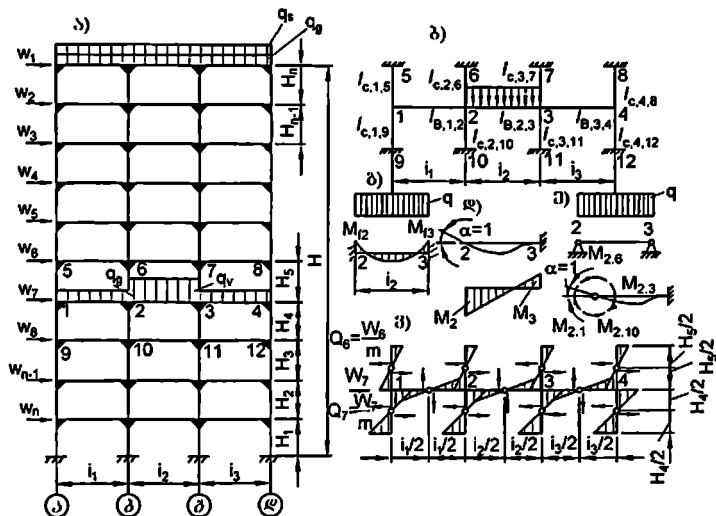
სადაც G_{max} , G_{min} არის რიგელის საყრდენი რეაქციები, რომელიც დატვირთულია შესაბამისი დატვირთვებით $q = (q_g + q_s)$ და q_g ; e_1 , e_2 – საყრდენი რეაქციების მოდების შესაბამისი ექსცენტრისიტეტები სვეტის ღერძის მიმართ.

ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვა მთლიანად გადაეცემა კავშირების სისტემას ჩარჩოს კვანძებზე მოდებული შეყურსული ძალების სახით (ფიგ. 122, დ). ასეთი სისტემის გაანგარიშება ხორციელდება როგორც საძირკველში ჩამაგრებული კონსოლური სტატიკურად რკვევადი წამწის (იხ. პ. 5.5).

რიგელისა და სვეტების ხისტი შეუღლების მქონე ჩარჩოსებრი კონსტრუქციული სქემის გაანგარიშება ხორციელდება სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით კომპიუტერის გამოყენებით, როგორც მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემის. საანგარიშო ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვების მოქმედებისას სვეტებისა და რიგელების კვეთებში განისაზღვრება საანგარიშო მღუნავი მომენტები M_{cal} , გრძივი N_{cal} და განივი Q_{cal} ძალები (ფიგ. 123, ა). ამასთან, განიხილება საანგარიშო დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი კომბინაცია.



ფიგ. 122. კავშირებიანი კარკასის გაანგარიშებისთვის



ფიგ. 123. ჩარჩოსებრი კარკასის გაანგარიშებისთვის

ჩარჩოს კვეთებში ვერტიკალური დატვირთვისაგან გამოწვეული მომენტების მნიშვნელობები შეიძლება განისაზღვროს მიახლოებითი გაანგარიშებით. ამისთვის მრავალსართულიანი ჩარჩოდან ამოიჭრება ერთი რგოლი (ფიგ. 123, ბ). 21-ე და 23-ე ცხრილების გამოყენებით ინიშნება ჩარჩოს რიგელისა და დგარის გაბარიტული ზომების მიახლოებითი მნიშვნელობები და 63-ე ფორმულით განისაზღვრება საანგარიშო რგოლში შემაღალი ყველა დგარისა და რიგელის ინერციის მომენტები. რეალური მღუნავი მომენტი დატვირთულ 2-3 ღეროში, კვანძ 2 -ში, განისაზღვრება ფორმულით:

$$M_{2,3} = M_{f,2} [(\Sigma k_2 - k_{r,2,3}) / \Sigma k_2], \quad (93)$$

სადაც $M_{f,2}$ არის ფიქტიური მღუნავი მომენტი 2-3 ღეროში საყრდენზე 2; Σk_2 - კვანძ 2-ში მიერთებული ღეროების წრფივი სიხისტეების ჯამი; $k_{r,2,3}$ - 2-3 ღეროს (რიგელის) წრფივი სიხისტე.

კვანძ 2-თან მიერთებულ დაუტვირთავ ღეროში (მაგალითად 1-2) რეალური მღუნავი მომენტი შეიძლება ანალოგიურად გამოითვლოს

$$M_{2,1} = M_{f,2} (k_{r,1,2} / \Sigma k_2). \quad (94)$$

ღეროს ბოლოების ხისტად ჩამაგრების შემთხვევაში (ფიგ. 123, გ), თანაბრად განაწილებული დატვირთვისგან გამოწვეული ფიქტიური მღუნავი მომენტი ღეროს საყრდენზე გამოითვლება ფორმულით:

$$M_{f,2} = -ql_2^2 / 12.$$

რიგელის და დგარების ღეროების წრფივი სიხისტე შესაბამისად განისაზღვრება ფორმულებით:

$$k_r = 6EJ_b / l; \quad k_c = 6EJ_c / H_i. \quad (95)$$

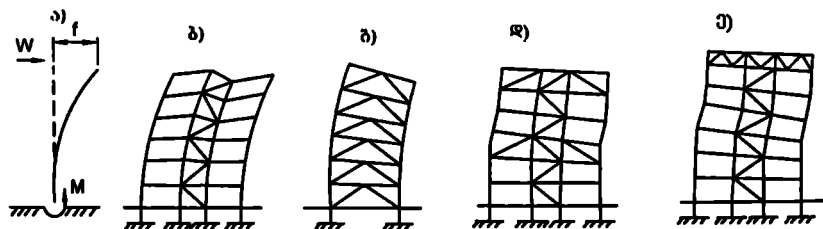
გადახურვებზე სხვადასხვა დატვირთვის შემთხვევაში განიხილება ჩარჩოს ყველა დამახასიათებელი რგოლი და მათთვის განისაზღვრება საანგარიშო მღუნავი მომენტები. სვეტებში ვერტიკალური დატვირთვებისგან გამოწვეული გრძივი N ძალები განისაზღვრება კავშირების კარკასის ანალოგიურად.

ქარის ჰორიზონტალური დატვირთვისაგან გამოწვეული საანგარიშო მღუნავი მომენტები, აგრეთვე, შესაძლებელია განისაზღვროს მიახლოებით.

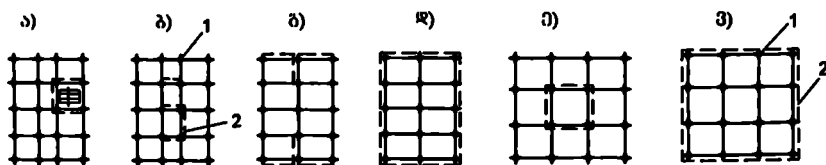
ამისთვის, მრავალსართულიან ჩარჩოს ანაწევრებენ ერთსართულიანებად ჩარჩოს დგარებსა და რიგელებში მომენტების ეპიურების ნულოვანი წერტილების დადგენილი მდებარეობით: დგარებში – ზედა სართულში, ზედა რიგელის ღერძიდან $0.6H$ მანძილზე; შუალედურ სართულში $0.5H$; ქვედა სართულში $0.4H$ ზედა რიგელიდან; რიგელებში – $0.5l$. ქარის დატვირთვით გამოწვეული მდუნავი მომენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$M_0 = Q_0 H / 2, \quad (96)$$

სადაც Q_0 არის განივი ძალა ერთ დგარში სახსარის დონეზე, რომელიც განისაზღვრება განსახილველი სახრის ღერძის ზევით მოქმედი ქარის ჯამური დატვირთვის ფარდობით საანგარიშო სქემის განიეკვეთში არსებულ ვერტიკალური დგარების რაოდენობასთან (ფიგ. 123, ე).



ფიგ. 124. ვერტიკალური კავშირების (ა-ე) და პორიზონტალური როსტგერკის წამწების (დ, ე) მუშაობა



ფიგ. 125. გეგმაში ვერტიკალური კავშირების განლაგების ვარიანტები

ა – კიბის უჯრედის გარშემო; ბ – შიგა ღერძებზე, პერიმეტრზე ლენტური შეშინვის შემთხვევაში; გ – ყრუ ტორსული კედლების შემთხვევაში; დ-ე – დიდი სართულიანობის მქონე შენობებში; 1 – სვეტი; 2 – კავშირები;

ჩარჩოს ელემენტებში საანგარიშო ძალებს ღებულობენ ვერტიკალური და პორიზონტალური დატვირთვებისაგან გამოწვეული მდუნავი მომენტების,

ნორმალური და განივი ძალების დაჯამებით. საანგარიშო კვებების მზიდუნარიანობის შემოწმებას ახორციელებენ (16) – (21) ფორმულებით.

მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება ზღუდავს მრავალსართულიანი შენობის ზედა სართულის პორიზონტალურ გადაადგილებას $f \leq (1/600 - 1/800)H$. ამ პირობის შესასრულებლად რეკომენდებულია ნაგებობის სიმაღლის შეფარდება მის სიგანესთან აკმაყოფილებდეს პირობას $H/B \leq 7$.

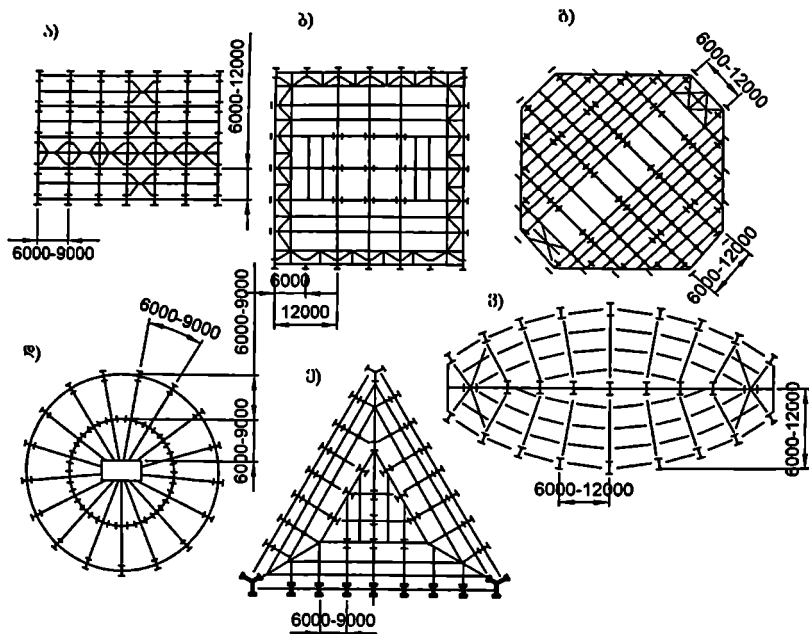
სტატიკაში მრავალსართულიანი შენობა წარმოადგენს საძირკველში ჩამაგრებულ ღუნეად ღეროს (ფიგ. 124). კაეშირის ვიწრო წამწის შემთხვევაში (ფიგ. 124, ბ), კაეშირების მნიშვნელოვანი გრძივი დეფორმაციების გამო, კარკასი განიცდის დიდ პორიზონტალურ გადაადგილებებს, ამიტომ პორიზონტალური სიხისტის გასაზრდელად, ცალკეულ ჩარჩოებში, შენობის მთელ სიგანეზე, შეიძლება მოეწყოს კაეშირის წამწე (ფიგ. 124, გ). იმ შემთხვევაში, როდესაც ასეთი კაეშირები აფერხებს შენობის ნორმალურ ექსპლუატაციას, კაეშირების ვიწრო წამწეები შეიძლება გაძლიერდეს დამატებითი კაეშირით გარე დგარებთან (ფიგ. 124, დ) ან როსტვერკის პორიზონტალური წამწის მეშვეობით (ფიგ. 124, ე). კაეშირის წამწეების მოწყობის ადგილები ნაჩვენებია ფიგ. 125-ზე.

7.3. შენობათა სისტემების გაერთმთლიანება.

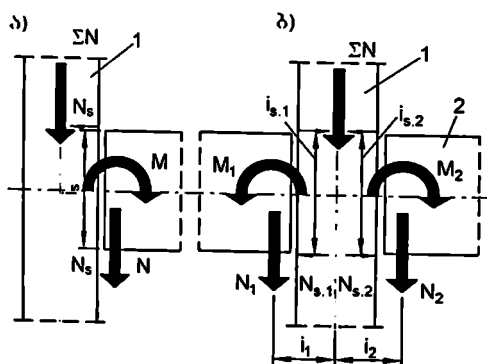
პოჯის სვებითან შეერთების კვანძები

სართულშუა გადახურვის კონსტრუქციები ქმნიან პორიზონტალურ ხისტ დისკოებს, რომლებიც აერთიანებს შენობის ვერტიკალურ მზიდ კონსტრუქციებს და უზრუნველყოფს მთლიანი ნაგებობის ერთობლივ მუშაობას. სართულშუა გადახურვის კოჭური უჯრედების მოწყობა განისაზღვრება შენობის არქიტექტურულ-კონსტრუქციული ფორმის მიხედვით. გადახურვის მოწყობის დამახასიათებელი ტიპები ნაჩვენებია ფიგ. 126-ზე.

გადახურვის პორიზონტალური სიხისტე მიიღწევა გადახურვის რკინაბეტონის ფილების საშუალებით, ხოლო გაძლიერების აუცილებლობის შემთხვევაში, დამატებითი პორიზონტალური კაეშირების მოწყობით კონტურის შიგნით (ფიგ. 126, ა) ან პერიმეტრზე (ფიგ. 126, ბ, გ).



ფიგ. 126. სართულშუა გადახურვების გაერთოლიანების სქემები შენობის გეგმის სხვადასხვა ფორმის შემთხვევაში



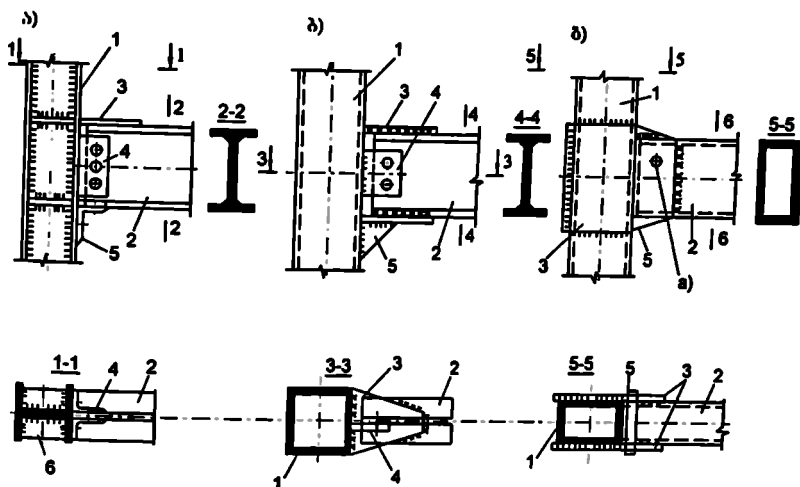
ფიგ. 127. ჩარჩოვანი კარკასის კვანძების საანგარიშო სქემები

ა - განაპირა ღერძზე; ბ - შუა ღერძზე; 1 - სვეტი; 2 - კოჭი;

ჩარჩოვან კარკასებში, დგარებთან რიგელის შეუღლების კვანძებში, წარმოიქმნება M მღუნავი მომენტი და N ნორმალური გრძივი ძალა (ფიგ. 127). მღუნავი მომენტი იშლება წყვილ N_s ძალებად, რომლებიც სვეტსა და კოჭის თაროებზე მიდრეკილი შემაერთებული ფირფიტებით გადაეცემა სვეტს,

$$N_s = M / l_s, \quad (97)$$

სადაც l_s არის თამასების ღერძებს შორის მხარი.



ფიგ. 128. კოჭების სვეტებთან შეერთების კვანძები

ა - კოჭის და სვეტის ორტესებრი კვეთის შემთხვევაში; ბ - კუბურ კვეთის სვეტისა და ორტესებრი კოჭის შემთხვევაში; გ - კოჭის და სვეტის მართკუთხა კოლოფისებრი კვეთის შემთხვევაში; 1 - სვეტი; 2 - კოჭი; 3 - შემაერთებული ფირფიტა; 4 - სამონტაჟო ელემენტი; 5 - საყრდენი მაგიდა; 6 - სიხისტის წიბო;

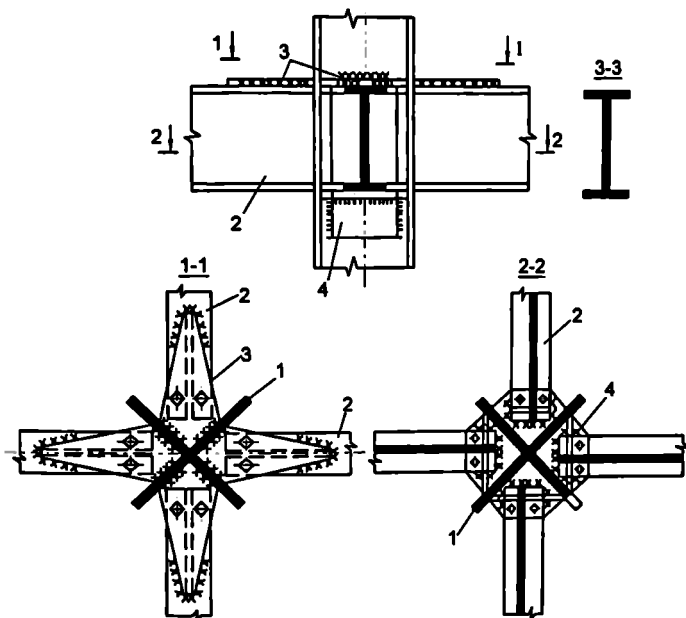
განივი ძალები სვეტზე გადაეცემა საყრდენი მაგიდის მეშვეობით. ორტესებრი სვეტებისა და კოჭების შემთხვევაში, სვეტებში შემაერთებული თამასების ღერძის გასწვრივ საჭიროა სიხისტის წიბოების მოწყობა, რათა თავიდან იქნას აცილებული თაროების ადგილობრივი ღუნვა, რომელიც თამასებში ნორმალური ძალების მოქმედებისგანაა გამოწვეული, (ფიგ. 128, ა). კოლოფისებრი კვეთის მქონე სვეტების გამოყენებისას, შემაერთებული თამასების სიგანე აიღება სვეტის სიგანის ტოლი (ფიგ. 128, ბ). კოლოფისებრი კვეთის კოჭებისა და სვეტების გამოყენების შემთხვევაში, უნდა

მივისწრაფოდეთ იმისკენ, რომ შესაუღლებელი ელემენტების კვეთის სიგანეები იყოს ერთნაირი. ეს საშუალებას იძლევა მოეწყოს ვერტიკალური საპირაპირე ზესადებები, რომლებიც მიდუღებულია ელემენტების გვერდითა წახნაგებზე (ფიგ. 128, გ). სამონტაჟო სამუშაოების გამარტივებისათვის კოჭებსა და ზესადებებში დატანებულია ხერხელები, რომლებშიც, შეთავსების შემდეგ, გატარდება სამონტაჟო სადები. ამ ოპერაციის შემდეგ ხორციელდება სამონტაჟო შედუღება.

ჯვარედინა სვეტებში ნებისმიერი კვეთის კოჭები ეყრდნობა სვეტების ვერტიკალურ ფურცლებზე მიდუღებულ საყრდენ მაგიდებს, რომლებიც შესრულებულია კუთხედებისაგან. სვეტებში მაგიდები ახორციელებს სიხისტის წიბოების ფუნქციასაც. კოჭებს მაგიდებთან ამაგრებენ სამონტაჟო ჭანჭიკებით, ხოლო შემდეგ ამაგრებენ სვეტთან ტრაპეციისებრი თამასებით, რომლებიც კოჭის თაროებზე ფლანგური ნაკერებითაა მიდუღებული (ფიგ. 129). თამასების რთული ფორმა განისაზღვრება ქვედა ფლანგური ნაკერების კოჭის თაროზე მოწყობის აუცილებლობით.

მიღოვანი კვეთის მქონე სვეტების შემთხვევაში, განივი ძალა კოჭებიდან გადაეცემა სვეტების გასწვრივ მიდუღებული ვერტიკალური საყრდენი ფირფიტების მეშვეობით (ფიგ. 130). ასეთ შემთხვევაში სვეტის კედლის ჩალუნვისაგან დასაცავად, კვანძში აყენებენ სვეტის ტანთან, ვერტიკალურ წიბოებთან და კოჭის თაროებთან მიდუღებულ ორ მრგვალ ან მრავალწახნაგა ფირფიტებს. იგივე ფირფიტები ასრულებს თამასების ფუნქციასაც, რომელთა მეშვეობით ხორციელდება ხისტ კვანძებში საყრდენი მომენტის სვეტზე გადაცემა. კვანძის ნაკლად შეიძლება ჩაითვალოს ჭერის ნაკერების შესრულების აუცილებლობა წრიულ ფირფიტასა და კოჭის ზედა სარტყელს შორის.

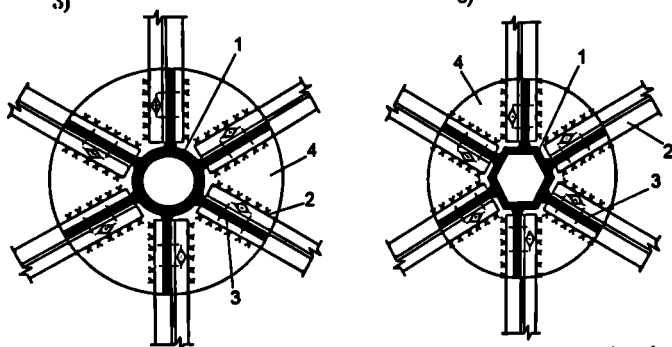
ერთმაგი ან ორმაგი კუთხედებისაგან შესრულებული კავშირების ელემენტებს სამონტაჟო ჭანჭიკებითა და შედუღებით ამაგრებენ საკვანძო შეერთებებში შემავალ ვერტიკალურ წიბოებთან (ფიგ. 131). დამაკავშირებელი ელემენტების საკვანძო ფასონურებთან მისამაგრებელი შენადული ნაკერების გაანგარიშებას აწარმოებენ კავშირის ფერმების გაანგარიშების შედეგად განსაზღვრულ ძალებზე.



ფიგ. 129. კოჭების ჯვარედინა სვეტებთან შეერთების კვანძები
1 - სვეტი; 2 - კოჭი; 3 - შემაერთებული ფირფიტა; 4 - საფუძველი მაგიდა

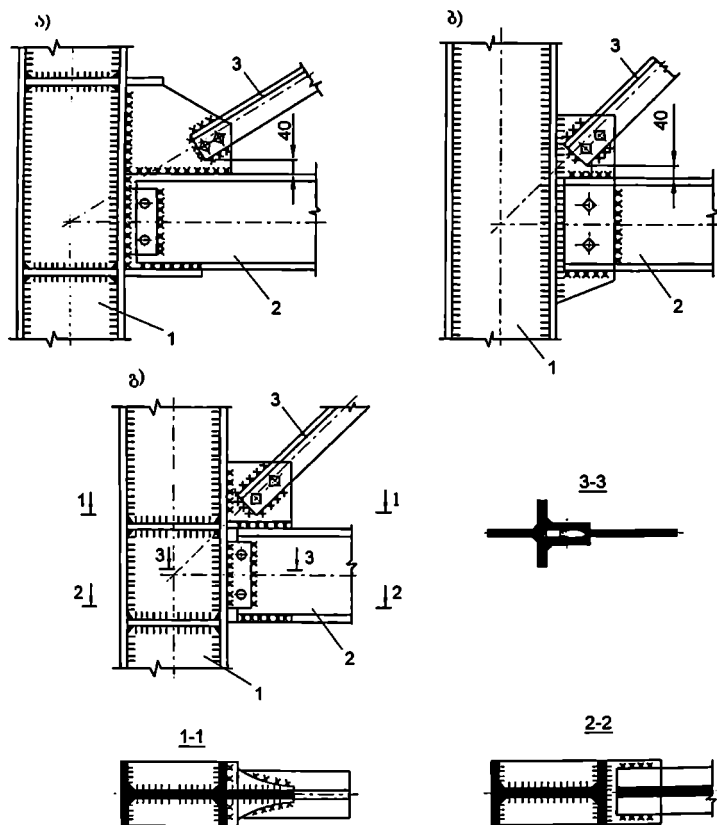
ა)

ბ)



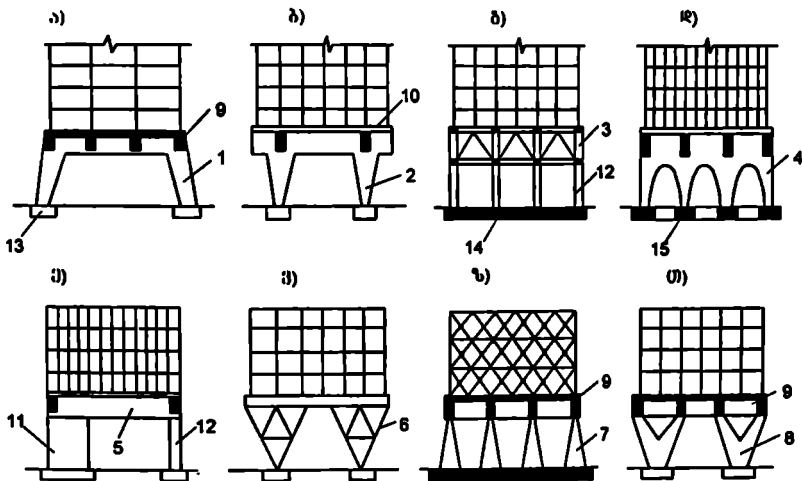
ფიგ. 130. კოჭების სვეტებთან შეერთების კვანძები სვეტების სამკუთხა ბადის შემთხვევაში

ა - მრგვალი მილის სახით; ბ - ექვსწახნაგა მილის სახით; 1 - სვეტი; 2 - კოჭი;
3 - შემაერთებული ვერტიკალური წიბო; 4 - ნახევრებთან მრგვალი ფურცელი



ფიგ. 131. კავეშირების ჩამატების კვანძების ჩარჩოვან (ა, ბ) და კავეშირებიან (გ)
კარკასებში

1 - სვეტი; 2 - კოჭი; 3 - კავეშირები



ფიგ. 132. პორტალების საყრდენი კონსტრუქციების სისტემები

ა, ბ - ჩარჩოსებრი; გ - ჯვარედინა წამწებიანი; დ - თაღოვანი; ე - კოჭოვანი;
 ე - გისოსოვანი ჩარჩოსებრი; ზ - ჯვარედინი როსტვერკით და კონუსური
 საყრდენებით; თ - V-ს ფორმის საყრდენებით; 1 - ერთმალის ჩარჩო;
 2 - კონსოლური ჩარჩო; 3 - ჯვარედინი წამწები; 4 - თაღები; 5 - კოჭი;
 6 - გისოსოვანი საყრდენები; 7 - კონუსური საყრდენები; 8 - V-ს ფორმის
 საყრდენები; 9 - კოჭოვანი როსტვერკი; 10 - გამანაწილებელი ფილა; 11 - პილონი;
 12 - სვეტი; 13 - წერტილოვანი საძირკველი; 14 - ფილოვანი საძირკველი;
 15 - ჯვარედინ ლენტური საძირკველი;

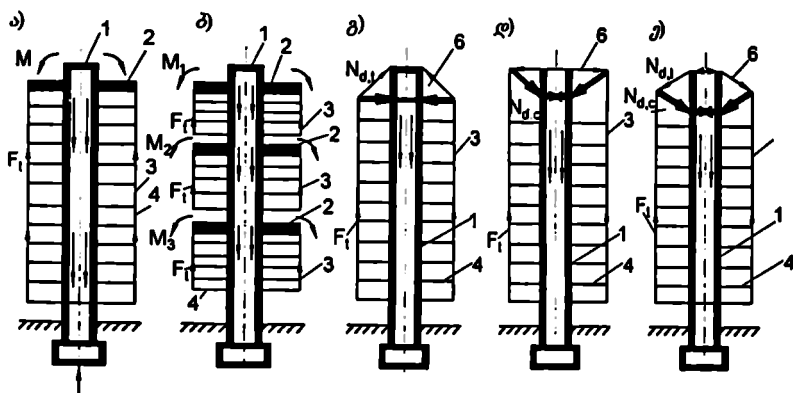
არც თუ ისე იშვიათად, მშენებლობის პრაქტიკაში, ფუნქციონალური თავისუფალი სივრცის ორგანიზების მიზნით, რომელიც გამოიყენება, როგორც ქალაქგეგმარებითი ნაწილი, მანქანათა სადგომი, გასასვლლები და ა.შ., წარმოიქმნება შენობის ძირითადი მოცულობის მიწის ზედაპირიდან დაცილების აუცილებლობა. ამ ამოცანის გადასაჭრელად კარკასს აყრდნობენ სპეციალურ კონსტრუქციებზე, რომლებსაც პორტალები ეწოდებათ (ფიგ. 132). პორტალის მზიდი კონსტრუქციის ძირითად ნაწილს შეადგენს ერთმანეთთან მძლავრი კოჭებითა და ფერმებით დაკავშირებული განივი და გრძივი ჩარჩოები, რომლებიც ერთობლიობაში ქმნის ხისტ უცვლელ სისტემას. კონსტრუქციულად პორტალებს აკეთებენ ხისტი და მოქნილი არმატურით არმირებულ მონოლითურ რკინაბეტონში.

7.4. შეპიძულ სართულებიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები

კონსტრუქციული თაღსაზრისით, შეპიძულ სართულებიანი შენობები პრინციპულად განსხვავდებიან მრავალსართულიანი შენობებისაგან. კონსტრუქციული სქემის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს სივრცითი ვერტიკალური ტანები – შახტები, რომლებშიც განთავსებულია კიბისა და ლიფტების კომუნიკაციები და ითვისებენ ყველა ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ დატვირთვებს. სართულებს კიდებენ კონსოლურ სათავისებზე, რომლებსაც აქვთ კოჭური როსტვერკის ან ჯვარედინი ფერმების სისტემის სახე, რომლებიც ეყრდნობიან შენობის ვერტიკალურ ტანს. მრავალსართულიანი შენობების კარკასებისათვის დამახასიათებელი შეკუმშული დგარების საკიდებით შეცვლის წყალობით, შეპიძულ სართულებიანი შენობები ნაკლებად მასალატევადია ტრადიციულ მრავალსართულიან კარკასებთან შედარებით, აქვთ მეტი სასარგებლო ფართი, ახასიათებთ გაზრდილი სეისმოიმედულობა, საჭიროებენ მიწის სამუშაოების ნაკლებ მოცულობას და ამავე დროს საშუალებას იძლევიან შეიქმნას ორიგინალური არქიტექტურულ-კონსტრუქციული ფორმები.

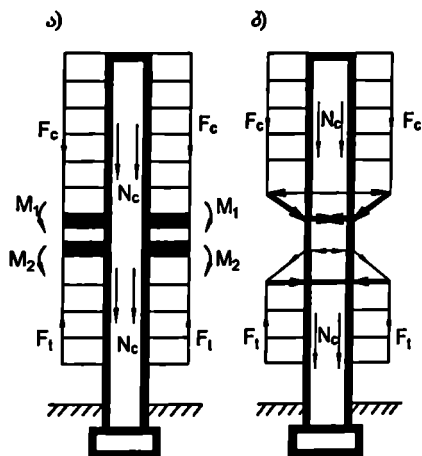
კონსტრუქციული სქემები მთავარი საყრდენების რაოდენობის მიხედვით შეიძლება დაიყოს ორ მთავარ ჯგუფად: ერთტანიან და, ორ და მრავალტანიან სისტემებად. ყოველ ჯგუფში, კონსოლური როსტვერკების ადგილმდებარეობის, რაოდენობის, კონსტრუქციული ფორმისა და სხვა ნიშნების მიხედვით, შემოაქვთ დამატებითი კლასიფიკაცია.

სამშენებლო პრაქტიკაში, უმეტეს წილად, განვითარება ჰპოვა ერთტანიანმა სისტემებმა ერთი კონსოლური როსტვერკით, რომელიც განთავსებულია მთავარი ტანის სათავსზე (ფიგ. 133). ამასთან, როსტვერკი წარმოადგენს კოჭების (ფიგ. 133, ა) ან ფერმების (ფიგ. 133, გ, დ, ე) სისტემას. როსტვერკის ელემენტებში (ფიგ. 133, ე) მინიმალური ძაღვები წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც ძირითადი ელემენტების დახრის კუთხე ჰორიზონტალის მიმართ შეადგენს 30-35°. კოჭისებრ როსტვერკებში მღუნავი მომენტის შესამცირებლად, ტანის სიმაღლეზე, სართულების რაოდენობიდან გამომდინარე, აწყობენ ორ, სამ და მეტ როსტვერკს (ფიგ. 133, ბ).



ფიგ. 133. დაკიდულ სართულებიანი ერთტანიანი (ერთჭაურაიანი) შენობების კონსტრუქციული სქემები

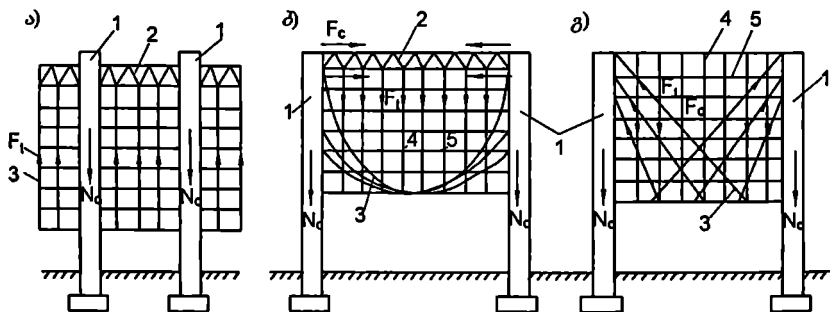
ა - კიდული; ბ - კიდული ჯგუფური; გ-ე - კიდული, ღეროვანი დოინჯიანი სისტემის სხვადასხვა გეომეტრიით; 1 - ტანი (ჭაური) (კოშკი); 2 - მზიდი კოჭოვანი როსტერკი; 3 - საკიდრები; 4 - კოჭოვანი უჯრედი; 5 - საძირკველი; 6 - მზიდი დოინჯიანი სისტემა



ფიგ. 134. დაკიდულ სართულებიანი ერთტანიანი კომბინირებული შენობების კონსტრუქციული სქემები

ა - ჯგუფური, კოჭოვანი როსტერკებით; ბ - ჯგუფური, ღეროვანი დოინჯიანი სისტემებით

ასევე შესაძლებელია კომბინირებული სისტემები, რომლებიც ნაწილობრივ შეკიდულია და ნაწილობრივ კონსოლურ როსტვერკებზე დაყრდნობილი (ფიგ. 134, ა, ბ). კომბინირებულ სისტემებს იყენებენ მაშინ, როდესაც გადახურვის სისქის შესამცირებლად ან სართულის გარკვეულ მონაკვეთებზე დიდი დატვირთვების გადასაცემად, ვერტიკალური საყრდენების ბიჯი შეადგენს 3-6 მ-ს.



ფიგ. 135. დაკიდულ სართულებიანი ორტანიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები
 ა - კიდული; ბ, გ - კომბინირებული, ხიდური ტიპის; 1 - ტანი; 2 - გისოსოვანი როსტვერკი; 3 - საკიდარი; 4 - სვეტი; 5 - კოჭი;

ორტანიან კონსტრუქციებში შენობის მთავარ ვერტიკალურ ელემენტებად გამოიყენება ორი საკიბე-სალიფტო შახტა, რომელზეც მაღიანი სახიდე ნაგებობების მსგავსად, ეყრდნობა კოჭის, წამწის ან ვანტური სისტემების გადახურვის დამჭერი კონსტრუქციები (ფიგ. 135).

სართულშორის გადახურვებს, რომლებიც შესრულებულია კოჭური უჯრედების ან ჯვარედინა წამწების სახით, დამჭერ კონსტრუქციაზე კიდებენ საკიდების მუდმივი ან ცვლადი ბიჯით. საკიდებს შორის მაქსიმალური მანძილი, როგორც წესი, არ აღემატება 12 მ-ს.

ფიგ. 135, ბ-ზე მოყვანილი სქემის მსგავსად, ორტანიან შენობებში შესაძლებელია დამჭერი კონსტრუქციების მოწყობა ორ ან მეტ იარუსში, ან დამატებითი ვანტური საკიდებით (ფიგ. 135, გ). ბოლო ორ შემთხვევაში, დამჭერ კონსტრუქციაში ან შეკიდული კარკასის კოჭებში, წარმოიქმნება დამატებითი ჰორიზონტალური F_c ძალები, რომლებიც იწვევენ მაღის კონსტრუქციების გრძივ კუმშვას.

აღწერილ სქემებთან ერთად, შესაძლებელია შეკიდულ სართულებიანი შენობებისა და ნაგებობების სხვა ვარიანტებიც, რომლებიც ძირითადად განსხვავდება მთავარი მზიდი კონსტრუქციის კონსტრუქციული ფორმით, რომელიც შეიძლება გადაწყვეტილი იყოს თაღის, ჩარჩოს ან V-ს მსგავსი პროფილის სახით.

75. შეკიდულ სართულებიანი შენობის გაანგარიშება და კონსტრუქცია

შეკიდულ სართულებიანი შენობა, სტატიკური თვალსაზრისით, წარმოადგენს საძირკველში ჩამაგრებულ, მუდმივი და დროებითი ვერტიკალური და ჰორიზონტალური (ქარის) დატვირთების ზემოქმედების ქვეშ მყოფ კონსოლურ ღეროს. ყველა დატვირთვას ღებულობს შენობის ტანი, რომელშიც ვერტიკალურ გრძივ N_c ძალებს საზღვრავენ, როგორც შენობის კონსტრუქციის საკუთარი მასისა და სართულებზე სასარგებლო დატვირთის ჯამს. საძირკვლის ზედაპირის დონეზე, ტანის საანგარიშო კვეთში ჰორიზონტალური დატვირთვისაგან გამოწვეულ მღუნაე მომენტს საზღვრავენ (90) და (91) ფორმულებით.

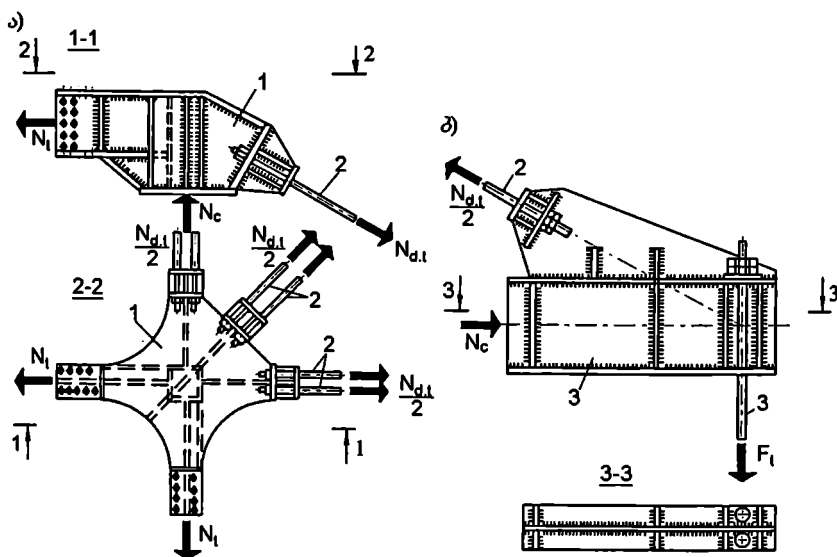
ტანის კოლოფა კვეთის გაანგარიშებას აწარმოებენ, როგორც არაცენტრულად შეკუმშულ ღეროს, ამასთან გასათვალისწინებელია, რომ ხანძარსაწინააღმდეგო თვალსაზრისით, მთავარი ტანი რკინაბეტონისაა. ტანების (ჭაურების) რკინაბეტონის კედლების სისქე განისაზღვრება შენობაში სართულების რაოდენობის მიხედვით და ქვედა სართულების დონეზე 40-80 სმ-ია, ხოლო ზედა სართულებში – 20-60 სმ.

განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა საძირკვლების დაპროექტებას, ვინაიდან ჰორიზონტალური ძალების ზემოქმედებით ისინი იღებენ უდიდეს მღუნაე მომენტს და გადასცემენ საფუძველს (ფუძეს). საძირკველბად იყენებენ ღრმა სატენ ხიმიწებებს გაფართოებული ქუსლით, მასიურ (მთლიან მონოლითურ რკინაბეტონის ფილებს და სხვ.).

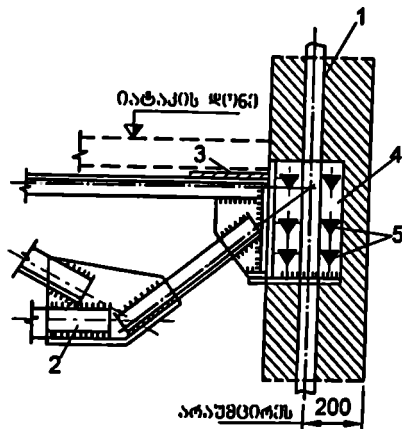
გადახურვის კონსტრუქციების, რომლებიც წარმოადგენს ჰორიზონტალურ ხისტ დისკოებს, კონსტრუქცია წარმოებს კოჭოვანი უჯრედების სახით, სადაც მთავარი და დამხმარე კოჭები ერთ დონეზეა განლაგებული. გადახურვის კოჭები მუშაობს, როგორც ტრადიკრთმალიანი ან

უჭრი მრავალმალიანი სისტემები, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში, როგორც ჯვარდინი კოჭების ან ფერმების სისტემები. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშების მეთოდთა უნდა ითვალისწინებდეს მათ საანგარიშო სქემას. ანალოგიურად აწარმოებენ როსტვერკის ელემენტებისა და საყრდენი კოჭების ან ფერმების გაანგარიშებას.

ვერტიკალური საკიდები მუშაობს ცენტრალურ გაჭიმვაზე F , ძალებისაგან, რომელთა მნიშვნელობაც მცირდება ზემოდან ქვემოთ. ფიგ. 136-ზე ნაჩვენებია როსტვერკის ძირითადი კვანძები, რომლებიც შესრულებულია ფიგ. 133-ზე წარმოდგენილი კონსტრუქციული სქემების შესაბამისად. საკიდებად გამოყენებულია 600-800 მპა დენადობის ზღერის მქონე მაღალი სიმტკიცის ფოლადის მრგვალი ღეროები. ღეროებს კვანძებში ამაგრებენ ქანჩებისა და კონტრქანჩების მეშვეობით.

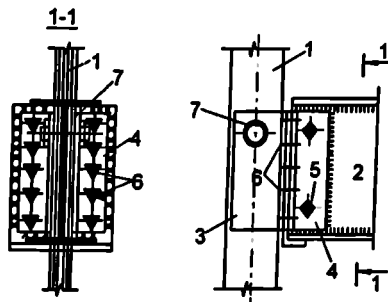


ფიგ. 136. ღონჯიან სისტემებში საჭიმრების ღეროების დამაგრების კვანძები
 1 - საყრდენი ჩარჩო; 2 - საჭიმარის ღერო; 3 - საკიდარი; 4 - განმზღვენი;



ფიგ. 137. სართულშუა გადახურვის მზიდი კონსტრუქციის საკიდართან დამაგრების კვანძი

- 1 – მოქნილი საკიდარი; 2 – რიგელი (წამწვე); 3 – პირაპირის ზესადები; 4 – მოსატყერი საყრდენი მაგიდა; 5 – მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები



ფიგ. 138. სართულშუა გადახურვის კოჭოვანი უჯრედის ხისტ საკიდართან დამაგრების კვანძი

- 1 – ფურცლოვანი საკიდარი; 2 – კოჭი; 3 – საყრდენი კაეი; 4 – პირაპირის კუთხედები; 5 – სამონტაჟო ჭანჭიკები; 6 – მაღალი სიმტკიცის მუშა ჭანჭიკები; 7 – სამონტაჟო სადები

სართულშუა გადახურვის კოჭებსა და ფერმებს, მრგვალი ღეროებით ან ბრტყელი ფირფიტებით დამზადებულ საკიდებთან ამაგრებენ სპეციალური სატაცების გამოყენებით მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით (ფიგ. 137 და 138).

სპეციალურ საყრდენ მაგიდებიან სატაცებს წინასწარ ამაგრებენ საკიდებზე, ხოლო შემდეგ ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკებითა და შედუღებით მათზე ამაგრებენ სართულშუა გადახურვის კოჭებს ან წამწეებს (ფიგ. 137). სხვა შემთხვევებში, სატაცები შეიძლება დამაგრდეს თავად კოჭებზე, ხოლო საკიდებზე ფიქსაცია განხორციელდეს სამონტაჟო ლილვაკით (ფიგ. 138). შენობის ყველა ლითონის ელემენტის დამონტაჟების შემდეგ ახორციელებენ გარე კედლების სიბრტყეების დაბეტონებას საკიდებთან ერთად.

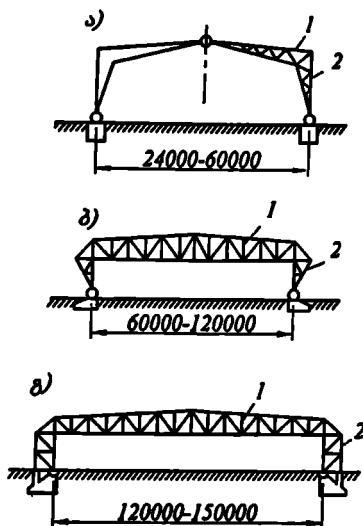
თავი 8. დიდმალიანი ჩარჩოვანი კონსტრუქციები

8.1. ჩარჩოების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები

ჩარჩო წარმოადგენს ბრტყელ კონსტრუქციას, რომელიც შედგება სწორხაზოვანი, ტეხილი ან მრუდწირული მალის ელემენტისაგან – რიგელისაგან და მათთან მიერთებული ვერტიკალური ან დახრილი ელემენტებისაგან – დგარებისაგან. ჩარჩოვან კონსტრუქციებში, რიგელებისა და დგარების ხისტი შეუღლების წყალობით, ანალოგიურ განივ ჩარჩოსთან შედარებით, რომელსაც სვეტებზე სახსრულად დაყრდნობილი წამწის ან კოჭის სახე აქვს, ლითონი უფრო მეტად ეფექტურად გამოიყენება და მნიშვნელოვნად იზრდება რიგელის სიხისტე. ჩარჩოების დაპროექტება მიზანშეწონილია 60 მ-ზე მეტი მალეების დროს, თუმცაღა მათ შეუძლიათ წარმატებული კონკურენცია გაუწიონ 24-60 მ მალის მქონე წამწეებსა და კოჭებს.

სტატიკური მუშაობის თვალსაზრისით ჩარჩო შესაძლებელია იყოს სამსახსრიანი, ორსახსრიანი და უსახსრო (ფიგ. 139). სამსახსრიანი ჩარჩოები (ფიგ. 139, ა) უფრო მეტად ლითონტევადია, ამიტომ მათი გამოყენება შეზღუდულია მცირე მალეებითა და სიმაღლეებით. მათ იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც მაღლი და სიმაღლე ნახევარჩარჩოს მთლიანად საქარხნო პირობებში დამზადებისა და სამშენებლო მოედანზე ტრანსპორტირების საშუალებას იძლევა. ორსახსრიანი ჩარჩოები (ფიგ. 139, ბ) უფრო ხშირად გამოიყენება, ვინაიდან მათში საკმაოდ სრულად ელინდება დგარებში რიგელის ჩამაგრების ეფექტი და ისინი საძირკვლის ჯდომის მიმართ ნაკლებ მგრძნობიარეა.

მასალის ხარჯის თვალსაზრისით, ყველაზე ეკონომიური, უსასსრო ჩარჩოებია (ფიგ. 139, გ), რომელთაც მათ იყენებენ დიდმალიანი ჩარჩოებისათვის. თუმცადა, ასეთი ჩარჩოები საკმაოდ მგრძნობიარეა საყრდენების ჯდომისა და ტემპერატურული ზემოქმედების მიმართ. მათი დაპროექტება შესაძლებელია კლდოვანი ან ნახევრად კლდოვანი გრუნტების ფუძეზე.



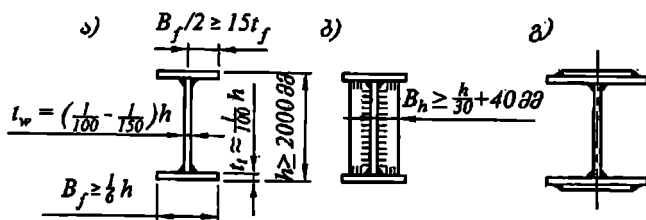
ფიგ. 139. დიდმალიანი ჩარჩოების სისტემები

ა - სამსასსრიანი მთლიანკედლიანი, გისოსოვანი ან კომბინირებული ნახევარჩარჩოებით; ბ - ორსასსრიანი გისოსოვანი; გ - უსასსრო გისოსოვანი;
1 - რიგელი; 2 - დგარი;

დიდმალიანი ჩარჩოვანი კონსტრუქციები გამოიყენება საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობა-ნაგებობებში - საგამოფენო პავილიონებში, თეატრებსა და სანახაობრივ დარბაზებში, დახურულ ბაზრებსა და მსხვილ მარკეტებში, სტადიონებსა და სპორტულ დარბაზებში; სამრეწველო დანიშნულების შენობა-ნაგებობებში - ავიასამშენობო საამქროებში, ანგარებში, გემთშენებელ ელინგებში, ავტოპარკებში, უნივერსალურ სამრეწველო შენობებსა და სხვ. ჩარჩოვანი კონსტრუქციების გამოყენება უზრუნველყოფს ნაგებობის მაღალ არქიტექტურულ-დაცემარებით მოქნილობას და საშუალებას იძლევა

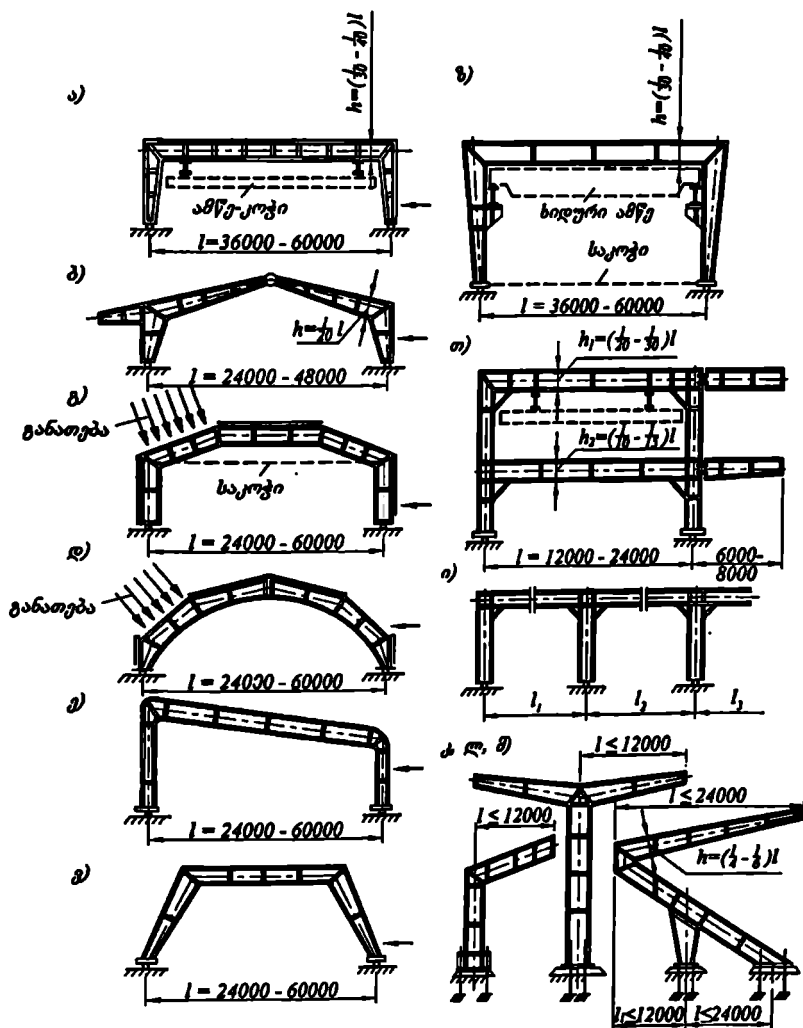
გადაწყვეტილი იქნას პრაქტიკულად ნებისმიერი არქიტექტურულ-სამშენებლო და ტექნოლოგიური ამოცანები ფოლადის მნიშვნელოვანი ეკონომიით. რიგელისა და დგარების ურთიერთგანლაგება საშუალებას იძლევა მიღებულ იქნას ჩარჩოების მრავალფეროვანი კონსტრუქციული ფორმები, რომლებიც აკმაყოფილებენ კონკრეტულ მოცულობით-გეგმარებით გადაწყვეტას.

ორსახსრიან მთლიანკედლიან ჩარჩოებს აქვთ ორტესგბერი, როგორც წესი, ცვლადი კვეთის რიგელი და დგარები, რომლებიც შეესაბამება ძალების ეპიურას. ყველაზე ხშირად იყენებენ, დამზადების მხრივ ნაკლებად შრომატევად, სამი ფურცლისგან შენადულ კვეთს (ფიგ. 140). მთლიანკედლიანი ჩარჩოების კვეთის სიმაღლედ იღებენ მალის $1/30 - 1/40$ -ს, მაგრამ არა უმეტესს 2 მეტრისა ეკონომიკური მოსაზრებით. კედლისა და თაროების, აგრეთვე კვეთის სიმაღლისა და სიგანის თანაფარდობები ემორჩილება ორტესგბერი კოჭების დაპროექტირების კანონებს.



ფიგ. 140. მთლიანკედლიანი ჩარჩოების შენადული კვეთების ტიპები

მთლიანკედლიანი ჩარჩოს მეტწილად გაერცვლებული ფორმაა - ერთმთლიანი ორსახსრიანი ჩარჩო პორიზონტალური ან დახრილი რიგელით (ფიგ. 141, ა, ბ). მალის 60 მ-მდე გაზრდის შემთხვევაში, ტეხილ რიგელიანი ჩარჩო ხდება უფრო მეტად ეკონომიური, მაგრამ ამავე დროს ითხოვს რიგელისა და დგარების შეუღლების კვანძებს შორის საკოჭის დაყენებას განმბჯენის ასაცილებლად (ფიგ. 141, გ). აუცილებლობის შემთხვევაში, დასაპროექტებელი ნაგებობის ჯერის ქანობის ორგანიზების ან არქიტექტურული მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ჩარჩოს რიგელი ან დგარი შეიძლება იყოს დახრილი (ფიგ. 141, ე, ე). ასეთ ჩარჩოებში, კვანძის შეკუმშულ ზონაში ძაბვების ძლიერი კონცენტრაციის წარმოქმნის თავიდან ასაცილებლად, მახვილი კუთხეები უნდა დაპროექტდეს არა ნაკლებ 45°-ისა.



ფიგ. 141. მთლიანკედლიანი ჩარჩოების კონსტრუქციული სქემები

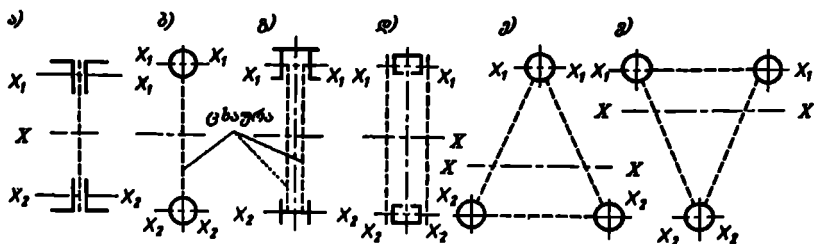
მთლიანკედლიანი ჩარჩოები, მცირე დეფორმაციულობის გამო, კარგად მუშაობს ხიდური ან კიდული ამწეებით აღჭურვილ ნაგებობებში (ფიგ. 141, ზ, თ). ამ და სხვა შემთხვევაშიც, ჩარჩოს რიგელის სიმაღლე შესაძლოა აღებულ

იქნას მაღლის $1/20-1/40$. ერთმალიან ჩარჩოებში, რომლებიც დატვირთულა 25 ტონაზე მეტი ტვირთამწვობის მქონე ხიდური ამწეებით, რეკომენდებულია იატაკის დონის ქვემოთ, საყრდენი სახსრების დონეზე საკოჭის (შემკერელის) მოწყობა (ფიგ. 141, ზ).

მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები ახასიათებთ უჭრ მრავალმალიან ჩარჩოებს (ფიგ. 142, ი), თუმცა, აგების შრომატევადობის თვალსაზრისით, მათი გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ სპეციალური მოთხოვნების გათვალისწინებით, მაგალითად, მინიმალური ჩაღუნების მიღწევით ან მასალის პლასტიკურ სტადიაში მუშაობის გამოყენებით.

ორი დგარის მქონე ერთმალიანი ჩარჩოების გარდა (ფიგ. 141, ა-ზ), მშენებლობის პრაქტიკაში შესაძლოა გამოყენებულ იყოს ერთდგარიანი Γ -ს ან T-ს მაგვარი ჩარჩოები (ფიგ. 141, კ, ლ), ან რთული ჩარჩოები (ფიგ. 141, მ) დახრილი ან პორიზონტალური რიგელით. რიგელის სიმაღლეს, ჩარჩოს დგართან ჩამაგრების ადგილას, იღებენ კონსოლის შევრილის $1/4-1/6$ -ს, იმ პირობით, რომ უზრუნველყოფილი იქნება ბურჟლის (ჭერის) ნორმალური ექსპლუატაცია.

60-80 მ-ზე მეტი მაღლების დროს, მთლიანკედლიან ჩარჩოებს ცვლიან გამჭოლკედლიანი (გისოსურკედლიანი) ჩარჩოებით, რომელთა რიგელისა და დგარების კვეთებს აპროექტებენ გისოვანი წამწის ანალოგიურს (ფიგ. 142). ორსახსრიან გამჭოლ ჩარჩოებს აპროექტებენ სახსრებით საძირკვლის დონეზე. ასეთ ჩარჩოებში რიგელის სიმაღლე, მთლიანკვეთიანთან შედარებით, იზრდება მაღლის $1/8-1/15$ -მდე (ფიგ. 143, ა-გ).



ფიგ. 142. გამჭოლი ჩარჩოს კვეთის ტიპები

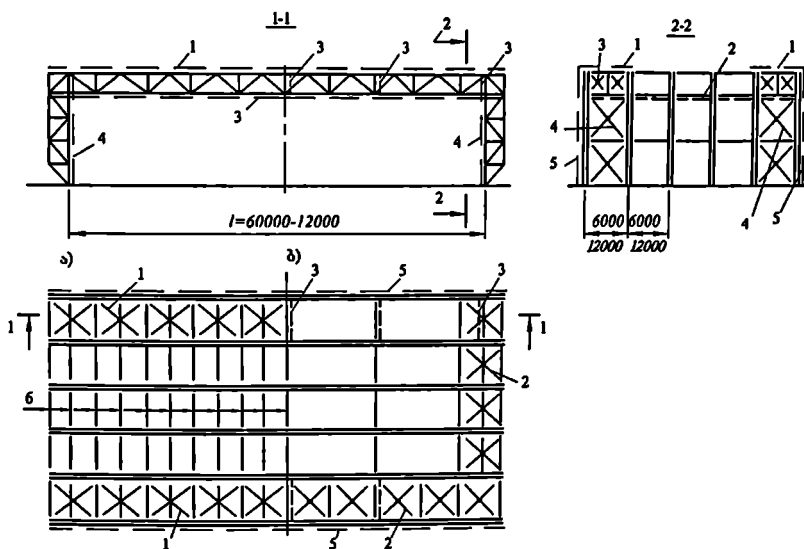
უსახსრო გამჭოლ ჩარჩოებს, ორსახსრიანებთან შედარებით, მეტი სიხისტე აქვთ, ამიტომ ასეთ ჩარჩოებში რიგელის სიმაღლე შეიძლება

შემცირდეს მალის 1/12-1/20-მდე. გამჭოლი ჩარჩოს ეფექტურობა იზრდება დგარისა და რიგელის სიხისტეების თანაზომადობის შემთხვევაში. ამიასათვის, გამჭოლი ჩარჩოს დგარის სიგანეს იღებენ რიგელის პანელის (3-6მ) ტოლს. ამ შემთხვევაში, დგარის წრფივი სიხისტე (სიხისტის შეფარდება ელემენტის სიგრძესთან) აჭარბებს რიგელის სიხისტეს, რის გამოც რიგელის ჩამაგრების ეფექტი იზრდება.

გამჭოლი ჩარჩოს განტვირთვის უდიდესი ეფექტი მიიღწევა ჩარჩოს რიგელისა და დგარების წინასწარი დაძაბვით (ფიგ. 143, დ-ზ), რაც ჩარჩოს სისტემაში წარმოქმნის ვერტიკალური დატვირთვისგან გამოწვეული მომენტების საპირისპირო ნიშნის მღუნაე მომენტებს. წინასწარი დაძაბვის ძალის მნიშვნელობა შეირჩევა კონსტრუქციის მინიმალური მასის მიღების პირობიდან. ჩარჩოვან კონსტრუქციებში დასაძაბ საკოჯს აკეთებენ მონტაჟის დროს და განათავსებენ გაჭიმულ ზონაში ვერტიკალური სტატიკური დატვირთვისაგან გამოწვეული მღუნაეი მომენტების ეპიურის შესაბამისი მოხაზულობის მიხედვით.

სპეციალურ ნაგებობებში (ანგარები, ელინგები და სხვ.) მიზანშეწონილია დაპროექტდეს უჭრი, ორმალიანი, წინასწარ დაძაბული ჩარჩოები (ფიგ. 143, ი), რომლებიც ლოკალური სწორხაზოვანი საკოჯების განთავსების საშუალებას იძლევა. ასეთი გადაწყვეტა წინასწარ დაძაბულ ჩარჩოებში ამარტივებს კვანძების კონსტრუქციას.

ჩარჩოვანი გადახურვების გაერთმთლიანების სქემა თავისი სტრუქტურით ახლოსაა ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის გადახურვის სქემასთან, რომელშიც რიგელი სვეტებთან სახსრულადაა შეუღლებული (ფიგ. 144). თუმცა, ჩარჩოვან კონსტრუქციებში ყოველთვის საჭიროა გადახურვის გასწვრივ ქვედა სარტყელებზე ჰორიზონტალური კავშირების მოწყობა, ენაიდან რიგელის დგარებთან შეერთების კვანძების მიმდებარე ზონებში, ქვედა სარტყელებში წარმოიქმნება მკუმშაეი ძალები. გარდა ამისა, გადახურვის ტორსების გასწვრივ, ხისტ ბლოკებში, ორი განაპირა ჩარჩოს ზედა და ქვედა სარტყელებს აერთებენ ჰორიზონტალური კავშირებით, ხოლო ჩარჩოებს შორის ვერტიკალურ კავშირებს აყენებენ არა უმეტეს 18 მ მანძილზე.



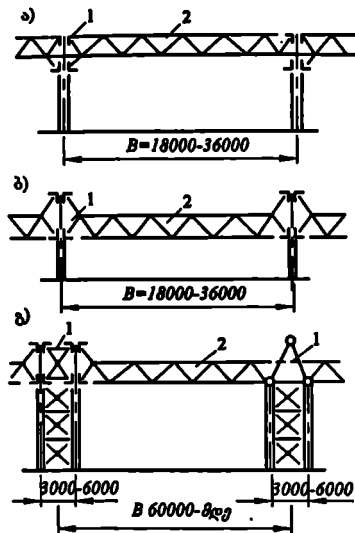
ფიგ. 144. დიდმალიანი ჩარჩოვანი გადახურვის გაერთმთლიანება

ა - ზედა სარტყელების გასწვრივ; ბ - ქვედა სარტყელების გასწვრივ;

1 - პორიზონტალური კავშირები ზედა სარტყელების გასწვრივ;

2 - პორიზონტალური კავშირები ქვედა სარტყელების გასწვრივ; 3 - ვერტიკალური კავშირები ჩარჩოს რიგელებს შორის; 4 - ვერტიკალური კავშირები ჩარჩოს დგარებს შორის; 5 - ტორსული ჩალანგარი

90 მ-დე მაღლის მქონე ჩარჩოებს აპროექტებენ, როგორც ბრტყელს, ბიჯით 6 ან 12 მ. დიდი მალეების შემთხვევაში და ამწისქვეშა კოჭების არ არსებობის დროს, მიზანშეწონილია ბიჯის 18-24 მ-დე გაზრდა, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში 36 მ-დე (ფიგ. 145, ა, ბ). ამ შემთხვევაში, ჩარჩოებს შორის აყენებენ პარალელურ სარტყელებიან გისოსოვან წამწებს, რომლებიც ჩარჩოს ზედა და ქვედა სარტყელებთან ერთ დონეზეა მიმაგრებული.



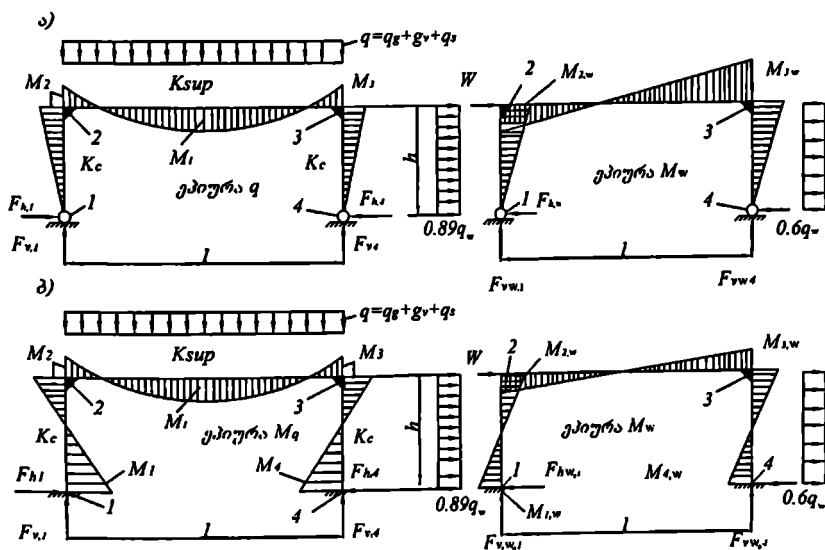
ფიგ. 145. გისოსოფანი წამწვებით კომბინაციების გარიანტები

1 – ჩარჩო; 2 – წამწე

90 მ-ზე მეტი სიგრძის მალეების შემთხვევაში, მათი მდგრადობის მიზნით, როგორც წესი, აპროექტებენ შეწყვეილებულ (ფიგ. 145, გ) ან სამკუთხა განივი კვეთის მქონე ჩარჩოებს. ამ შემთხვევაში, ჩარჩოების ბიჯმა შესაძლოა მიაღწიოს 60 მ-ს. ასეთი გადაწყვეტები მიზანშეწონილია ანგარების მშენებლობაში, ანუ იქ, სადაც ფუნქციური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ჩარჩოებს განაღებენ შენობის გეგმის დიდი ზომის მიმართულებით, და არა მისი გრძივი ღერძის განივად. ჩარჩოებს შორის დასაყენებელი წამწვების ბიჯი მიზანშეწონილია დაპროექტდეს 6 მ-ის ტოლი, გრძივების გარეშე უშუალოდ მათზე გადახურვის ფილების დასაღებლად. მეტი ბიჯის შემთხვევაში წამწვებზე აღაგებენ გრძივებს და ყოველ ნაკვეთურში აწყობენ წამწვებით გადახურვის გაერთმოდლიანების სქემების ანალოგიურ კავშირების სისტემას.

82. ჩარჩოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება

შენობებში ჩარჩოვან კონსტრუქციებზე მოქმედებს: რიგელის სიგრძეზე, საკუთარი წონისაგან გამოწვეული, თანაბრად განაწილებული ვერტიკალური დატვირთვა; ჭერისა და თოვლის წონა; ხიდური ან კიდული კოჭური ამწისგან გამოწვეული შეყურსული დატვირთვა; რიგელის, დგართან შეერთების კვანძში, ქარის დაწნევისაგან გამოწვეული პორიზონტალური შეყურსული ძალა (ფიგ. 146). ქარის ზემოქმედების განსაზღვრისას გაითვალისწინება – ქარის მოქმედების მხრიდან დაწნევა $0.8q_w$, ხოლო საპირისპირო მხრიდან – გაწოვა $0.6q_w$.



ფიგ. 146. მთლიანკედლიანი ორსახსრიანი (ა) და უსახსრო (ბ) ჩარჩოების გაანგარიშებისათვის

უძრავ საყრდენებიანი ორსახსრიანი ჩარჩოები – ერთჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემებია, სადაც უცნობ ძალას წარმოადგენს საყრდენ კვანძებში პორიზონტალურად მოდებული F_h განმბჯენი. უსახსრო ჩარჩოები სამჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემაა, სადაც უცნობ განმბჯენთან F_h ერთად წარმოიქმნება უცნობი საყრდენი M მომენტი და ვერტიკალური F_v ძალა. ჩარჩოვან კონსტრუქციებში განმბჯენში აღძრულ ძალვას ღებულობს ფუძე,

ხოლო სუსტი ფუძეების დროს — იატაკის ნიშნულის ქვევით საყრდენ სახსრებში განლაგებული საკოჭი. ჩარჩოს სიმაღლე შეიძლება იყოს ნებისმიერი, თუმცა ერთნაირი მაღლების შემთხვევაში, რაც უფრო მაღალია ჩარჩო, მით უფრო ნაკლები განმბჯენი ძალა წარმოქმნება მასში.

ჩარჩოების გაანგარიშებას, უმეტეს შემთხვევაში ახორციელებენ ძალთა ან გადაადგილებათა მეთოდით, რის შედეგადაც ჩარჩოს ყველა დამახასიათებელ კვეთში საზღვრავენ M , N და Q ძალების საანგარიშო სიდიდეებს. გრძივი-განივი ღუნვის პირობებში, გრძივი მკუმშავი ძალების არსებობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს სისტემის დეფორმირებულ მდგომარეობაზე, ამიტომ ჩარჩოების გაანგარიშებას აწარმოებენ დეფორმირებული სქემის მიხედვით. ასეთ შემთხვევაში, გაანგარიშების სირთულე მნიშვნელოვნად იზრდება. გაანგარიშების გამარტივების მიზნით უგულებელყოფენ გაჭიმვისა და კუმშვის დეფორმაციებს ღუნვის დეფორმაციებთან შედარებით და გაანგარიშებას აწარმოებენ არადეფორმირებული სქემის მიხედვით, ძალთა დამოუკიდებლად მოქმედების პრინციპის გათვალისწინებით.

ჩარჩოების უმეტესობისათვის დამუშავებულია ცხრილები და ფორმულები, რომელთა დახმარებითაც შესაძლებელია განისაზღვროს დატვირთებისგან გამოწვეული განმბჯენები და საყრდენი მომენტები. ამ სიდიდეთა განსაზღვრის შემდეგ, სტატიკის წონასწორობის განტოლებების — $\sum x=0$ და $\sum y=0$ დახმარებით, ჩარჩოს დამახასიათებელ კვეთებში საზღვრავენ ნორმალურ და განივ ძალებს. აღნიშნული ცხრილებისა და ფორმულების გამოყენებისას გაითვალისწინება რიგელისა და დგარის წრფივი სიხისტეების თანაფარდობა $k = k_{\text{ფრ}} / k_{\text{ფ}}$, რომელიც პირველ მიახლოებაში რეკომენდებულია მივიღოთ 2-ის ტოლად. ორსახსრიანი მართკუთხა ჩარჩოსთვის (ფიგ. 146, ა), რიგელის სიგრძეზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვისგან გამოწვეული განმბჯენისა და მომენტების მნიშვნელობებს შესაბამისად პოულობენ ფორმულებით:

$$F_h = \frac{ql^2}{4h(3+2k)}; \quad (98)$$

$$M_2 = M_3 = \frac{ql^2}{4(3+2k)}; \quad (99)$$

$$M_1 = \frac{ql^2}{8} - M_2. \quad (100)$$

ჰორიზონტალური ძალისგან W , რომელიც მოდებულია მე-2 კვანძში:

$$F_{h,2} = \frac{W}{2}; \quad (101)$$

$$M_{2,2} = M_{3,2} = \frac{Wh}{2}. \quad (102)$$

უსახსრო მართკუთხა ჩარჩოსთვის (ფიგ. 146, ბ), ანალოგიური დატვირთვებისგან გამოწვეული, განმბჯენებისა და მომენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$F_h = \frac{3ql^2}{(2+k)12h}, \quad (103)$$

$$M_2 = M_3 = \frac{ql^2}{(2+k)6}, \quad (104)$$

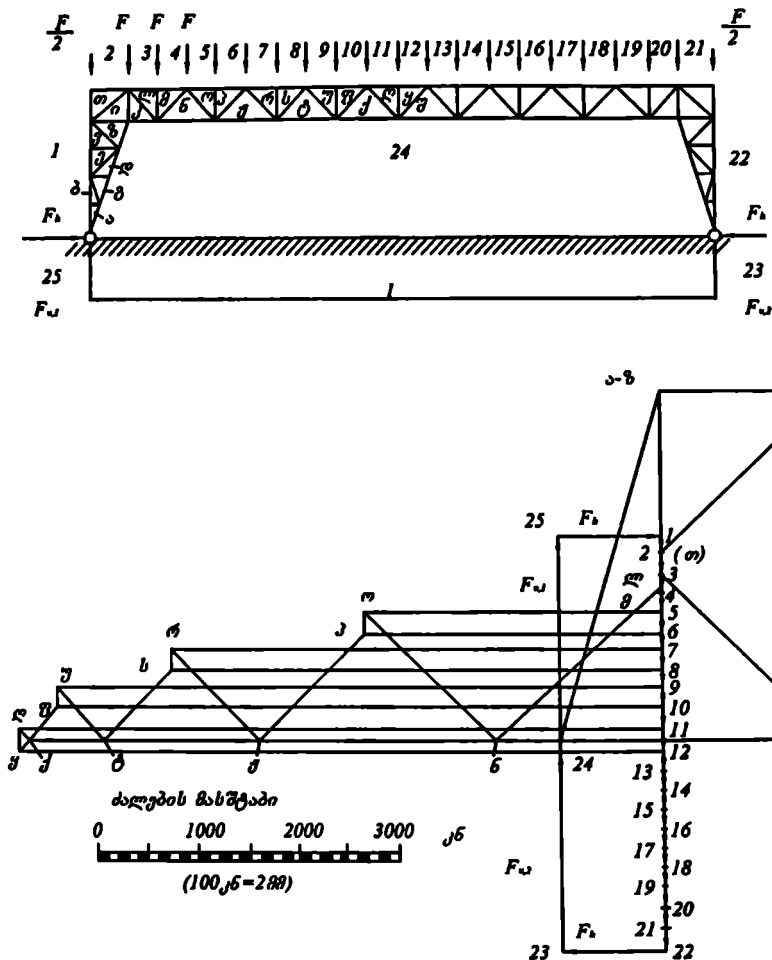
$$M_1 = M_4 = \frac{ql^2}{(2+k)12}, \quad (105)$$

$$F_{h,2} = \frac{W}{2}, \quad (106)$$

$$M_{2,2} = M_{3,2} = \frac{3kWh}{2(1+6k)}, \quad (107)$$

$$M_{1,2} = M_{4,2} = \frac{(1+3k)Wh}{2(1+6k)}. \quad (108)$$

M და N ძალების მნიშვნელობების მიხედვით ახორციელებენ ჩარჩოს კვეთის შერჩევას და მიღებული k -ს მნიშვნელობების შემოწმებას. თუკი სიხისტეების თანაფარდობის ნამდვილი მნიშვნელობა k_{act} , მისი პირველი მიახლოებით მნიშვნელობისგან 20%-ზე მეტად განსხვავდება, საჭიროა კვეთის კორექტირება და განმეორებითი გაანგარიშება k -ს ახალი, გასაშუალებული მნიშვნელობისთვის. მიახლოებით გაანგარიშებებში რიგედი გაიანგარიშება მხოლოდ მღუნაეი მომენტის მოქმედებაზე, ეინაიდან N გრძივი ძალა, სიმცირის გამო, შეიძლება უგულებელყვით.



ფიგ. 147. ორსასხრიანი გაბჭოლი ჩარჩოს გაანგარიშებისთვის

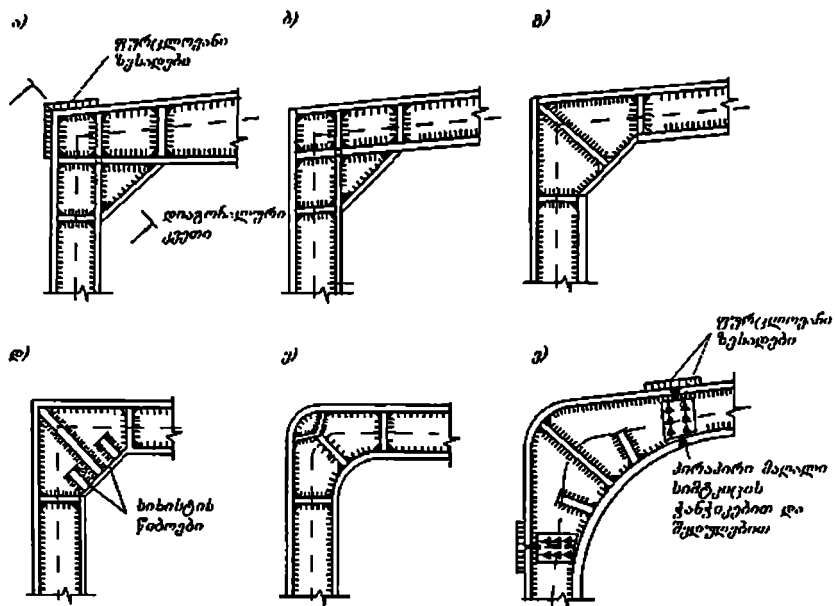
მთლიანკედლიანი ჩარჩოს დგარი გაანგარიშდება მდგრადობაზე, როგორც არაცენტრალურად შეკუმშული ღერო. გისოსოვან ჩარჩოებში ძალების განსაზღვრისათვის, განსაკუთრებით რიგელის ტრაპეციისებრი ან პოლიგონალური მოხაზულობის დროს, მოსახერხებელია კრემონას დიაგრამის გამოყენება (ფიგ. 147). ამასთან, განმზღვენსა და ვერტიკალურ საყრდენ რეაქციებს წინასწარ საზღვრავენ ანალიზური გზით.

8.3. ჩარჩოების კონსტრუქცია

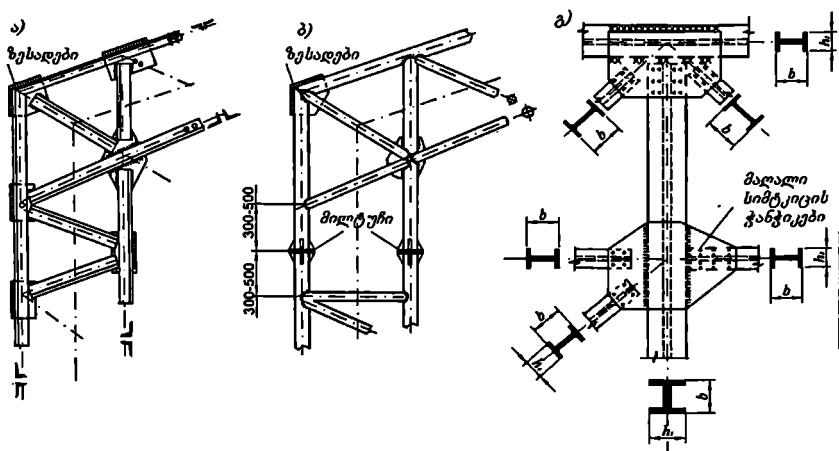
ჩარჩოვან კონსტრუქციებში ყველაზე საპასუხისმგებლო კვანძად ითვლება რიგელისა და დგარის შეუღლების კვანძი. კვანძის დიაგნოზურ კვლევაში ნეიტრალური ღერძი კვეთის ღერძიდან ინაცვლებს შიგა კუთხის მხარეს, რაც კვანძის შეკუმშულ ზონაში იწვევს მნიშვნელოვანი ადგილობრივი ძაბვების წარმოქმნას. ამის გამო, მთლიანკვეთიანი ჩარჩოების შემავალი კუთხეები მზადდება ირიბი-უტებით (ფიგ. 148, ა-დ) ან მრუდზე მდოვრე გადასვლით (ფიგ. 148, ე, ვ). კვანძში გამჭიმო ძალების აღსაქმელად გაჭიმული ბოჭკოების მხრიდან აუცილებელია ფურცლოვანი ზესადების გათვალისწინება, რომელიც მიედგება რიგელისა და დგარის სარტყელებს (ფიგ. 148, ა).

ორტესებრი კვეთის კედლის მდგრადობისათვის, შეუღლების კვანძში მკუმშავი ძალების მიმართულებით, კეთდება სიხისტის წიბოები. მთლიანკედლიან და გისოსურკედლიან ჩარჩოებში, რიგელის დგართან შეუღლების კვანძები მზადდება ქარხნის პირობებში, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის მათ საიმედოობას ექსპლუატაციის პროცესში.

მსუბუქი გამჭოლი ჩარჩოების გასაგზავნ მარკებად დანაწევრება ხორციელდება რიგელის საზღვრებში, ნულოვანი მომენტის კვეთის სიახლოვეს (ფიგ. 149, ა) ან ჩარჩოს დგარის საზღვრებში (ფიგ. 149, ბ). კუთხეანის პროფილიან ჩარჩოებში პირაპირი სრულდება საპირაპირე კუთხედების შედუღებით, ხოლო მიღოვან ჩარჩოებში მიღტუჩებით, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების გამოყენებით. მძიმე, დიდმალიან ჩარჩოებს აპროექტებენ მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით სრულდასაწყობ კონსტრუქციად (ფიგ. 149, გ). ჩარჩოებში, კონსტრუქციული თვალსაზრისით, შედარებით რთულია საყრდენისა და საჭეპის სახსრების მოწყობა.

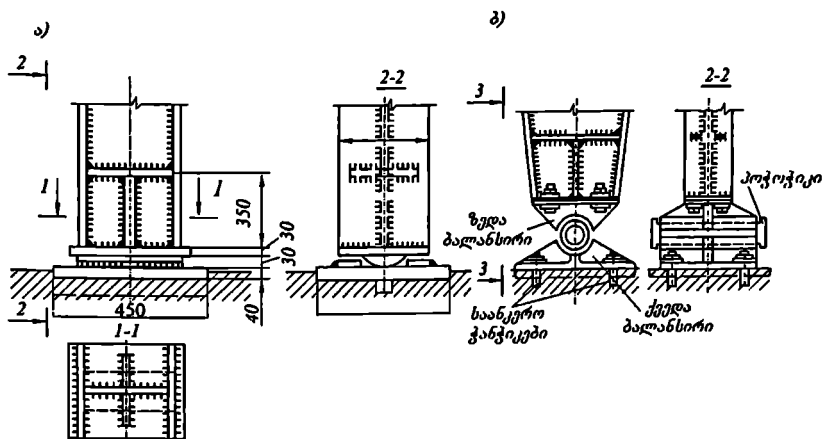


ფიგ. 148. მთლიანკედლიან ჩარჩოებში რიგელის დგართან შეუღლების კვანძები



ფიგ. 149. გამჭოლ ჩარჩოებში რიგელის დგართან შეუღლების კვანძები

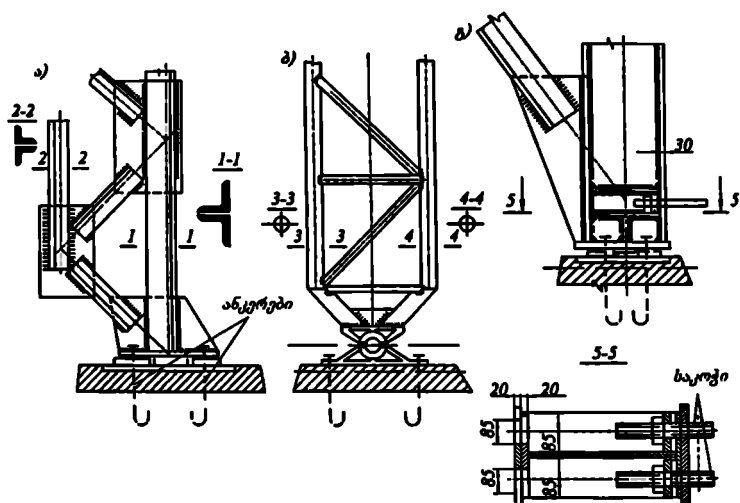
60 მ-მდე მაღლის მქონე ჩარჩოებში, 2500 კნ-ზე ნაკლები საყრდენი რეაქციების დროს, უპირატესად გამოიყენება მარტივი კონსტრუქციის ფილისებრი სახსრები (ფიგ. 150, ა; ფიგ. 151, ა, გ), ისინი კარგად მუშაობენ ჰორიზონტალურ რიგელებიანი და ვერტიკალურ დგარებიანი ჩარჩოების კვანძებში. დიდი საყრდენი რეაქციების დროს გამოიყენება ბალანსირული სახსრები (ფიგ. 150, ბ; ფიგ. 151, ბ), რომლებიც შედგება ზედა ბალანსირის, საპირკველთან მიმაგრებული ქვედა ბალანსირისა და მათ შორის დასაყენებელი ცილინდრული პოჭოჭიკისაგან.



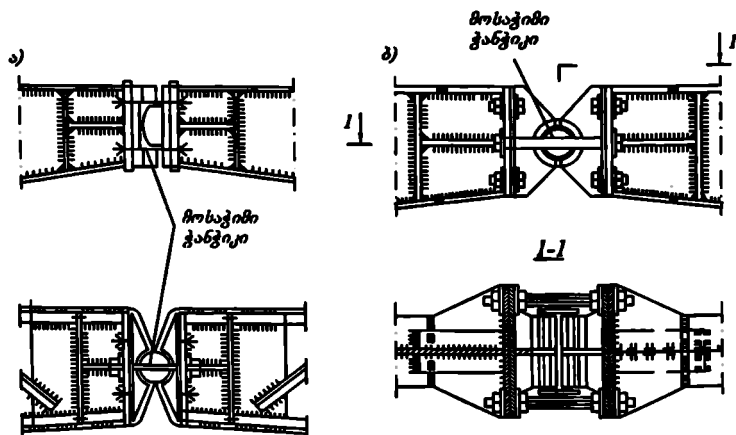
ფიგ. 150. მთლიანკედლიანი ჩარჩოების საპირკველზე დაყრდნობის კვანძები

ა - ფილოვანი სახსარი; ბ - ცილინდრული სახსარი;

შეუღლების კვანძებში ჩარჩოს ელემენტებს აძლიერებენ სიხისტის წიბოებითა და დამატებითი ფურცლებით, რომელთა დანიშნულებაა შეყურსული კვანძური ძალის გადანაწილება მთელ საანგარიშო კვეთზე (ფიგ. 152).



ფიგ. 151. გამგული მარჩოს დგარის საბირკველზე დაყრდნობის კვანძები
 ა - ფილოვანი სახსარი; ბ - ბალანსირული ცილინდრული სახსარი;



ფიგ. 152. კლიტის (საჭეკის, კუხის) სახსრები
 ა, ბ - მთლიანკუდლიან ჩარჩოებში; გ - გამგულ ჩარჩოებში;

ფოლისებრი და ბალანსირული სახსრების გამოყენება უზრუნველყოფს საყრდენ და კლიტის (საჭეკის, კეხის) კვანძებში საჭირო მობრუნების კუთხის მიღებას, ასევე, გრძივი და განივი ძალების გადაცემისთვის აუცილებელ სიმტკიცეს. კლიტის სახსრების საექსპლუატაციო მდგომარეობა მიიღწევა მოსაჭიში ჭანჭიკების დაყენებით, რომლებსაც ასევე შეუძლიათ ჩარჩოებსა და თაღებში ქარის გაწოვის ძლიერი მოქმედების დროს წარმოქმნილი გამჭიმავი ძალების ათვისება. საყრდენ კვანძში საკოჭს ამაგრებენ ჩარჩოს დგარის შეკუმშული შტოს თაროსთან (ფიგ. 151, გ). თაროს მდგრადობისთვის იყენებენ სიხისტის ორმხრივ წიბოებს. ფიგ. 153-ზე მოყვანილია ალუმინის შენადნობის, მაღალი სიმტკიცის ფოლადის ორსაკოჭიანი, 60 მ მაღის მქონე წინასწარ დაძაბული ჩარჩოს კონსტრუირების მაგალითი. ლითონის ეკონომიის მიზნით, ჩარჩოს შეკუმშული დგარი შესრულებულია ასაწყობი რკინაბეტონისაგან და აქვს ორტესებრი განივი კვეთი.

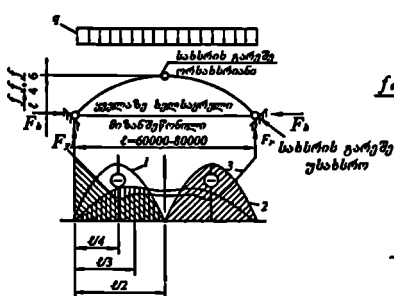
თავი 9. თაღოვანი კონსტრუქციები

9.1. თაღების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები

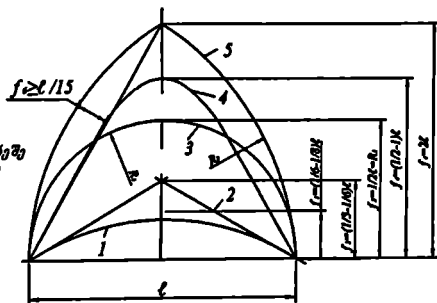
ჩარჩოსგან განსხვავებით თაღი წარმოადგენს მრუდხაზოვან (რკალისებრ) კონსტრუქციას, რომლითაც გადაიხურება მაღლი ორ საყრდენს (საძირკელებს, პილონებს ან სვეტებს) შორის. სამრეწველო, საზოგადოებრივ და სასოფლო-სამეურნეო შენობებსა და ნაგებობებში გამოყენებული ლითონის თაღოვანი კონსტრუქციების მაღლი შეიძლება იყოს 30-150 მ. განმზღენის არსებობიდან გამომდინარე კონსტრუქციის დაბალი მასის გამო, აგრეთვე იმის გამო, რომ თაღში უპირატესად წარმოიქმნება მკუმშავი ძალები და უმნიშვნელო მღუნავი მომენტები, თაღები მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას 60-80 მ-ზე მეტი მაღლების შემთხვევაში.

სტატიკური სქემის მიხედვით თაღები შეიძლება იყოს სამსახსრიანი, ორსახსრიანი და უსახსრო (ფიგ. 154). თაღების მიზანშეწონილობაზე შეიძლება ეიმსჯელოთ მღუნავი მომენტების ეპიურის მიხედვით. უდიდესი მღუნავი მომენტები წარმოიქმნება სამსახსრიანი თაღის მაღლის მეოთხედში, ამიტომ ისინი ყველაზე მძიმეებია და შესაბამისად, ნაკლებად გამოიყენება. უსახსრო თაღებში მომენტები მაღლის შუა ნაწილში მინიმალურია და იზრდება

შედარებით მცირე უბნებზე საყრდენებთან ახლოს, ამიტომ ისინი ყველაზე მსუბუქი კონსტრუქციებია. თუმცა, ჩარჩოების ანალოგიურად, უსახსრო თაღების გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ არადეფორმირებად გრუნტებზე, წინააღმდეგ შემთხვევაში მასალების ხარჯი საძირკველზე მნიშვნელოვნად გადაფარავს მასალის ეკონომიას, რომელიც მიიღწევა თაღში.



ფიგ. 154. თაღების სტატიკური სქემები და თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული მომენტების ეპიურები
1 - სამსახსრიანი; 2 - ორსახსრიანი;
3 - უსახსრო;



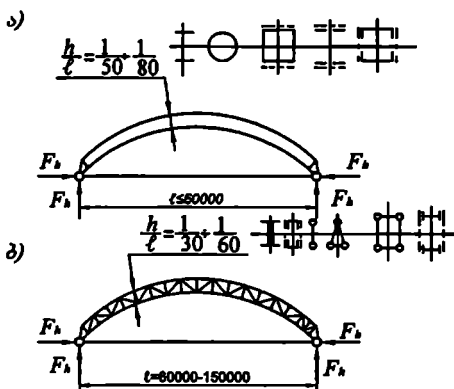
ფიგ. 155. თაღების ტიპები f/l ფარდობაზე დამოკიდებულებით
1 - დამრეცი; 2 - სწორხაზოვანი;
3 - ნახევარწრიული; 4 - შემადღებული;
5 - ისრული;

ორსახსრიანი თაღები, უსახსროსთან შედარებით, ნაკლებად მგრძნობიარეა ტემპერატურულ და დეფორმაციულ ზემოქმედებაზე და აქეთ მეტი სიხისტე, ეიდრე სამსახსრიან თაღებს. ამის გარდა, მათ აქეთ მღუნავი მომენტის უფრო თანაბარი განაწილება დანარჩენ ორ სტატიკურ სქემასთან შედარებით. ორსახსრიანი თაღები მასალის ხარჯის მიხედვით საკმაოდ ეკონომიურია, მათი დამზადება და მონტაჟი მარტივია და ამ თვისებების გამო სარგებლობენ გამოყენების უპირატესობით შენობებსა და ნაგებობებში.

ჩარჩოსთან შედარებით, თაღს უკავია მეტი სიერცე, ვინაიდან თაღოვან გადახურვებში (დამრეცობის გამო) საყრდენებთან ახლოს არსებობს შეზღუდული ექსპლუატაციის ზონები. თაღების ყველაზე ხელსაყრელი სიმაღლე შეადგენს მალის $1/4-1/6$ -ს, მაგრამ ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე თაღების მოხაზულობა შეიძლება იყოს ნებისმიერი (ფიგ. 155). თაღების მინიმალურად დასაშვები დამრეცობა აიღება არანაკლებ მალის $1/8$,

ხოლო მაქსიმალური აწეულობა (შემაღლება) ისრულ თაღებში არაუმეტეს ორი მაღლისა.

თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას, თაღებში მომენტების მინიმალური მნიშვნელობა მიიღწევა მაშინ, როდესაც თაღის მოხაზულობა ემთხვევა წნევის მრუდს. ამ შემთხვევას შეესაბამება კვადრატული პარაბოლის მიხედვით შემოხაზული თაღი. დამრეც თაღებში, დამზადების გამარტივების მიზნით, პარაბოლური მრუდი შეიძლება შეცვლილი იქნეს წრეწირის რკალით, რაც არ იწვევს ძალების მნიშვნელოვან ზრდას. თაღების სიმაღლის გაზრდის შემთხვევაში ნორმალური ძალა და განმბჯენი მცირდება, ხოლო მღუნავი მომენტი მნიშვნელოვნად იზრდება. ამას დიდწილად ხელს უწყობს ქარის დატვირთვის გავლენა, რაც იწვევს განსხვავებულ ზემოქმედებას თაღზე დაწნევისა და გაწოვის მხრიდან, რაც იძლევა ორ არათანაბარ წნევის მრუდს.



ფიგ. 156. ორსახსრიანი თაღის კონსტრუქციული სქემები
და კვეთების ტიპები

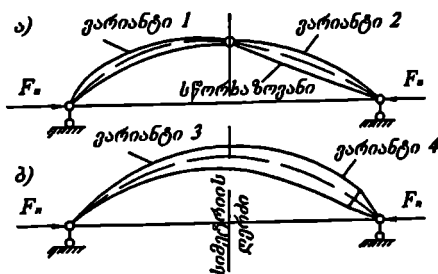
ა – მთლიანკედლიანი; ბ – გამჭოლი;

კონსტრუქციული თვალსაზრისით ლითონის თაღი შეიძლება იყოს მთლიანი და გამჭოლი (გისოსოვანი). მთლიან თაღს, რომლის სიმაღლე მაღლის 1/50–1/80-ია (ფიგ. 156, ა), იყენებენ 60 მ-დე მაღლებში. ზოგჯერ, ფუნქციური მოსაზრებებიდან, თაღებს აპროექტებენ ორი სწორხაზოვანი ელემენტით. ასეთ თაღებში კვეთის სიმაღლეს იღებენ მაღლის 1/15–1/20-ს ფარგლებში.

მრუდხაზოვან თაღებთან შედარებით ეს თაღები ნაკლებად ეფექტურებია. მთლიანი თაღების კვეთები სრულდება შენადული ფართოთაროებიანი ორტესებრის, მილის და თამასებით შეერთებული ორი შეველერისგან ან ორტესებრისგან შედგენილი კვეთების სახით. შედგენილ კვეთებს აქვთ დიდი სიხისტე თაღის სიბრტყიდან, ამიტომ მათი გამოყენება მიზანშეწონილია დიდი მალეების შემთხვევაში.

60 მ-ზე მეტი მალის შემთხვევაში უპირატესად აპროექტებენ გამჭოლ თაღებს პარალელური სარტყელებით (ფიგ. 156, ბ). გამჭოლ თაღებს ნაკლები სიხისტე აქვთ, ამიტომ ასეთ თაღებში კვეთის სიმაღლეს ზრდიან მალის 1/30–1/60-დ. გამჭოლი თაღების სარტყელები კეთდება კუთხედების, შეველერების, მილებისა და ორტესებრისაგან. დიდი მალეებისა და ძაღვების შემთხვევაში გამჭოლი თაღები კეთდება სამკუთხა ან ოთხკუთხა განივი კვეთის მქონე სივრცითი სახის. გამჭოლ თაღებში სარტყელები ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მიმართულებით შეუდლებულია სამკუთხა ან ირიბანული ტიპის გისოსოვანი კაეშირებით, რომლებიც კეთდება ერთეული კუთხედებით, შეველერებით ან ორტესებრით.

მთლიანკედლიანი და გამჭოლი თაღების კვეთები რეკომენდებულია მთელ სიგრძეზე იყოს მუდმივი. თუმცა, ორ და სამსახსრიან თაღებში, ლითონის ეკონომიის მიზნით, დასაშვებია დაპროექტდეს ნამგლისებრი ან სეგმენტური მოხაზულობების თაღები (ფიგ. 157).

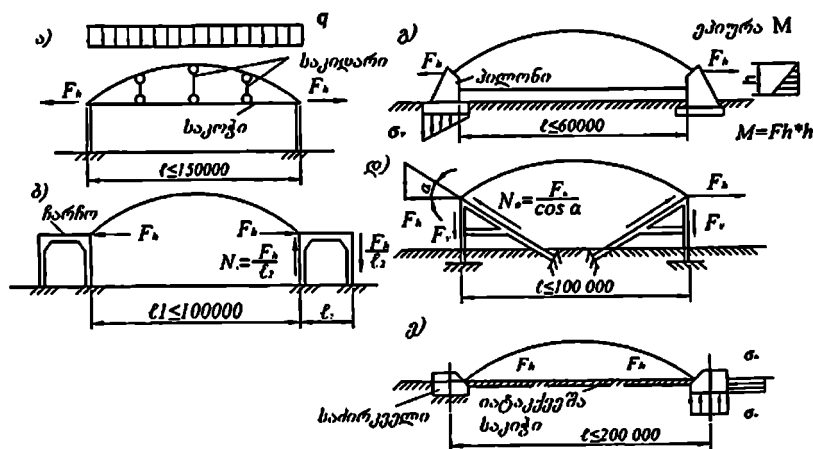


ფიგ. 157. თაღების მოხაზულობა

ა – სამსახსრიანი; ბ – ორსახსრიანი;

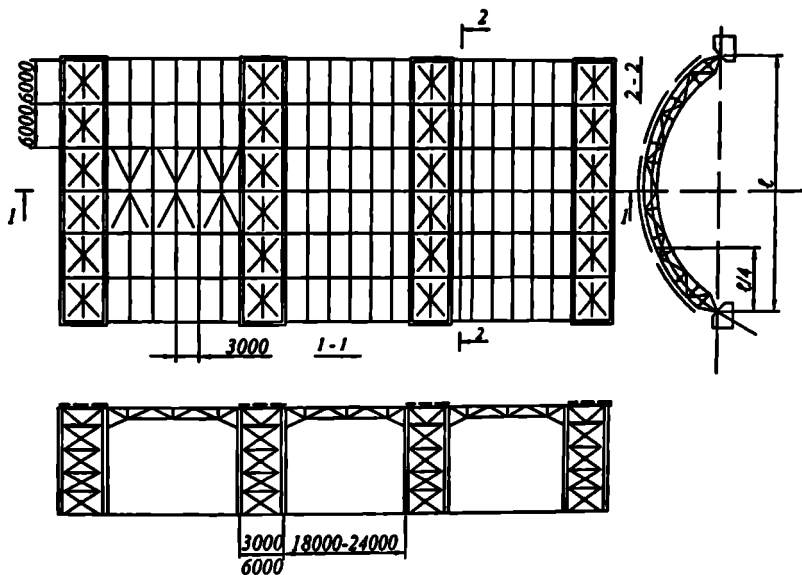
1, 3 – ნამგლისებრი; 2 – სეგმენტური; 4 – პარალელურ სარტყელებიანი;

განმზღენი თაღურ კონსტრუქციაში ათვისება საკოჭის მიერ, რომელიც მოწყობილია საყრდენი კვანძების დონეზე (ფიგ. 158, ა). თუმცა, საკოჭი ხელს უშლის მთელი შენობის ნორმალურ ექსპლუატაციას და საჭიროებს საკიდრებზე მასალის დამატებით ხარჯს. დიდმადიან საზოგადოებრივ და სამრეწველო შენობებში საკოჭისგან განთავისუფლება ხორციელდება განმზღენის გადაცემით ხისტ საყრდენებზე, განივი ჩარჩოების (ფიგ. 158, ბ), პილონების (ფიგ. 158, გ), ტრიბუნების (ფიგ. 158, გ) სახით ან უშუალოდ საძირკელებზე (ფიგ. 158, ე). სუსტ გრუნტებში საძირკელის ზომაზე მეტად გადანაცვლების თავიდან ასაცილებლად იატაკქვეშა საკოჭი შეიძლება მოეწყოს მნიშვნელოვანი განმზღენი ძალების შემთხვევაში (ფიგ. 158, ე).



ფიგ. 158. თაღებში განმზღენის ათვისების ვარიანტები

მთლიანი თაღების დაპროექტებისას მათი ბიჯი შენობის გასწვრივ რეკომენდებულია მიღებულ იქნას 6-12 მ, ხოლო გამჭოლი თაღების შემთხვევაში - 12-24 მ. თაღებს შორის 6 მ ბიჯის დროს გადახურვას აპროექტებენ კავშირების გარეშე, ფილების დალაგებით უშუალოდ თაღის ზედა სარტყელზე. ხოლო 12-24 მ ბიჯის დროს კავშირებად გამოიყენება 6 მ ბიჯით განლაგებული გისოსოვანი ფერმები, ხოლო ფილებს ალაგებენ მათზე ან კავშირის ფერმებზე 3 მ ბიჯით განლაგებულ დამატებით კავშირებზე (ფიგ. 159).



ფიგ. 159. თაღოვანი გადახურვის გაერთიანებული შეწყვილებული თაღების შემთხვევაში

თაღებზე ნივნიური გადახურვის მოწყობა ჩარჩოს ნივნიური გადახურვის ანალოგიურია. თაღოვანი გადახურვის განმასხვავებელი თავისებურებაა — თაღებს შორის, არა უმეტეს 12 მ ბიჯით, ვერტიკალური გრძივი კავშირების მოწყობის აუცილებლობა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ქვედა შეკუმშული სარტყელის მდგრადობას ზედა სარტყელებზე ჰორიზონტალური კავშირების არსებობისას.

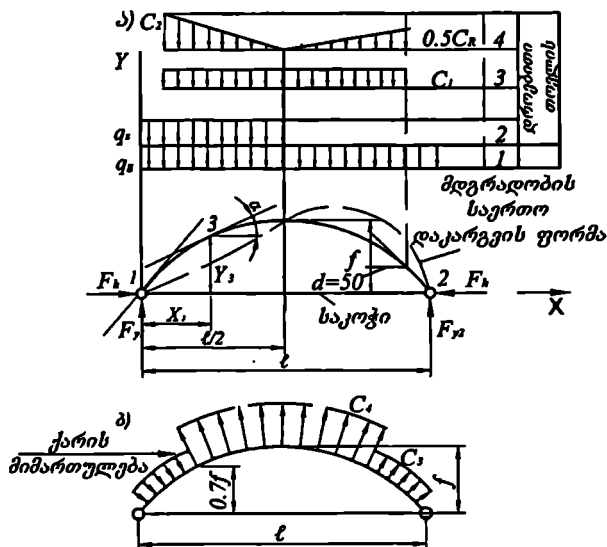
60 მ-ზე მეტი მანძილის შემთხვევაში, ცალკეულ ბრტყელ თაღებს აერთიანებენ წყვილ-წყვილად 3-6 მ სიგანის ბლოკებად, რომელთა შორის მანძილი 18-24 მ-ია. ასეთი გადახურვის საერთო მდგრადობა იზრდება ბლოკებს შორის დამატებითი ჰორიზონტალური კავშირების მოწყობით ზედა სარტყელების სიბრტყეში, გადახურვის კეხის გასწვრივ. ასეთ შემთხვევაში კავშირების სისტემაში რთავენ წამწე-გრძივების ზედა სარტყელებს. თაღოვან გადახურვებში წამწე-გრძივების სიმაღლე, ჩამაგრების გათვალისწინებით, შეიძლება იყოს მათი მაღის $1/15-1/20$.

9.2. თაღოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება

შენობებში და ნაგებობებში თაღებზე მოქმედებს ვერტიკალური მუდმივი (საკუთარი მასა) და დროებითი (თოვლი) დატვირთვები, აგრეთვე დროებითი ქარის დატვირთვა (ფიგ. 160). ორსახსრიანი თაღი წარმოადგენს ერთჯერ სტატიკურად ურკვევ სისტემას, რომელშიც უცნობია F_h განმბჯენის სიდიდე. კვადრატული პარაბოლის ან მასთან მიახლოებული სხვა მრუდის მოხაზულობის, $f/l < 1/8$ დამრეცობის მქონე ორ და სამსახსრიან თაღებში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული განმბჯენი განისაზღვრება ფორმულით

$$F_h = q_g l^2 / 8f, \quad (109)$$

სადაც q_g არის საანგარიშო მუდმივი დატვირთვა თაღზე.



ფიგ. 160. ორსახსრიანი თაღის გაანგარიშებისთვის

თაღებში, დამრეცობით $f/l \geq 1/8$, საანგარიშო მუდმივ დატვირთვას წარმოადგენენ ორი სიმეტრიული პროექციის სახით — $q_{g,1}$ (საჭექში) და $q_{g,2}$ (ქუსლში), ამიტომ განმბჯენის დაზუსტებული მნიშვნელობა მოცემული შემთხვევისთვის გაიანგარიშება ფორმულით:

$$F_h = (q_{g,1} \dot{f}^2/8f) + (q_{g,2} - q_{g,1})\dot{f}^2/24. \quad (110)$$

თაღების დამრეცობაზე დამოკიდებულებით, აგრეთვე იცვლება საანგარიშო თოვლის დატვირთვის მდებარეობა. თაღებში დამრეცობით $f/l < 1/8$, საანგარიშო თოვლის დატვირთვის იღებენ თანაბრად განაწილებულს თაღის სიგრძეზე (იხ. დატვირთვა 3), ხოლო, როდესაც $f/l \geq 1/8$ – ორ ვარიანტად: პირველი – თანაბრად განაწილებული დატვირთვის სახით, მეორე – ორი არათანაბარი სამკუთხედის სახით (იხ. დატვირთვა 4), რომელთა გაელენა გაანგარიშების დროს შეიძლება მიახლოებით შეიცვალოს ცალმხრივი თანაბრად განაწილებული დატვირთვით q_s (იხ. დატვირთვა 2).

განმზგენის სიდიდეს დროებითი თოვლის დატვირთვისგან, ამ შემთხვევებისთვის, გამოითვლიან ფორმულებით:

$$F_{h,s,1} = q_s \dot{f}^2/8f, \quad (111)$$

$$F_{h,s,2} = q_s \dot{f}^2/16f. \quad (112)$$

თაღის ღერძის გასწვრივ მოქმედი M, N, Q ძალები ნებისმიერ კვეთში საყრდენიდან x მანძილზე გამოითვლება ფორმულებით:

$$M_x = M_b - F_h y, \quad (113)$$

$$N_x = Q_b \sin \alpha + F_h \cos \alpha, \quad (114)$$

$$Q_x = Q_b \cos \alpha - F_h \sin \alpha. \quad (115)$$

სადაც F_h არის მუდმივი ან დროებითი დატვირთვისგან გამოწვეული განმზგენი; M_b და Q_b – ვერტიკალური საანგარიშო დატვირთვებისგან გამოწვეული კოჭური მომენტი და განივი ძალა, როდესაც თაღი განიხილება როგორც l მალის მქონე კოჭი; y – საანგარიშო კვეთის ღერძული წერტილის ორდინატა; α – კუთხე საანგარიშო კვეთში თაღის ღერძის მხებსა და პოროზონტალს შორის.

უსახსრო თაღში მღუნავი მომენტი უდიდეს მნიშვნელობას აღწევს ქუსლებში და მიახლოებით შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$M = q_{g,2} \dot{f}^2/64, \quad (116)$$

სადაც $q_{g,2}$ არის მუდმივი დატვირთვისა და თოვლის ჯამური საანგარიშო თანაბრად განაწილებული დატვირთვა.

ძალები მუდმივი კვეთის გამჭოლი თაღების ელემენტებში (ფიგ. 161) განისაზღვრება M_x -ის, N_x -ის და Q_x -ის მეშვეობით ფორმულებით:

ზედა სარტყელში

$$N_{sup} = - [(N_x a_2 / h) - (M_x / h)], \quad (117)$$

ქვედა სარტყელში

$$N_{inf} = - [(N_x a_1 / h) + (M_x / h)], \quad (118)$$

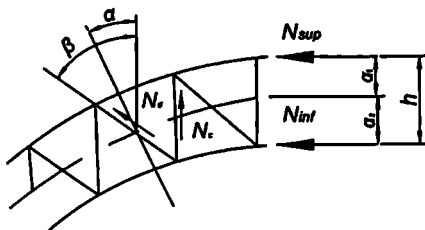
ირიბნებში

$$N_d = Q_x / \cos(\beta - \alpha), \quad (119)$$

ვერტიკალურ დგარებში

$$N_c = Q_x / \cos \alpha. \quad (120)$$

სადაც a არის მანძილი კვეთის სიმაღლის ცენტრიდან შესაბამის სარტყელამდე.



ფიგ. 161. გამჭოლი თაღის ელემენტების კვეთის გაანგარიშებისათვის

გამჭოლი თაღების ელემენტების კვეთები ძალვის ნიშანზე დამოკიდებულებით განისაზღვრება (81) ან (82) ფორმულებით, ხოლო მთლიანი თაღების კვეთები – (17) და (18) ფორმულებით. ორ და სამსახსრიან თაღებში გრძივი ძალისა და მღუნაეი მომენტის ყველაზე არახელსაყრელი თანწყობის შემთხვევაში საანგარიშო კვეთი აიღება მაღის მეოთხედში, ხოლო უსახსრო თაღებში – საყრდენზე.

გაანგარიშების დროს მნიშვნელოვანია თაღების საერთო მდგრადობის შემოწმება. სიბრტყიდან თაღების მდგრადობა მიიღწევა ვერტიკალური კაეშირების დამონტაჟებით (იხ. ფიგ. 159), რომლებიც დაპროექტების პირობებით არ უნდა აღემატებოდეს თაღის სარტყელის 16-20 სიგანეს. სარტყელის მდგრადობა თავის სიბრტყეში კმაყოფილდება შემდეგი პირობით

$$N_{cr} > (1.2 - 1.3)N, \quad (121)$$

სადაც N არის საანგარიშო გრძივი ძალა მაღის $1/4$ -ში (მთლიან მაღზე მუდმივი დატვირთვისა და ნახევარ მაღზე დროებითი თოვლის დატვირთვისაგან); N_{σ} – საანგარიშო კრიტიკული ძალა თაღის, როგორც მრუდხაზოვანი შეკუმშული ძელის, მდგრადობის დაკარგვისას.

თაღოვან კონსტრუქციებში კრიტიკული ძალა მიახლოებით შეიძლება განისაზღვროს ეილერ-იასინსკის ფორმულით; ამ შემთხვევაში საანგარიშო სიგრძედ l_{σ} მიიღება თაღის სიგრძის ნახევარი (იხ. ფიგ. 160, ა):

$$N_{\sigma} = \pi^2 EJ_x / \mu l_{\sigma}^2. \quad (122)$$

საანგარიშო სიგრძის კოეფიციენტი μ , რომელიც ითვალისწინებს თაღის სიმრუდეს და დამოკიდებულია f/l ფარდობაზე, განისაზღვრება ცხრილი 33-ით.

ცხრილი 33

μ კოეფიციენტი მდგრადობის თაღოვან კონსტრუქციებში

თაღის სტატიკური სქემა	μ ფარდობისა f/l			
	0.05	0.2	0.3	0.4
ხაზსახსრიანი	0.6	0.6	0.6	0.65
ორსახსრიანი	0.5	0.55	0.6	0.65
უსახსრო	0.35	0.375	0.4	0.425

გაანგარიშება ქარის დატვირთვაზე აუცილებელია ჩატარდეს თაღებისთვის, რომლებშიც $f/l > 0.2$.

9.3. თაღების კონსტრუქცია

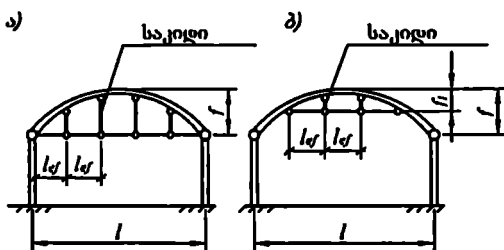
თაღების კვანძების კონსტრუქცია პრაქტიკულად არ განსხვავდება ჩარჩოების კვანძების კონსტრუქციისაგან. ჩარჩოების მსგავსად თაღებში ყველაზე რთულია საყრდენი და კლიტის (კეხის, სატყეის) სახსრები. ამ კვანძების მახლობლად გამჭოლ თაღებს, როგორც წესი, კონსტრუქციული მოსაზრებებიდან აქვთ მთლიანი კვეთი, რაც, ჩარჩოვანი კონსტრუქციებისგან განსხვავებით, განსაზღვრავს მთლიანი და გამჭოლი თაღების სახსროვანი კვანძების მსგავსებას.

თაღებში საკოჭი შეიძლება განთავსდეს საყრდენი სახსრების ღონეზე (ფიგ. 162, ბ) ან საყრდენების ზევით, რითაც იზრდება შენობის სასარგებლო

სიმაღლე (ფიგ. 162, ბ). მეორე შემთხვევაში აწვეის ისრების ფარდობა f/f არ უნდა იყოს 0.5-ზე ნაკლები. არასრული საანგარიშო დატვირთვისას ჩაკიდულობის ლიკვიდაციისათვის საკოჭს მთელ სიგრძეზე კიდებენ თაღზე საკიდრების მეშვეობით. საკიდრების რაოდენობა განისაზღვრება საკოჭის გაჭიმული ელემენტის მაქსიმალური მოქნილობის უზრუნველყოფის პირობიდან შემდეგი ფორმულით

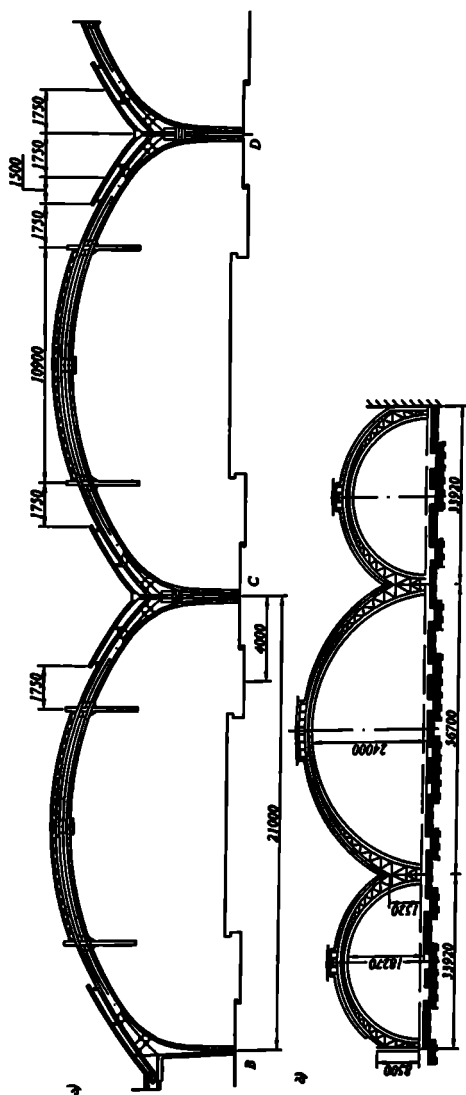
$$l_f \leq 400i, \quad (123)$$

სადაც i არის საკოჭის კვეთის ინერციის რადიუსი პორიზონტალური დერძის მიმართ.



ფიგ. 162. საკოჭიან თაღში საკიდრების განსაზღვრისათვის
ა - საყრდენი სახსრების დონეზე; ბ - საყრდენების ზევით;

XX საუკუნის დასაწყისში თაღებს ძირითადად აპროექტებდნენ საგამოყენო პავილიონებისა და ვაგზლებისთვის. ამ პროექტებიდან, კონსტრუირების თვალსაზრისით, საინტერესოა რკინიგზის სადგურების პლატფორმების გადასახური უჭრი მრავალმალიანი თაღები. პირველ შემთხვევაში (ფიგ. 163, ა), ვაგზალის გადახურვის მრავალმალიანი თაღი არის მთლიანკედლიანი, თანაბარი 21 მ-იანი მალეებით და საყრდენების ზევით ვერტიკალური უბნებით, საყრდენების მახლობლად შენობის ზონების მაქსიმალურად სრულად გამოყენების მიზნით. მეორე შემთხვევაში (ფიგ. 163, ბ), მოსკოვის ყაზანის ვაგზლის გადახურვის მრავალმალიან თაღს (პროექტი) აქვს შესაბამისად სხვადასხვა სიმაღლის ერთი 56.7 მ-ის ტოლი მთავარი მალი და 33. 92 მ-ის ტოლი ორი გვერდითი მალი. მოცემული მალეების შემთხვევაში, გისოსოვანი თაღების წრიული მოხაზულობა საშუალებას იძლევა უზრუნველყოს საყრდენისპირა ზონების ნორმალური ექსპლუატაცია.



ფიგ. 163. უძველესი კონსტრუქციების მსგავსებები

ა - სადგურის გადახურვის მრავალმალხანი თალი

ბ - ყაზანის სადგურის გადახურვის პროექტი, (მოსკოვი, რუსეთი)

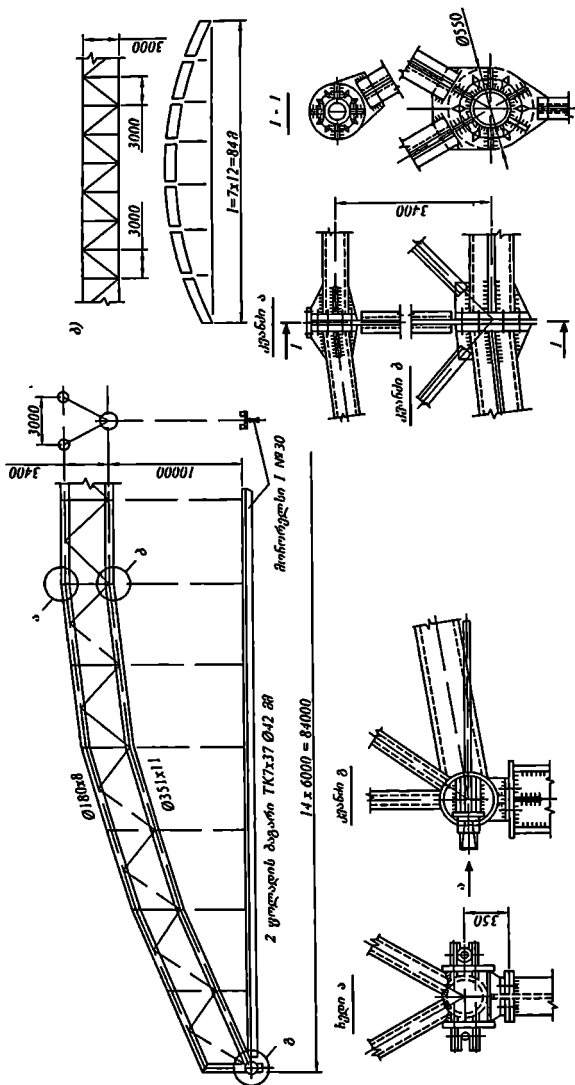
თანამედროვე მრავალმალიან თაღებს აპროექტებენ საკოჭიან ან უსაკოჭო ერთმალიანი კონსტრუქციის სახით. საყრდენების დონეზე საკოჭიანი, 78 მ მაღის მქონე ფოლადის თაღითაა გადახურული სპორტის სასახლე ლუენიკებში (ფიგ. 164, ა). გამჭოლი თაღის სარტყელები შესრულებულია II-ს მაგვარი შენადული პროფილით, რომლებიც შეერთებულია კუთხედებიანი გისოსით. ოთხი კუთხედისაგან შედგენილი საკოჭი კვეთში ჯვრის ფორმისაა.

საინტერესოა 90.2 მ მაღის, გამჭოლ ბურჯებიანი საავიაციო ანგარის თაღოვანი გადახურვა. შენობის სასარგებლო სიმაღლის გასაზრდელად ფოლადის გისოსოვანი თაღი შესრულებულია საკოჭის გარეშე. თაღის საყრდენი კედლები აწეულია 7 მ სიმაღლეზე. ბურჯს აქვს რთული ჩარჩოს ფორმა, რომლის ერთ-ერთი ელემენტი წარმოადგენს ღეროვან ელემენტს, რომელიც ტოლქმედ ძალას საყრდენ კედნაში გადასცემს გარე საძირკელებზე (ფიგ. 164, ბ).

ფიგ. 164, გ-ზე წარმოდგენილია კომბინირებული თაღი კოლოფისებრი კვეთის სიხისტის კოჭის სახის საკოჭით. თაღები დაყენებულია 12 მ-იანი ბიჯით, რაც საშუალებას იძლევა დალაგდეს სახურავის მზიდი ფარები და ჩამოიკიდოს კიდული ამწეების კოჭები უშუალოდ სიხისტის კოჭზე. შენობის გარეთ გამოტანილი თაღის მდგრადობა უზრუნველყოფილია თაღსა და სიხისტის კოჭს შორის განლაგებული ცვლადი სიმაღლის ვერტიკალური კავშირის წამწებით.

მოსკოვში დინამოს სტადიონის გადახურვისათვის შემუშავებული იქნა ტრაპეციის მოხაზულობის ნაკვეთიანი (ნაოჭა) გარსის ფორმის თაღოვანი გადახურვა (ნახ. 164, ე). 6X9 მ ზომის ნაკვეთიანი ელემენტის სისქე 100 მმ-ია, ხოლო სამფენოვან პაკეტში გარეთა ბრტყელი ალუმინის ფურცლების სისქე 1 მმ. ასეთი ელემენტის შუა ფენა წარმოადგენს ალუმინის ფიჭურ ფილას.

დინამოს სტადიონის გადასახურად წარმოდგენილი იყო აგრეთვე თაღის მეორე ორიგინალური გადაწყვეტა – საკოჭების სისტემით წინასწარ დაძაბული თაღი მაღით 180 მ (ფიგ. 164, დ). თაღში წინასწარდაძაბული საკოჭების შემოტანამ მნიშვნელოვნად გაზარდა კონსტრუქციის სიხისტე ცალმხრივად თაღის დატვირთვისას დროებითი თოვლის დატვირთვით.



ფიგ. 165. ყოლადის წინასწარ დაბეჭდილი, საკონსტრუქციო, 84 მ მაღლის მქონე თაღის კონსტრუქციის მაგალითი

ჩაარჩოვანი კონსტრუქციისაგან განსხვავებით, დიდმალიან თაღს აქვს კვეთის ისეთი გაბარიტი, რომელიც საშუალებას იძლევა თალი დანაწევრდეს მთლიანად საქარხნო პირობებში დამზადებულ მსხვილ სატრანსპორტო ელემენტებად. თაღის, 12 მ-დე სიგრძის ბრტყელი ან სივრცითი ბლოკების ფორმის, სატრანსპორტო ელემენტებს სამშენებლო მოედანზე სამონტაჟო კვანძების დახმარებით აწყობენ მსხვილ ბლოკებად (ნახევარი თალი ან მთლიანი თალი) და საექსპლუატაციო მდგომარეობაში ააწყობენ მობრუნების მეთოდით ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან ვერტიკალურში.

საკოჭიანი დიდმალიანი სივრცითი თაღის სატრანსპორტო ელემენტებად დანაწევრების მაგალითი და ამ თაღის საპირაპირე სამონტაჟო კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 165-ზე. დამზადების გამარტივებისთვის ამ თაღის მრუდხაზოვანი მოხაზულობა შეცვლილია ტეხილი მოხაზულობით, რომელიც შედგენილია 12 მ სიგრძის სამკუთხა კვეთის სწორხაზოვანი ბლოკებით.

თავი 10. ბისოსოვანი ნაოჭები

10.1. ბისოსოვანი ნაოჭების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები

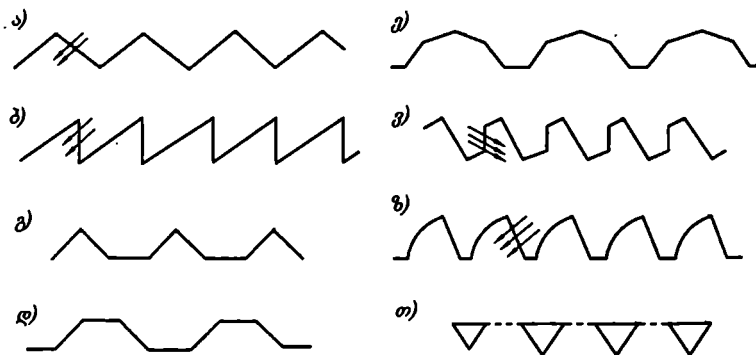
ლითონის გისოსოვანი ნაოჭი წარმოადგენს უმარტივეს სივრცით კონსტრუქციას, შედგენილს ბრტყელი გისოსოვანი წამწეებისაგან, რომლებიც მონაცვლეობით დახრილი არიან სხვადასხვა მიმართულებით, ისე რომ გადახურვის განივ კვეთში, ტაღლის მთელ სიგრძეზე, ისინი წარმოქმნის ერთნაირ სამკუთხა ან პრიზმულ ფორმას (ფიგ. 166).

ნაოჭების ღირსებას, ტრადიციული ბრტყელი წამწეებით გადახურვებთან შედარებით, წარმოადგენს მათი დიდი რეგულარობა, რაც განსაზღვრავს გაზრდილ არქიტექტურულ-ესთეტიკურ თვისებებს, რომლებიც ხელს უწყობს ამ კონსტრუქციების გამოყენებას შეკიდული ჭერის გარეშე. მათი დაპროექტება მიზანშეწონილია შედური გადახურვების სახით სამრეწველო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებში, სადაც ნაოჭის ერთ-ერთი დახრილი სიბრტყე იფარება შუქგამჭვირვალე, ხოლო მეორე ყრუ პანელით. ასეთ შემთხვევაში ნაოჭის შემინულ სიბრტყეს აყენებენ ვერტიკალურად (ფიგ. 166, ბ) ან ჰორიზონტის მიმართ დიდი კუთხით (ფიგ. 166, ვ, ზ). ნაოჭოვან

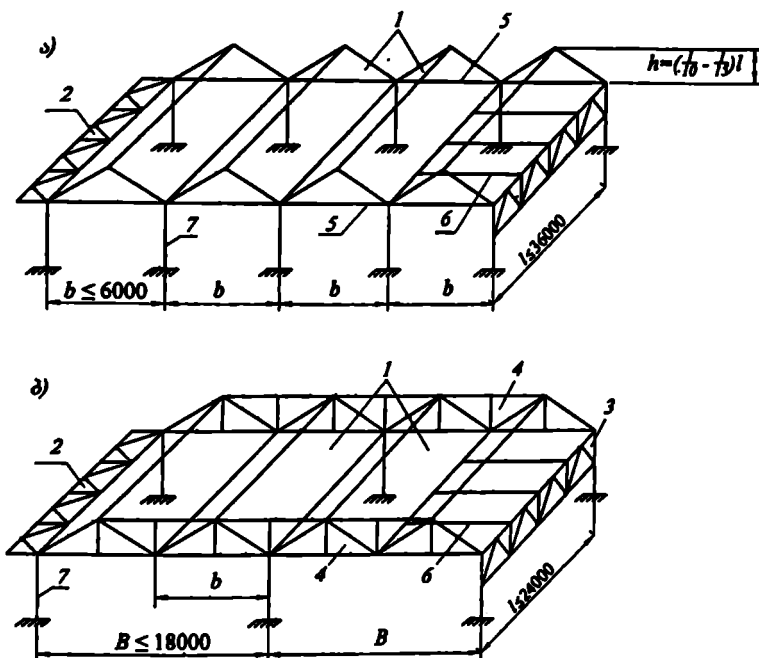
კონსტრუქციებს იყენებენ 18-36 მ მალეების შემთხვევაში, თუმცა შესაძლებელია უფრო დიდი მალეების გადახურვაც.

ნაოჭები შესაძლოა ეყრდნობოდეს ფოლადის ან რკინაბეტონის სვეტებს (ფიგ. 167, ა), ნაგებობების კედლებს ან ნივნიეკეშა კონსტრუქციებს (ფიგ. 167, ბ). სვეტებზე დაყრდნობისას, ნაოჭის ტალღის მაქსიმალური სიგანე არ უნდა აღარებდეს 6 მ-ს. ნაოჭოვანი გადახურვის მდგრადობისათვის, სვეტების სიბრტყეში, საყრდენი კვანძების დონეზე, ორივე ტორსზე აწყობენ საკოჭებს, ხოლო სარტყელის სიგრძეზე, განაპირა ტალღებში, განმზღვნის ასათვისებლად, აყენებენ პორიზონტალურ ბრტყელ წამწეებს ან საკოჭების სისტემას. ნივნიეკეშა წამწეები ზრდის ნაოჭოვანი გადახურვის სვეტების ბიჯს, რაც შენობის უფრო მეტად მოქნილი გეგმარებითი გადაწყვეტის შესაძლებლობას იძლევა. გისოსოვან ნაოჭებს, ბრტყელ წამწებთან შედარებით, მეტი სიხისტე გააჩნიათ, ამიტომ მათი სიმალლე შეიძლება შემცირებულ იქნას მალის 1/10-1/15-მდე.

შენობებში ფართოდ გამოიყენება სამკუთხა ნაოჭები (ფიგ. 166, ა, ბ, თ), როგორც ყველაზე მარტივად დასამზადებელი. გისოსების სისტემა ასეთ ნაოჭებში ნაჩენებია ფიგ. 168-ზე. ჯვარედინა გისოსის შენთხვევაში (ფიგ. 168, ა), ელემენტები მუშაობენ მხოლოდ გაჭიმვაზე, რაც მათი, მოქნილი მალალი სიმტკიცის ფოლადისაგან დაპროექტების საშუალებას იძლევა.



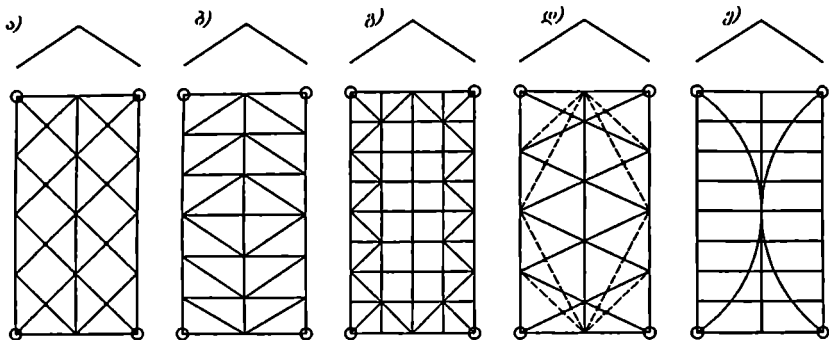
ფიგ. 166. ნაოჭების წამწეები



ფიგ. 167. ნაოჭოვანი გადასურვის საერთო ხედი

- ა - ნაოჭების უშუალოდ სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში; ბ - ნაოჭების ნივნიკებზეა წამწებზე დაყრდნობის შემთხვევაში; 1 - გისოსოვანი ნაოჭი; 2 - პორიზონტალური გვერდული (ბორტის) ელემენტი; 3 - იგივე, ვერტიკალური; 4 - ნივნიკებზეა წამწე; 5 - საკოჭი სვეტების სიბრტყეში; 6 - ნაოჭის განაპირა ტალღის საკოჭი; 7 - სვეტი;

უმეტეს შემთხვევებში, ნაოჭებს აპროექტებენ სამკუთხა ან პოლიგონური განივი კვეთის მქონე ერთმალის სისტემების სახით. აუცილებლობის შემთხვევაში, მათ განიხილავენ, როგორც უკრ მრავალმალის და კონსოლურ სისტემებად. არქიტექტურული მოსაზრებებით, გისოსოვან ნაოჭებს შეიძლება ქონდეთ ცვლადი კვეთი სიმაღლის გასწვრივ და ტალღის ცვლადი სიგანე. ასეთი ნაოჭები მოსახერხებელია მრგვალი, ტრაპეციისებრი და სხვა რთული გეგმების გადასახურად. ცვლადი კვეთის ნაოჭებში გისოსის ყველაზე მეტად გაერცელებული ტიპია ირიბანული სისტემა (ფიგ. 168, ბ).



ფიგ. 168. გისოსოვანი ნაოჭების სისტემები

ა - ჯვარედინი; ბ - ირიბანული; გ - კომბინირებული; დ - სამკუთხა დამატებითი შპრენგელებით; ე - უირიბნო თალით;

10.2. გისოსოვანი ნაოჭების გაანგარიშება და კონსტრუქცია

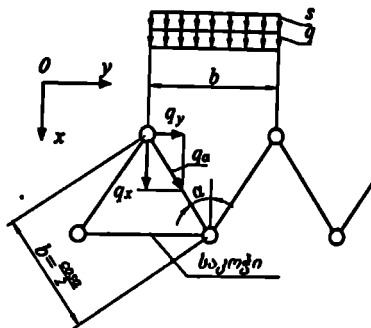
გისოსოვანი ნაოჭი მუშაობს გრძივი და განივი მიმართულებით. ვერტიკალური დატვირთვების შემოქმედებისაგან ნაოჭი გრძივი მიმართულებით მუშაობს, როგორც ბრტყელი დახრილი წამწეების სისტემა, რომელთა დატვირთვის ფართობი ერთი ნაოჭის ტალღის b სიგანის ტოლია (ფიგ. 169). ამასთან, ნაოჭის ტალღის ერთ სიბრტყეზე წრფივ საანგარიშო დატვირთვის განსაზღვრავენ მისი დახრის კუთხის გათვალისწინებით

$$q_x = \frac{\left[\frac{(g+s)b}{2} \right]}{\cos^2 \alpha}, \quad (124)$$

სადაც, g არის მუდმივად განაწილებული დატვირთვა; s - თოვლის განაწილებული დატვირთვა.

ერთმალთან ნაოჭში საანგარიშო მდუნავი მომენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$M = \frac{q_x l^2}{8}, \quad (125)$$



ფიგ. 169. ნაოჭის განივ კვეთზე დატვირთვის მოდების სქემა

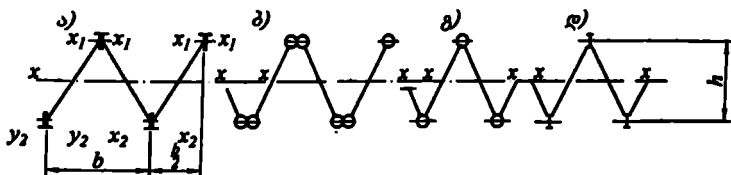
დადებითი მდუნაეი მომენტის ზემოქმედებისას, ნაოჭის სარტყელებში წარმოიქმნება გრძივი მკუმშავი (ზედაში) და გამჭიბი (ქვედაში) ძალები. განაპირა სარტყელებს ანგარიშობენ q_a დატვირთვის ზემოქმედებაზე, ხოლო დანარჩენს — $2q_a$ დატვირთვაზე. სარტყელებში გრძივი ძალების განსაზღვრისას, დახრილი წიბოს სიმაღლეს ღებულობენ $b \cos \alpha/2$ ტოლს.

ნაოჭოვანი გადახურვის განაპირა ტალღებში სარტყელებს შორის დასაყენებელი საკოჭების კვეთს, გამოსახავენ მე-(8) ფორმულით, რომელშიც N ტოლია

$$N = q \cdot l_m = q_a \sin \alpha \cdot l_m, \quad (126)$$

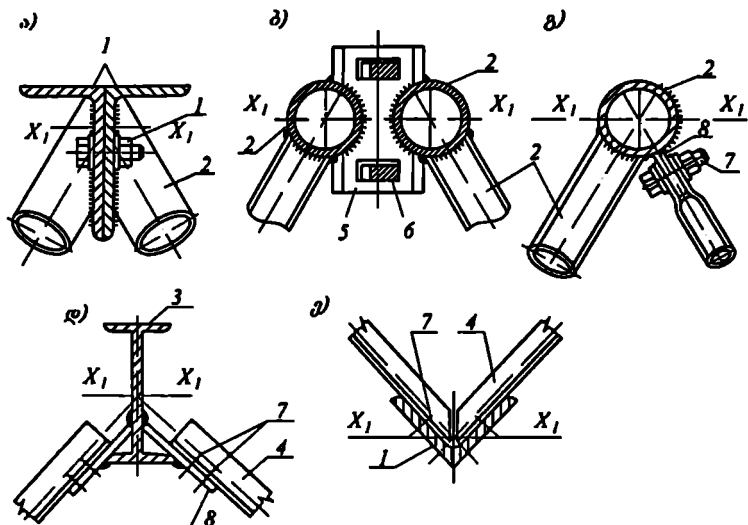
სადაც l_m არის ნაოჭის სარტყელის პანელის სიგრძე.

ნიენიექვეშა წამწის გაანგარიშება, ნაოჭის ტალღის საყრდენი რეაქციის სიდიდის ტოლი შეყურსული ძალებით დატვირთული, ნიენივა წამწის გაანგარიშების ანალოგიურია.



ფიგ. 170. ნაოჭების განივ კვეთის ვარიანტები

- ა — ცალკეული კუთხედისგან შედგენილი დამოუკიდებელი ბრტყელი წამწებით;
- ბ — იგივე, მიღოვანი სარტყელებით; გ — შეთავსებული მიღოვანი სარტყელებით;
- დ — იგივე, ორტესხური პროფილების სარტყელებით;



ფიგ. 171. გისოსოვანი ნაოჭების საკვანძო შეერთებები

- ა - შეწყვილებულ კუთხედებიანი სარტყელებით; ბ - იგივე, მიღებით;
 გ - შეთავსებული მიღოვანი სარტყელით; დ - ორტესებრი სარტყელით;
 ე - იგივე, ცალმაგი კუთხედით; 1 - სარტყელის კუთხედი; 2 - მილი;
 3 - ორტესებრი; 4 - გისოსის კუთხედი; 5 - საკეტი მოწყობილობა;
 6 - სოლი; 7 - მუშა ჭანჭიკები; 8 - ფასონურა;

18 მ-მდე მაღლის მქონე ნაოჭებს აგებენ სრული ქარხნული დამზადების ბრტყელი გისოსოვანი წამწეებისაგან. დიდი მაღლების შემთხვევაში ნაოჭებს, წამწეების მსგავსად, აწყობენ ორი ნახევარწამწისაგან მაღლის სიგრძის გასწვრივ. მონტაჟის პირობიდან გამომდინარე, ნაოჭების სარტყელებს აპროექტებენ უპირატესად შეწყვილებული კუთხედების ან მიღებისაგან, იშვიათად ცალკეული (ერთეული) მიღოვანი ან ორტესებრი კეეთის სახით (ფიგ. 170).

შეწყვილებულ ელემენტებს სარტყელის სიგრძეზე აუღლებენ ჭანჭიკებით (ფიგ. 171, ა) ან ფოლადის სოლებით (ფიგ. 171, ბ), რომლებიც აფერხებენ ამ ელემენტების ერთმანეთის მიმართ გადანაცვლებას. ცალკეული ელემენტის სახით დაპროექტებული სარტყელის შემთხვევაში, ნაოჭის ელემენტებს ერთმანეთთან ამაგრებენ მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით, სარტყელზე მიდრეკილი დახრილი ფურცლების (ირიბნების) დახმარებით (ფიგ. 171, გ, დ, ე).

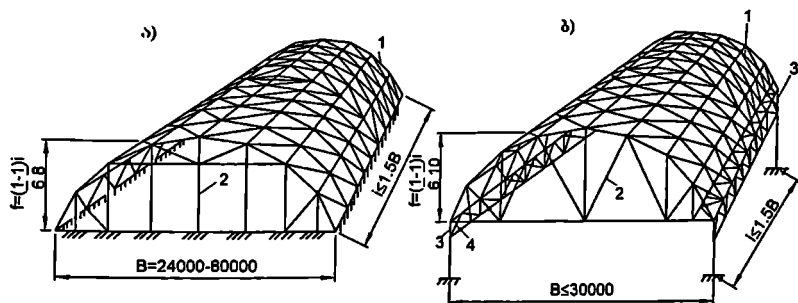
თავი 11. ბადისებრი კამარები

11.1. ბადისებრი კამარების სტატიკური და

კონსტრუქციული სქემები

ამ ტიპის კონსტრუქციებს განეკუთვნება ერთსარტყელიანი (ერთბადიანი) ცილინდრული გარსები და ორსარტყელიანი კამარები (ფიგ. 172, ბ). ერთბადიან გარსს, რომლის შუა ზედაპირი მიიღება წრფის ნებისმიერ მრუდწირულ მიმმართელებზე სრიალით, ეწოდება ცილინდრული გარსი. მრუდწირული მიმმართელების სახეობიდან გამომდინარე, განასხვავებენ წრიულ, პარაბოლურ, ელიფსურ და სხვა ტიპის ცილინდრულ გარსებს, რომელთა შორის ყველაზე მეტად გავრცელებულია წრიული ცილინდრული მოხაზულობის გარსი.

კედლებზე ან საძირკველზე დაყრდნობილი ერთსარტყელიანი ცილინდრული კამარის ძირითადი ელემენტებია ბადისებრი გარსი და გისოსოვანი ტოროსული დიაფრაგმები (ფიგ. 172, ა). ოთხ სვეტზე კუთხეებით დაყრდნობილ ცილინდრულ გარსში მალის გასწვრივ დამატებულია ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გისოსოვანი გვერდული (ბორტის) ელემენტები (ფიგ. 172, ბ), რომლებიც ზრდიან გარსის სიხისტეს.

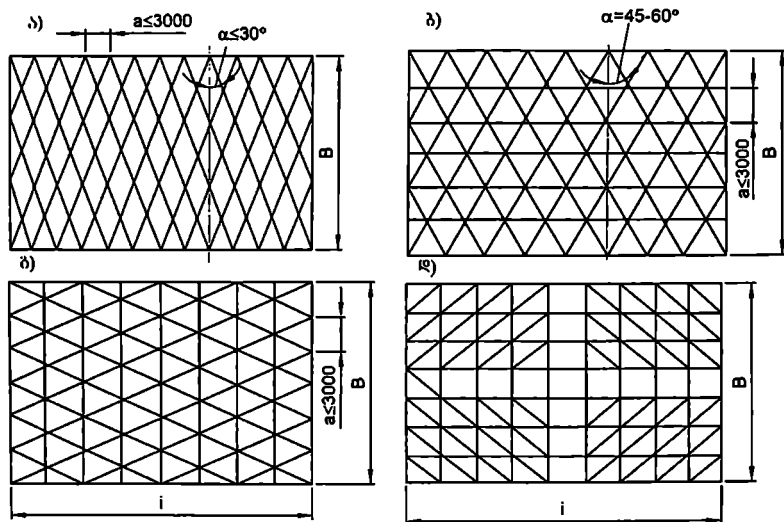


ფიგ.172. ერთსარტყელიანი ბადისებრი გარსების ძირითადი ფორმები

- ა - ცილინდრული კამარა; ბ - ცილინდრული გარსი; 1 - ბადისებრი გარსი;
2 - გისოსოვანი დიაფრაგმა; 3 - ვერტიკალური გვერდული (ბორტის) ელემენტი;
4 - იგივე, ჰორიზონტალური;

ერთსარტყელიანი ბადისებრი კამარის მალი ეწოდება მანძილს ტალღის განივი მიმართულებით, რომელიც შესაძლოა იყოს 24-80 მ, ხოლო გაზრდილი

მდგრადობისას, რომელიც მიიღწევა ფენილის გისოსთან ერთობლივ მუშაობაში ჩართვით, 100 მ-მდე. ერთსართყელიანი ბადისებრი კამარის აწვეის ისარი ინიშნება მალის $1/6 - 1/8$, ხოლო ცილინდრულ გარსებში $- 1/6 - 1/10$. ბადის ღეროვანი ელემენტების კვეთის სიმაღლეს ღებულობენ ტალღის b სიგანის $1/80 - 1/200$.

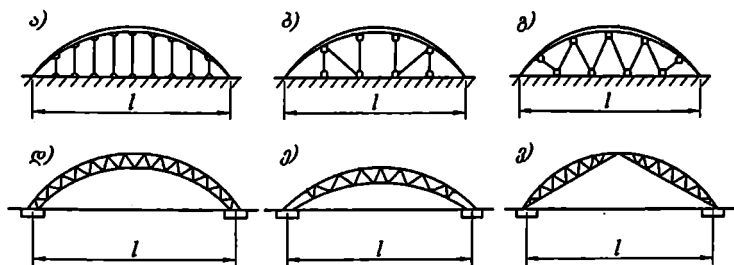


ფიგ. 173. ბადისებრი გარსების ბადეების სისტემები

ა - რომბისებრი; ბ - სამკუთხა გრძივი ღეროებით; გ - სამკუთხა განივი ღეროებით;
დ - ირიბნული;

ერთსართყელიან ცილინდრულ გარსებში და კამარებში შეიძლება გამოყენებულ იქნას ბადეების სხვადასხვა სისტემები. უმარტივესია რომბისებრი (რომბული) სისტემა (ფიგ. 173, ა), რადგან თითოეულ კვანძში უდლდება მხოლოდ ოთხი ღერო. თუმცა, ასეთი სისტემა ვერ უზრუნველყოფს კონსტრუქციის სიხისტეს გრძივი მიმართულებით, ამიტომ მას იყენებენ მხოლოდ ცილინდრულ კამარებში (ფიგ. 172, ა) მალთ არა უმეტეს 36 მ. ერთბადაიან კონსტრუქციებში ყველაზე მეტად გამოიყენება ფიგ. 173, ბ, გ-ზე გამოსახული ბადეების სისტემები. ასეთ ბადეებში, ცილინდრულ მსახველთან ღეროების დახრის კუთხე მიიღება 45 - 60°.

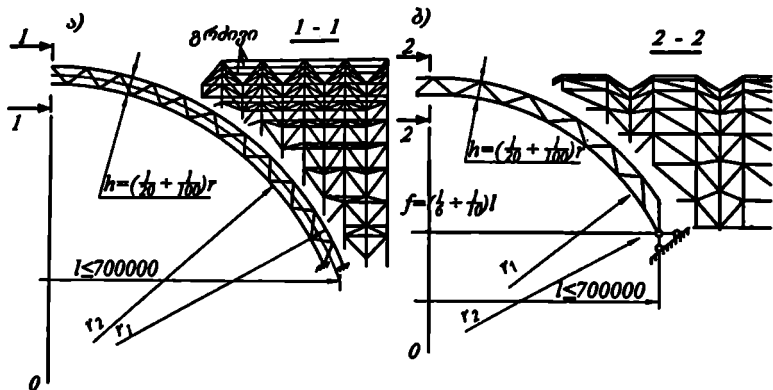
ცილინდრული გარსი შეიძლება იყოს ერთმადიანი ან მრავალმადიანი, ერთტალღიანი ან მრავალტალღიანი. პირველ შემთხვევაში მრავალმადიანი გარსის პირაპირზე ეწყობა საერთო დიაფრაგმები, ხოლო მეორეში – საერთო გვერდული (ბორტის) ელემენტები. ერთმადიანი გარსების საერთო მდგრადობის უზრუნველყოფა ხორციელდება ტორსული დიაფრაგმებით, რომელთა გეომეტრიული სქემები ნაჩვენებია ფიგ. 174-ზე.



ფიგ. 174. ბადისებრი გარსების ტორსული დიაფრაგმის სქემები

ეკონომიურობისა და ექსპლუატაციის მოხერხებულობის თვალსაზრისით უმეტესად გაერცელებულია დიაფრაგმები სეგმენტური წამწეების სახით (ფიგ. 174, ბ, გ). თუმცა, მათი გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ ერთმადიან გარსებსა და კამარებში. მრავალმადიან კამარებში წარმატებით გამოიყენება საძირკველზე დაყრდნობილი თაღოვანი ტიპის დიაფრაგმები (ფიგ. 174, დ-ე). ამასთან, მრავალმადიანი შენობის ტორსებზე ტოვებენ დიაფრაგმებს სეგმენტური წამწეების სახით. ნაკლებად ეკონომიურია ჩარჩოვანი დიაფრაგმები (ფიგ. 174, ა), რომელთა გამოყენებასაც ასაბუთებენ ფუნქციური ან არქიტექტურული მოსაზრებებით.

ორსართულიანი გისოსოვანი კამარები – ორბადიანი გარსები და პრიზმული კვეთის კამარები (ფიგ. 175), ერთბადიან გარსებთან შედარებით გამოირჩევა მეტ სიხისტითა და მზიდუნარიანობით. ასეთი კონსტრუქციებით შესაძლებელია 700 მ-მდე მაღლების გადახურვა, თუ მათი აწევის ისრის მაღალსთან შეფარდება $f/l = 1/6 - 1/10$, ხოლო კვეთის სიმაღლის სიმრუდის საშუალო რადიუსთან შეფარდება $h/r = 1/20 - 1/100$.



ფიგ. 175. ორბადიანი გარსების ძირითადი ფორმები

ა - რეგულარული ნაოჭოვანი; ბ - პრიზმული;

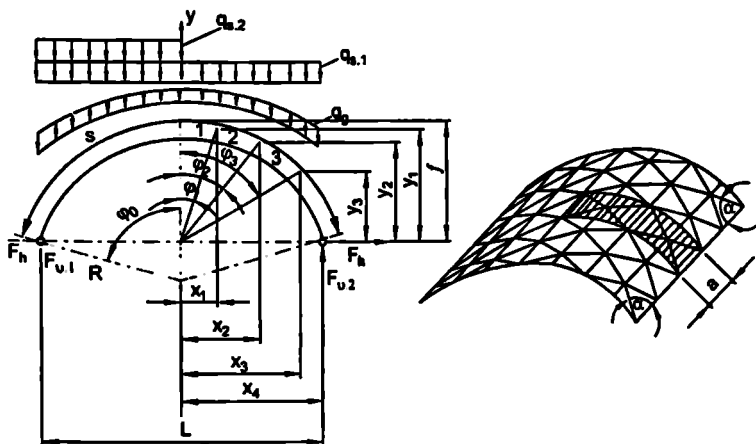
ორბადიანი გარსი (ფიგ. 175, ა) შედგება ჯვარედინა წამწევებისა და ორი ან სამი მიმართულების თაღების სისტემისაგან. ძირითად მუშა ფუნქციას ასრულებს განივი გისოსოვანი თაღები, რომლებიც საძირკველს გადასცემენ დატვირთვისგან გამოწვეულ ძირითად ძალებებს, ხოლო გრძივი სწორხაზოვანი წამწევები ხელს უწყობენ ძალების გადანაწილებას განივ თაღებს შორის და მნიშვნელოვნად ზრდის ორბადიანი გარსის სიხისტეს.

სამკუთხა ან პრიზმული განივი კვეთის ორსართკველიანი კამარები, თავიანთი სტატიკური და კონსტრუქციული სქემებით, ახლოს არიან გისოსოვან ორსახსრიან თაღებთან. ორსართკველიანი გისოსოვანი კამარები ასევე ტორსებით ეყრდნობა ხისტ დიაფრაგმებს, რომლებბადაც შესაძლოა გამოყენებულ იქნას მთლიანი კედლები, სეგმენტური წამწევები და სხვა კონსტრუქციები. ბადისებრი კამარების ოპტიმალურ გადაწყვეტას ებუღებენ $l/B=1$ თანაფარდობის დროს. თუმცა, შენობებისა და ნაგებობის დაპროექტებისას დასაშვებია ამ თანაფარდობის 1.5-მდე გაზრდა.

11.2. ბადისებრი კამარების ბაზანგარიშება და კონსტრუქცია

გრძივი კიდეებით კედლებზე ან საძირკველზე, ხოლო ტორსებით ხისტ დიაფრაგმებზე დაყრდნობილი ბადისებრი ცილინდრული გარსის

მიახლოებითი გაანგარიშება ხდება, როგორც ორსახსრიანი თაღის, რომლის საანგარიშო სიგანე კამარის უჯრედის a ზომის ტოლია (ფიგ. 176).



ფიგ. 176. ბადისებრი გარსების გაანგარიშებისათვის

კამარის გეომეტრიული პარამეტრები, მოცემული მაღისა და f აწვეულობის ისრისას, განისაზღვრება ფორმულებით:

$$R = (l^2 + 4f^2)^{1/2}, \quad (127)$$

$$\phi_0 = \text{Arcsin} \left(\frac{l}{2R} \right), \quad (128)$$

$$S = \pi R \left(\frac{\phi_0}{90} \right), \quad (129)$$

სადაც R არის კამარის სიბრუდის რადიუსი; ϕ_0 - ცენტრალური კუთხე კეხიდან კამარის საყრდენამდე; S - კამარის რკალის სიგრძე.

პანელების n რაოდენობის შემთხვევაში, კამარის ღერძის გადატეხის წერტილების კოორდინატები სიგრძის ნახევარზე ტოლია:

$$x_n = R \sin \phi_n; \quad (130)$$

$$y_n = f - R(1 - \cos \phi_n). \quad (131)$$

კამარის საანგარიშო ზოლში, მუდმივი საანგარიშო დატვირთვისაგან გამოწვეული განმბჯენი და ვერტიკალური რეაქციები შესაბამისად შეიძლება გამოსახულ იქნას შემდეგნაირად:

$$F_{h,g} = \frac{\left[\left(\frac{\varphi_0 l}{2} \right) - R(1 - \cos \varphi_0) \right] q_g R k_c}{f}, \quad (132)$$

$$F_{v,1} = F_{v,2} = q_g \varphi_0 R. \quad (133)$$

სადაც φ_0 არის ცენტრალური კუთხე რადიანებში; $q_g = ga$ – კამარის საკუთარი მასიდან და ჭერის მასიდან მიღებული წრფივი საანგარიშო დატვირთვა; k_{co} – კამარის დრეკადი მოკუმშვის (მოჭიმვის) გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი, რომელიც მიახლოებით განისაზღვრება ფორმულით

$$k_{co} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{k_g S^2}{4 f^2} \right) 10^4 \right]}. \quad (134)$$

კამარის საანგარიშო ზოლში, თანაბრად განაწილებული თოვლის დატვირთვისაგან გამოწვეული განმბჯენი და ვერტიკალური რეაქციები შესაბამისად იქნება:

$$F_{h,s,1} = \frac{q_{s,1} l^2 k_c (1 - 5\alpha^2 + 5\alpha^4)}{8f}, \quad (135)$$

$$F_{v,1,s,1} = F_{v,2,s,1} = \frac{q_{s,1} (1 - 2\alpha)}{2}, \quad (136)$$

სადაც $\alpha = a/l$, კამარებისათვის, თუ $\varphi_0 \leq 50^\circ$, $\alpha = 0$.

ცხრილი 34

**k_{co} , S და φ_0 მნიშვნელობები (რადიანებში) fl დამოკიდებულებიდან
გამომდინარე**

fl	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
S	1.57 l	1.28 l	1.16 l	1,10 l	1,07 l	1,05 l	1,04 l	1,03 l	1,02 l
k_c	1	1.2628	1.4488	1.5747	1.6533	1,7073	1.742	1.7681	1.7873
φ_0	1.57	1.176	0.927	0.761	0.643	0.557	0.49	0.437	0.395

კამარის საანგარიშო ზოლში, სამკუთხა სქემის მიხედვით მოღებულ თოვლის დატვირთვისაგან გამოწვეულ განმბჯენსა და ვერტიკალურ რეაქციებს პოულობენ ფორმულებით:

$$F_{h,s,2} = \frac{0.0342 q_{s,2} l^2 k_{co} (1 - 2\alpha + 8\alpha^2)}{f}, \quad (137)$$

$$F_{r,1,2} = \frac{q_{s,2}J(11-26\alpha+8\alpha^2)}{48}, \quad (138)$$

$$F_{r,2,2} = \frac{q_{s,2}J(7-10\alpha+8\alpha^2)}{48}. \quad (139)$$

ფორმულებში (135), (136), (138), (139) თოვლის დატვირთვებს $q_{s,1}$ და $q_{s,2}$, კამარის საანგარიშო ზოლისთვის, იღებენ სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით.

კამარის საანგარიშო ზოლის ნებისმიერ კვეთში, ნორმალური და განივი ძალების მდუნავი მომენტები განისაზღვრება ფორმულებით (113), (114), (115).

ერთ და ორსართყელიანი კამარების ცალკეულ ღეროებში გრძივი მკუმშავი ძალები შესაძლოა განისაზღვროს შესაბამისად ფორმულებით (140) და (141) დახრის α -ს კუთხის გათვალისწინებით:

$$N_1 = \frac{N}{2\sin\alpha}, \quad (140)$$

$$N_2 = \frac{\left(\frac{N}{2} \pm \frac{M}{h}\right)}{2\sin\alpha}, \quad (141)$$

სადაც h არის ორსართყელიანი კამარის კვეთის სიმაღლე სართყელების ღერძებში.

ბადისებრი კამარის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია (121)-ე პირობის შესრულება, ამასთან კრიტიკული ძალა კამარაში მიახლოებით შეადგენს

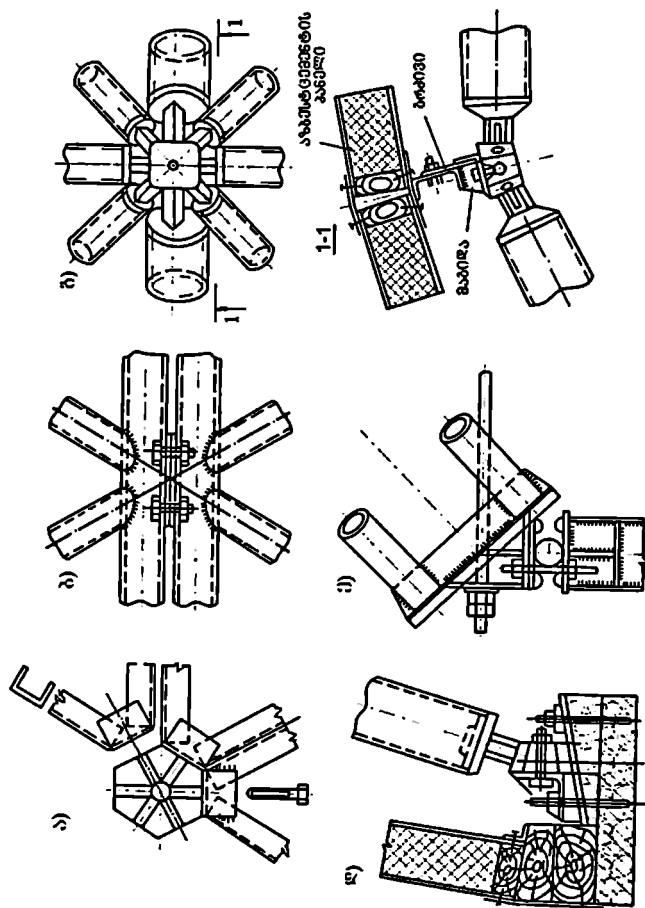
$$N_{\sigma} = \frac{\pi^2 E_0 J_x}{(\mu S)^2}, \quad (142)$$

სადაც E_0 არის ბადისებრი კამარის დაყვანილი დრეკადობის მოდული, რომელიც განისაზღვრება ფორმულებით (143) და (144); J_x - წვეილი ღეროების ან ღეროთა ჯგუფის განივი კვეთის ინერციის მომენტი შესაბამისად ერთსართყელიან ან ორსართყელიან კამარაში; μ - კოეფიციენტი, შეივრცეა ცხრ. 33-ის მიხედვით.

E_0 -ს მნიშვნელობა ერთ და ორსართყელიანი კამარებისთვის შესაბამისად ტოლია:

$$E_0 = 2E, \quad E_0 = \frac{4EA}{3ha}, \quad (143), (144)$$

სადაც E ფოლადის დრეკადობის მოდულია, რომელიც გამოიყენება კამარის ღეროების დასამზადებლად, A – ერთი ღეროს განივი კვეთის ფართობი.



ფიგ. 177. ცილინდრული ბადისებრი გარსების კონსტრუქციები

ა – ჩეხური კონსტრუქცია; ბ – ბრტყელი წამწებიდან ასაწობი; გ, დ – მოსკოვის არქიტექტურის ინსტიტუტის კონსტრუქციები; ე – ორსართულიანი საკოვანი კამარის საყრდენი კედლის ვარიანტი

ბადისებრი ცილინდრული კამარებისა და გარსების კონსტრუქციულ განსაკუთრებულობას წარმოადგენს ის, რომ ორი მეზობელი კეანძის ღეროების ღერძები არ მდებარეობს ერთ სიბრტყეში. ამ თვისების გამო ბადისებრ კამარებსა და გარსებში გამოიყენება ისეთი პროფილები (მილები, შევლერები, ორტესებრი), რომელთა გრძივი ღერძის მიმართ მცირე კუთხით დაგდება კვეთში არ იწვევს მნიშვნელოვან ძაბვებს.

კამარებსა და გარსებს აწყობენ უპირატესად მოკლე ღეროვანი ელემენტებისაგან და სპეციალური საკანძო დეტალებისაგან, რომლებიც ღეროვანი ელემენტების სხვადასხვა კუთხით მიმაგრების საშუალებას იძლევა. უმეტეს შემთხვევაში იყენებენ ჭანჭიკურ შეერთებებს, რომელთა მაგალითებიც ნაჩვენებია ფიგ. 177-ზე. მსოფლიო პრაქტიკაში, ბადისებრ კამარებში ფართო გამოყენება პოვის საკანძო შეერთების სისტემებმა “ტრიოდეტიკ”, იფი (იხ. ფიგ. 204) და “ოკტაპლატ” (იხ. ფიგ. 205).

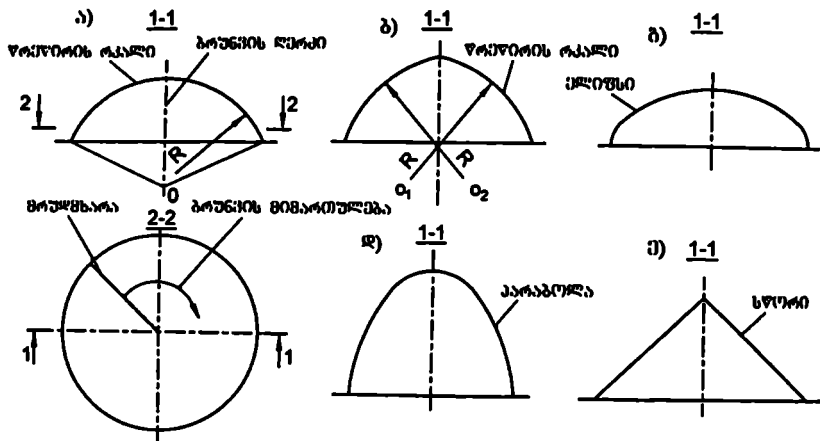
თავი 12. ორმაგი სიმრუდის გადახურვის კონსტრუქციები

12.1. ბუზბატოვანი კონსტრუქციები.

პირითადი ტიპები და მათი დახასიათება

გუზბათი ეწოდება დადებითი გაუსის სიმრუდის¹ მქონე სივრცით კონსტრუქციას, რომლის ზედაპირი მიიღება ბრტყელი მრუდის ბრუნვით ვერტიკალური უძრავი ბრუნვის სწორი ღერძის გარშემო. მშენებლობის პრაქტიკაში უფრო მეტად გავრცელებულია წრიული გეგმის მქონე გუზბათები, რომლებიც მბრუნავი მრუდით შემოხაზულ ზედაპირზე დამოკიდებულებით, შეიძლება იყოს: სფერული, ისრული, ელიფსური, პარაბოლური, კონუსური (ფიგ. 178) და ა.შ.

¹ გაუსის სიმრუდე წარმოადგენს მთავარი სიმრუდეების ნამრავლს $1/R_1 \cdot 1/R_2$, სადაც R_1 და R_2 მოცემულ წერტილში მრუდი ზედაპირის ურთიერთპერპენდიკულარული კვეთების სიმრუდეებია. თუ სიმრუდის ცენტრები მდებარეობს ზედაპირის ერთ მხარეს, მაშინ ზედაპირს აქვს დადებითი გაუსის სიმრუდე (გუზბათი, დამრეცი გარსი). თუ ეს ცენტრები მდებარეობს ზედაპირის ორივე მხარეს, მაშინ ზედაპირს აქვს უარყოფითი გაუსის სიმრუდე (პიპარი). თუ ერთ-ერთი რადიუსი ტოლია უსასრულობის, მაშინ ზედაპირს აქვს ნულოვანი გაუსის სიმრუდე (ბადისებრი ცილინდრული კამარა).

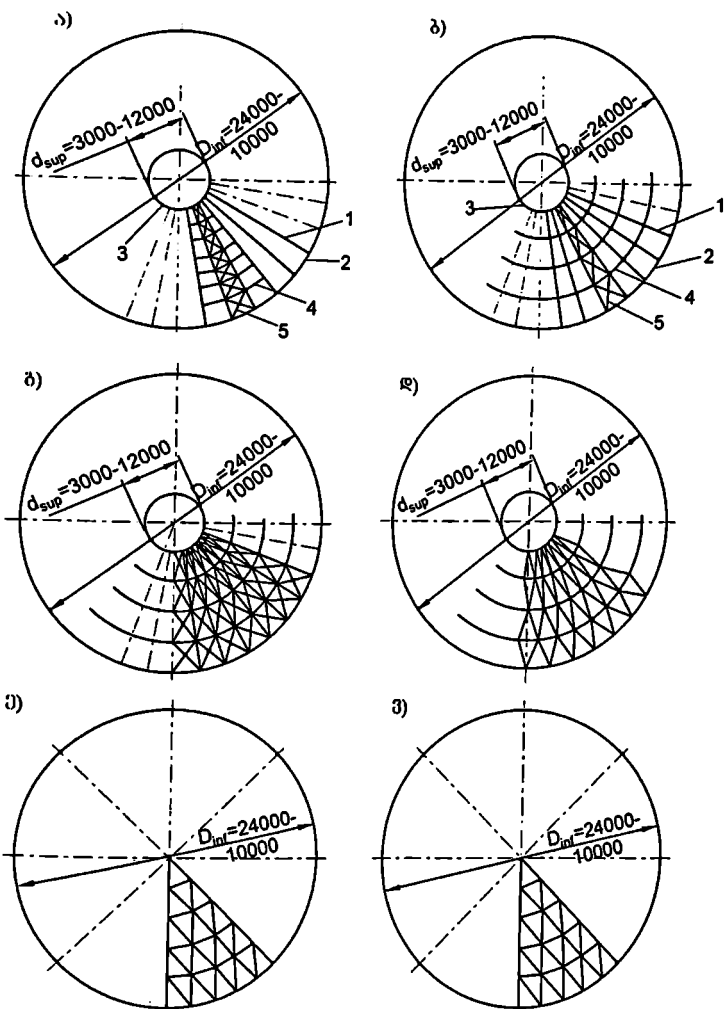


ფიგ. 178. გუმბათის სქემები

ა - სფერული; ბ - ისრული; გ - ელიფსური; დ - პარაბოლური; ე - კონუსური

კონსტრუქციული ნიშნებით გუმბათი შეიძლება იყოს წიბოვანი, წიბოვან-რგოლური და ბადისებრი. წიბოვანი გუმბათი წარმოადგენს სივრცით-თაღოვან კონსტრუქციას, რომელიც შედგენილია რადიალური მიმართულებით განლაგებული ბრტყელი მრუდხაზოვანი წიბოებისგან, რომლებიც ქვედა ნაწილში ერთმანეთთან შეერთებულია გაჭიმვაზე მომუშავე საყრდენი რგოლით, ხოლო გუმბათის წვეროში - კუმშვაზე მომუშავე ზედა რგოლით (ფიგ. 179, ა). სახურავის პანელები ლაგდება გუმბათის წიბოებთან სახსრულად შეერთებულ რგოლურ გრძივებზე.

წიბოვან-რგოლური გუმბათები წიბოვანებისაგან განსხვავდება იმით, რომ გუმბათის მუშაობაში ჩართულია რგოლური გრძივები, რომლებიც წიბოებთან ერთად ქმნის ხისტ სივრცით სისტემას (ფიგ. 179, ბ). წრიულ-რგოლურ გუმბათში რგოლური გრძივები, სახურავის პანელების დაყრდნობის გარდა, უზრუნველყოფს საერთო მდგრადობას და ამცირებს გუმბათის წიბოების საანგარიშო სიგრძეს საკუთარი სიბრტყიდან. ამ სახის გუმბათის საერთო სიხისტისათვის აწყობენ კავშირების მინიმუმ ოთხ პანელს, რომლებიც წარმოადგენს ორი მეზობელი წიბოსგან შედგენილ სექტორებს, რომლებიც თავის მხრივ ერთმანეთთან შეერთებულია ჯვარედინა კავშირებითა და განმზღვნი-გრძივებით.



ფიგ. 179. ღეროვანი გუმბათების ძირითადი სისტემები

- ა - წიბოვანი; ბ - წიბოვან-რგოლური; გ - ბადისებრი (შეედღერის სისტემა);
 დ - ეარსკელავეისებრი (ფიოპლის სისტემა); ე - ბადისებრი (ჩიეიტის სისტემა);
 ე - ბადისებრი, რომბული ბადის საფუძველზე; 1 - მერიდიანული წიბო;
 2 - საყრდენი რგოლი; 3 - ზედა რგოლი; 4 - გრძივები; 5 - კავშირები;

წიბოვან და წიბოვან-რგოლურ გუმბათებს უფრო სშირად აპროექტებენ დამრეცი სისტემების სახით აწეულობის ისრით $(1/5-1/8)D_{inf}$ და გარე დიამეტრით $D_{inf}=24-100$ მ. წიბოების სიმაღლე რეკომენდებულია $(1/60-1/100)D_{inf}$, ხოლო წიბოების ბიჯი გარე დიამეტრზე 6-12 მ, D_{inf} -ის მნიშვნელობიდან გამომდინარე.

წიბოვან-რგოლური გუმბათების განვითარებას წარმოადგენს შვედლერის გუმბათი, რომელიც ზემოთ აღნიშნულებისაგან განსხვავდება იმით, რომ ჯვარედინა კაეშირები დაყენებულია ყოველ ოთხკუთხა უჯრედში, რის გამოც მნიშვნელოვნად იზრდება გუმბათის სიხისტე. ასეთი გუმბათის დიამეტრი შეიძლება გაიზარდოს 200 მ-დე (ფიგ. 179, გ).

გუმბათების მშენებლობის თანამედროვე პრაქტიკაში უპირატესი გამოყენება პოვის სამკუთხა უჯრედებიან ბადისებრმა გუმბათებმა, აგრეთვე გუმბათების გეოდეზიურმა სისტემებმა, რომელთა ღეროები წარმოადგენს სფეროში ჩახაზულ მრავალკუთხედების წიბოებს. სამკუთხა უჯრედებიან ბადეებზე დაფუძნებული გუმბათების აგების პრინციპი მდგომარეობს გუმბათის ზედაპირზე ბრტყელი ბადის დაპროექტებაში. ამისათვის გუმბათს ანაწევრებენ გარკვეული რაოდენობის ერთნაირ სივრცით სექტორებად, რომელთაგან თითოეული იყოფა უფრო პატარა სამკუთხა უჯრედებად.

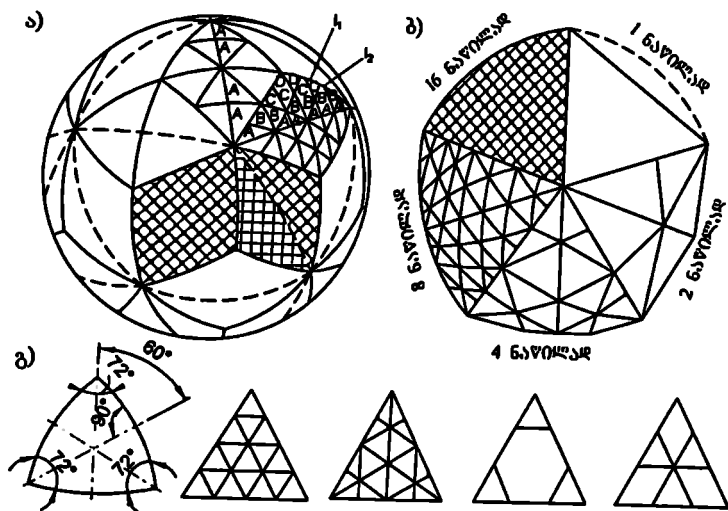
დაყოფის ეარსკვლაეა სისტემა (ფიოპლის გუმბათი) მიიღება შვედლერის სისტემიდან თითოეული ჰორიზონტალური რგოლის $\theta = \pi/n$ (n - გუმბათის წახნაგების რაოდენობა) კუთხით მობრუნებით (ფიგ. 179, დ). ეარსკვლაეა დაყოფის შემთხვევაში რგოლის ღეროების გარდა ყველა სხვა ღეროს აძლევენ ერთნაირ სიგრძეს, რის შედეგადაც ვიღებთ ჩებიშევის წესიერ ბადეს.

ჩივიტას სისტემაში (ფიგ. 179, ე) იარუსის ყველა კვანძი მდებარეობს ერთ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, რაც გუმბათის დაყოფისას საშუალებას იძლევა დაპროექტდეს რგოლებს შორის მანძილები, ან ერთ იარუსში რგოლის ელემენტების სიგრძეები, ერთნაირი სიდიდის.

მერიდიანული მიმართულებით განლაგებული ღეროების სიგრძეების ტოლობით გამოირჩევა ფიგ. 179, ვ-ზე გამოსახული რომბული ბადე, რომელიც აგებულია ჩებიშევის წესიერი ბადის საფუძველზე.

ერთი ტიპის ღეროვანი და საკვანძო ელემენტების მისაღებად ყველაზე მიზანშეწონილია დოდეკაედრისა (რ. ბ. ფულერის დაყოფა; ფიგ. 180, ა) და

იკოსაედრის სფერული ბადეების საფუძველზე აგებული გეოდეზიური გუმბათები (მ. ს. ტუპოლევის დაყოფა; ფიგ. 180, ბ).



ფიგ. 180. გეოდეზიური გუმბათების აგების სქემები

- ა - დოდეკაედრის საფუძველზე; ბ - წაკეთილი იკოსაედრის საფუძველზე;
 გ - სფერული სამკუთხედების შეესების ვარიანტები (A-D - დაყოფის ტიპები);

სფერული სამკუთხედების პატარა უჯრედებად დაყოფით შეიძლება მიღებულ იქნას სამკუთხა, ხუთკუთხა, ექვსკუთხა და რომბული სახის ბადეები, რაც ბადისებერ გუმბათებს ანიჭებს საინტერესო არქიტექტურულ ფორმებს (ფიგ. 180, გ). ერთსართველიან ბადისებერ გუმბათებს აპროექტებენ 150 მ-დე დიამეტრით, ხოლო ორსართველიანებს, $(1/100-1/150)D_{ფ}$ კვეთის შემთხვევაში, 600 მ-დე. გეოდეზიური გუმბათების ორი სქემის შედარებიდან ჩანს, რომ ღეროებისა და პანელების ტიპოზომების რაოდენობის მიხედვით უფრო რაციონალურია დოდეკაედრზე დაფუძნებული სქემები.

12.2. წიბოვანი და წიბოვან-რგოლური გუმბათების გაანგარიშება

წიბოვანი გუმბათები, რომლებიც შედგებიან კლიტეში (საჭეჭი, კეხი) შეერთებული თაღებისგან, წარმოადგენს მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევ სისტემას (ფიგ. 181, ა). მათი გაანგარიშება, მიახლოების საკმარისი ხარისხით, შეიძლება ვაწარმოოთ, როგორც სამსახსრიანი თაღების, რომლებიც შედგენილი არიან ორი ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მდებარე წიბოებისაგან. ვერტიკალური დატვირთვა საანგარიშო სამსახსრიან თაღზე, რომელიც აიღება სფერული ტრაპეციის ფართობის მიხედვით, შეიძლება შეიცვალოს სამკუთხა დატვირთვით, რომლის მაქსიმალური ორდინატა გარე პერიმეტრზე $q_{g,1} = g a_{inf}$ (a_{inf} არის საყრდენ რგოლზე წიბოებს შორის მანძილი). სიმეტრიული ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში განმზღვნი და საყრდენი რეაქცია საანგარიშო თაღში შეიძლება გამოისახოს ფორმულებით:

$$F_h = q_{g,1} D_{inf}^2 / 24f, \quad (145)$$

$$F_v = q_{g,1} D_{inf} / 4. \quad (146)$$

ღერძული მკუმშავი ძალვა თაღის წიბოში საყრდენი რგოლის დონეზე განისაზღვრება ფორმულით: $N = \sqrt{F_h^2 + F_v^2}$. წიბოების ხშირი განლაგების შემთხვევაში ($a_{inf} \leq 6$ მ) საანგარიშო თაღში წარმოქმნილი განმზღვნის გავლენა შეიძლება შეიცვალოს საყრდენი რგოლის ან ზედა რგოლის სიგრძეზე მოდებული თანაბრად განაწილებული დატვირთვით, შესაბამისად F_h/a_{inf} და F_v/a_{sup} .

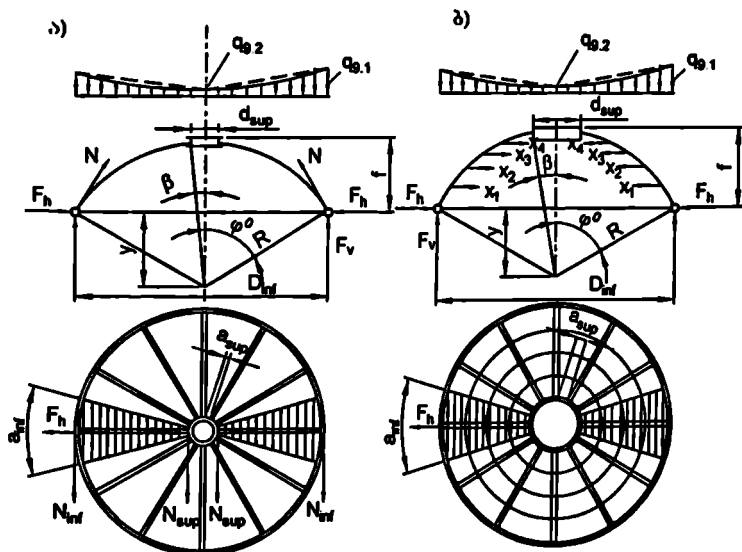
საყრდენ რგოლში გამჭიმავი და ზედა რგოლში მკუმშავი ძალები შესაბამისად ტოლია:

$$N_{inf} = F_h D_{inf} / 2a_{inf}, \quad (147)$$

$$N_{sup} = F_h d_{sup} / 2a_{sup}. \quad (148)$$

წიბოვან-რგოლური გუმბათის გაანგარიშება ღერძსიმეტრიულ დატვირთვაზე, წიბოვანი გუმბათის გაანგარიშების ანალოგიურად, დაიყვანება პირობითი საკოჭ-რგოლებიანი ბრტყელი სამსახსრიანი თაღის გაანგარიშებაზე, რის გამოც წიბოებში მცირდება ძალები, და შესაბამისად, მცირდება

მასალების ხარჯი (ფიგ. 181, ბ). ზუღმეტი უცნობების x_1, x_2 გაელენა განისაზღვრება კანონიკური განტოლებების სისტემის ამოხსნით.



ფიგ. 181. გუმბათების გაანგარიშებისთვის

ა - წიბოვანი; ბ - წიბოვან-რგოლური;

რეალური დაპროექტების დროს ყველა ტიპის გუმბათი აგრეთვე გაანგარიშდება არასიმეტრიულ ქარის და თოვლის დატვირთვებზე, ვინაიდან ეს დატვირთვები გუმბათებში იწვევს სახიფათო გამჭიმავ ძალებს რგოლური მიმართულებით და მნიშვნელოვან ადგილობრივ მღუნავ მომენტებს სისტემის წიბოებსა და რგოლებში.

12.3. ბადისებრი გარსების გაანგარიშება

ბადისებრი გუმბათების გაანგარიშებას აწარმოებენ უმომენტო თეორიის მიხედვით, რომლის გამოყენების პირობებია: გარსის დაყვანილი სისქის ცვლილების სიმდოვრე, მისი მერიდიანის სიმრუდის რადიუსის მუდმივობა, დატვირთვის ცვლილების სიმდოვრე, გუმბათის კიდეების თავისუფალი გადაადგილება რადიალური და წრიული მიმართულებით. ამ პირობებში

დერძიმეტრიული უწყვეტი (მთლიანი) თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედების შემთხვევაში ბადისებრი გუმბათის დაძაბული მდგომარეობა ხასიათდება მხოლოდ ნორმალური F_1 და F_2 ძალების წარმოქმნით, რომლებიც მოქმედებს შესაბამისად მერიდიანული და წრიული მიმართულებით (ფიგ. 182, ა).

უმომენტო სფერული გარსის წონასწორობის ძირითად განტოლებას აქვს სახე

$$F_1 + F_2 = pR, \quad (149)$$

სადაც $p = g \cdot \cos \varphi$ არის თანაბრად განაწილებული წნევა გუმბათის ზედაპირის ერთეულზე; g – თანაბარი დატვირთვა გუმბათის ზედაპირის გასწვრივ (ბადისებრი გუმბათის საკუთარი მასა, ფოლადით შესრულების შემთხვევაში მიახლოებით შეიძლება მიღებულ იქნას $g_m = (3-6) D_{inf}$ (კგ/მ²), ხოლო ალუმინის შენადნობების შემთხვევაში $g_m = (2-4) D_{inf}$ (კგ/მ²).

გუმბათის გეომეტრიული მახასიათებლები განისაზღვრება ფორმულე-ბით (ფიგ. 182, ბ):

$$R = (D_{inf}^2/8f) + f/2, \quad (150)$$

$$\sin \varphi_0 = 0.5 D_{inf}/R, \quad (151)$$

$$S_{inf} = \pi D_{inf}, \quad (152)$$

სადაც S_{inf} არის საყრდენი რგოლის სიგრძე.

მერიდიანული ძალეა რგოლის სიგრძის ერთეულზე, რომელიც მდებარეობს სფეროს ცენტრიდან y მანძილზე გუმბათის მოკვეთილი ნაწილის ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, შეიძლება განსაზღვროთ წონასწორობის განტოლებიდან:

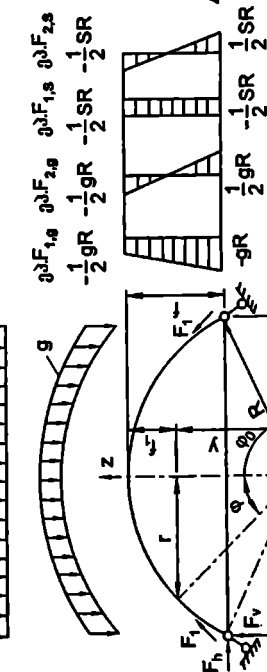
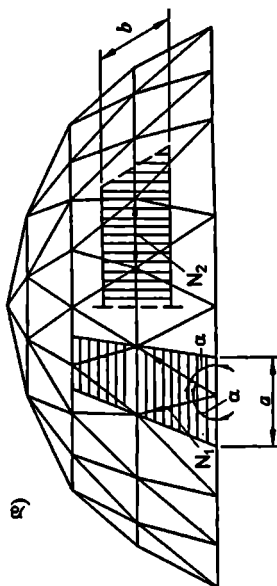
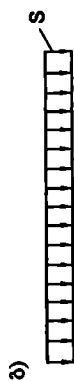
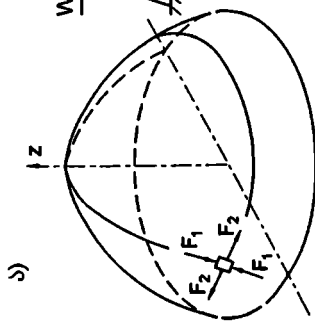
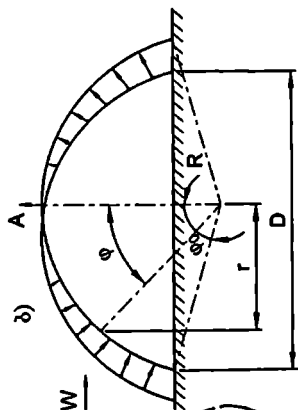
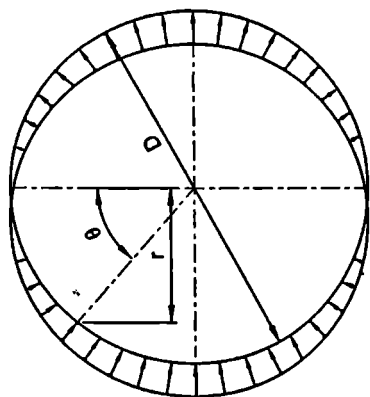
$$2F_1 \pi \sin \varphi = G = - g 2\pi R (R - y), \quad (153)$$

სადაც G არის გუმბათის მოკვეთილი ნაწილის წონა; φ – ცვლადი კუთხე გარსის მერიდიანულ კვეთში; r – პარალელის რადიუსი განსახილველი კვეთის დონეზე.

F_1 მიმართ (153)-ე განტოლების ამოხსნით მივიღებთ

$$F_1 = - gR/(1+\cos \varphi). \quad (154)$$

ხედი A



ფიგ. 182. ბადისებრი გარსების გაანგარიშებისთვის

რგოლური ძალვა მერიდიანის სიგრძის ერთეულზე, γ დონეზე, შეიძლება მივიღოთ (149)-ე განტოლებაში (154)-დან F_1 -ის მნიშვნელობის ჩასმით:

$$F_2 = -gR [\cos \varphi - 1/(1 + \cos \varphi)]. \quad (155)$$

თანაბრად განაწილებული თოვლის დატვირთვისაგან გამოწვეული, გუმბათის მოკვეთილი ნაწილის დონეზე მოქმედი F_1 -ის და F_2 -ის ძალების მნიშვნელობები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$F_{1,s} = -SR/2; \quad (156)$$

$$F_{2,s} = -SR \cos 2\varphi / 2, \quad (157)$$

სადაც S არის საანგარიშო თოვლის დატვირთვა გუმბათის პორიზონტალური ზედაპირის 1 მ²-ზე.

გუმბათზე ქარი მოქმედებს ზედაპირის მიმართ ნორმალურად, ირიბსიმეტრიული სქემით (ფიგ. 182, გ).

სფერულ გარსში ქარის ზემოქმედებისაგან გამოწვეული რადიალური და რგოლური ძალები შეიძლება განისაზღვროს ფორმულებით:

$$F_{1,w} = wR \cos \varphi \sin \theta (2/3 - \cos \varphi + \cos^3 \varphi) / \sin^3 \varphi, \quad (158)$$

$$F_{2,w} = wR \sin \theta [\sin \varphi - \cos \varphi (2/3 - \cos \varphi + \cos^3 \varphi) / \sin^3 \varphi], \quad (159)$$

სადაც w – საანგარიშო ქარის დატვირთვა 1 მ² ვერტიკალურ ზედაპირზე გუმბათის ფუძის დონეზე.

საანგარიშო ზოლების a და b სიგანის გათვალისწინებით (ფიგ. 182, დ), დატვირთვის ყოველი სახისგან შეიძლება მივიღოთ საანგარიშო ძალები მერიდიანული და რგოლური მიმართულების დეროვებში, ფორმულებით:

$$N_1 = F_{1a} / 2 \cos \alpha, \quad (160)$$

$$N_2 = F_{2b}. \quad (161)$$

გუმბათის მდგრადობის შესანარჩუნებლად ვერტიკალურ სიბრტყეში აუცილებელია შემდეგი პირობის შესრულება:

$$N_1 \leq N_{cr}, \quad N_{cr} = E \sqrt[3]{J^2 a / 2R}; \quad (162)$$

სადაც J არის გუმბათის კვეთის ინერციის მომენტი a მერიდიანული ზოლის სიგანეზე, ერთსართყელიანი და ორსართყელიანი გუმბათებისთვის შესაბამისად განისაზღვრება ფორმულებით:

$$J = \pi (d_s^4 - d_i^4) / 64, \quad (163)$$

$$J = A h^2 / 2, \quad (164)$$

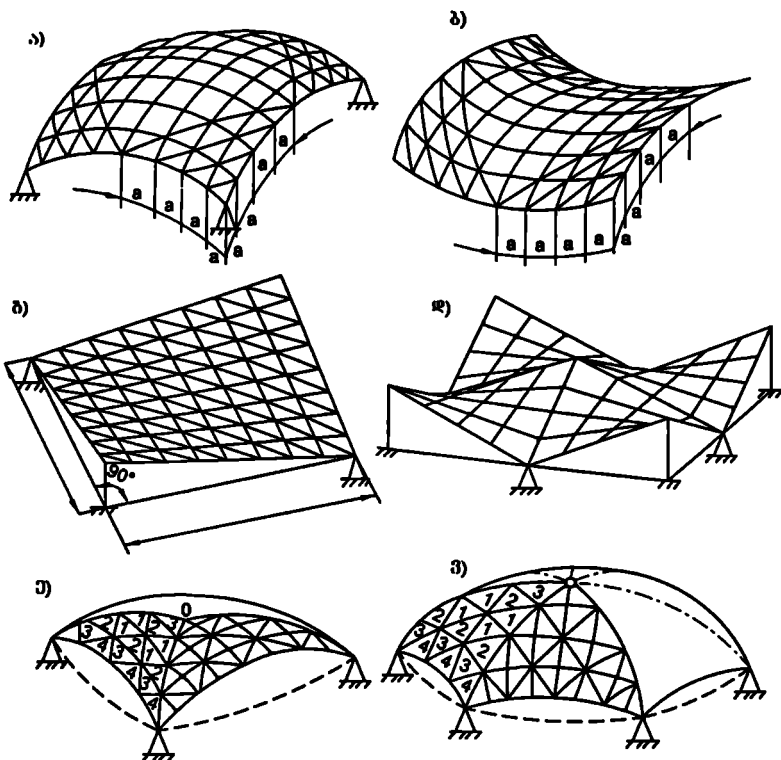
სადაც d_s და d_i არის მილის გარე და შიდა დიამეტრები; A – სარტყელის განივი კვეთის ფართობი.

12.4. ბადისებრი ბარსების ტიპები და მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტები

ბადისებრი გარსები წარმოადგენს ერთი ტიპის ღეროვანი და საკვანძო ელემენტების გამოყენებაზე დაფუძნებულ კონსტრუქციას. ბადისებრ გარსს, როგორც წესი, აქვს დაცენტრირი გეგმა და მიიღება სფეროდან, გეგმაში კვადრატული, სამკუთხა ან ექვსკუთხა ფორმის ამოკვეთით (დადებითი გაუსის სიმრუდის გარსები) ან ბრუნვის პიპერბოლოიდის ზედაპირიდან კვადრატული ან რომბული ფორმის ამოკვეთით (უარყოფითი გაუსის სიმრუდის გარსები) (ფიგ. 183).

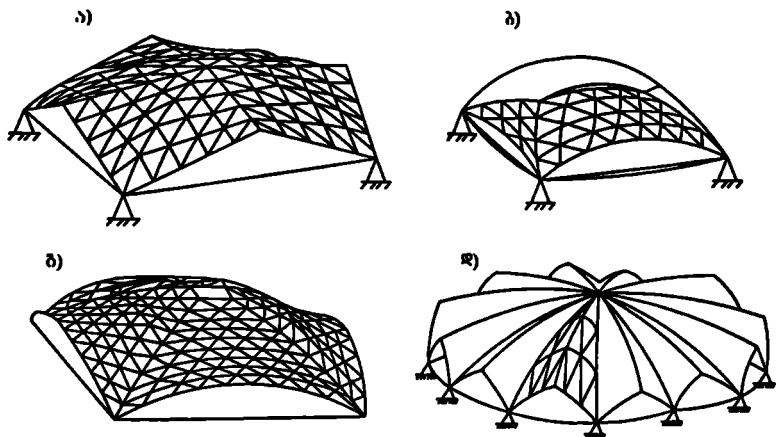
დადებითი გაუსის სიმრუდის (ფიგ. 183, ა) დამრეცი ბადისებრი გარსების დაყოფის ძირითადი ხერხი მდგომარეობს საწყის ზედაპირზე ჩებიშევის წესიერი ბადის დატანაში, რომელიც წარმოადგენს ორთოგონალურ მსახველებზე დამაგრებულ, ერთი სიგრძის მოპირდაპირე გვერდების მქონე უჯრედებს. ბადის ოთხკუთხა უჯრედების კუთხურ ზონებში ყენდება გამჭიმავი რგოლური ძალებების ამთვისებელი დიაგონალური ღეროები.

პიპერბოლური პარაბოლოიდის სახის ბადისებრ გარსებში (ფიგ. 183, ბ-დ) ზედაპირის დაყოფა ხორციელდება მართკუთხა კონტურის გვერდების პარალელური სწორხაზოვანი მსახველებით, რაც საშუალებას იძლევა რამდენიმე ელემენტალური სექციისაგან აიგოს სხვადასხვა ფორმის გადახურვები და შენარჩუნებული იქნას ღეროვანი და საკვანძო ელემენტების ტიპურობა. გეგმაში ნებისმიერი ფორმის ბადისებრი გარსის საინტერესო ფორმები შეიძლება მივიღოთ დახრილი მსახველების მეთოდის გამოყენებით. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს ბრუნვით ზედაპირზე მუდმივი კუთხური ბიჯით მრუდი ხაზების დატანაში, რომლებიც არ ემთხვევა მერიდიანებსა და პარალელებს (ფიგ. 183, ე, ვ).



ფიგ. 183. ბადისებრი გარსების წარმოქმნის სქემები (1-4 - დაყოფის ტიპები)

ბრტყელი დახრილი მსახველების ბადე საშუალებას იძლევა აიგოს გარსების რთული ზედაპირები, რომლებიც შედგებიან კვადრატული ან მრავალკუთხა გეგმის მქონე ბრუნვის ჰიპერბოლოიდის სამკუთხა (ფიგ. 184, ა) და ტრაპეციისებრი (ფიგ. 184, ბ) ფრაგმენტებისგან, აგრეთვე რთული გარსები სფეროს ტიპის სამკუთხა და ტრაპეციისებრი ფრაგმენტებისგან (ფიგ. 184, გ, დ). ახალი ტიპის ბადისებრი გარსები შეიძლება გამოყენებული იქნას მალეების ფართო დიაპაზონში (30–150 მ). 60 მ-ზე მეტი მალეების შემთხვევაში მათი სიხისტიკა და მდგრადობის გასაზრდელად რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნას გისოსის ორბადიანი სტრუქტურა, კვეთის მალთან ფარდობით $1/100-1/150$.



ფიგ. 184. რთული გარსების სქემები, რომლებიც წარმოიქმნებიან დახრილი მსახველებით

12.5. დამრეცი ბადისებრი გარსების ბაზანბარიშება

გეგმაში კვადრატული დამრეცი სფერული გარსი, მუდმივი სიმრუდით:

$$R_x = R_y = R = (r^2/8f) + f/2, \quad (165)$$

რომელიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული დატვირთვით g . შეიძლება გაანგარიშებული იქნეს მიახლოებით, უმომენტო თეორიის მიხედვით, როგორც ორი მიმართულებით მომუშავე კამარა (ფიგ. 185). ამისათვის ბადისებრი გარსს ორი მიმართულებით ანაწევრებენ 1 მ სიგანის ზოლოვან-თაღებად, რომელთა ბოლოებზე განისაზღვრება ვერტიკალური საყრდენი რეაქციები და განმზღვნი, ფორმულებით:

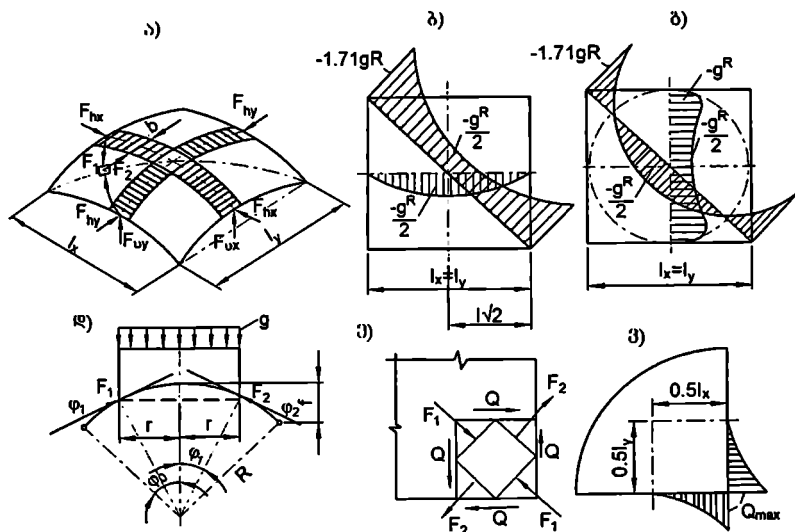
$$F_{v,x} = F_{v,y} = gl/4; \quad (166)$$

$$F_{h,x} = F_{h,y} = gr^2/16f. \quad (167)$$

თაღების ბოლოებში გრძივი მკუმშავი ძალები

$$F_1 = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}. \quad (168)$$

გარსის კვადრატულ მოხაზულობაში ჩახაზული, წაკვეთილი სფერული სეგმენტის ფარგლებში, მუდმივი და თოვლის დატვირთვებისგან გამოწვეული მერიდიანული და რგოლური ძალები, ბადისებრი გარსების მსგავსად, შეიძლება განისაზღვროს შესაბამისად (154 – 157) ფორმულებით.



ფიგ. 185. ბადისებრი დამრეცი გარსის გაანგარიშებისათვის

ფიგ. 185, ბ, გ-ზე მოყვანილია გეგმაში კვადრატულ გარსში, მუდმივი თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული, ზუსტი მეთოდით გაანგარიშებული ძალების ეპიურები. ამ ეპიურებიდან ჩანს, რომ დამრეც გარსში არსებობს ორღერძა კუმშვის არე, და მხოლოდ კუთხურ ზონებში, დიაგონალის ღერძის პერპენდიკულარულად, წარმოიქმნება მთავარი გამჭიმავი ძალები მაქსიმალური მნიშვნელობით $F_2 = 1.71gR$ და მათ მიმართ პერპენდიკულარული მთავარი მკუმშავი ძალები $F_1 = -1.71gR$. დამრეც გარსზე მოქმედი საერთო გარე დატვირთვა წონასწორდება კონტურის დიაფრაგმის ზედა სარტყელის გასწვრივ მოდებული ძერის ძალების Q ვერტიკალური პროექციების ჯამით (ფიგ. 185, ე, ე).

ნახ. 185, ბ, გ-ზე გამოსახული ეპიურების შესაბამისად, ძერის ძალის მაქსიმალური ორდინატა წარმოიქმნება გარსის კუთხეში (ფიგ. 185, ე) და აქვს შემდეგი სახე:

$$Q_{max} = \sqrt{2(1.71gR)^2} / \sqrt{2} = 1.71gR. \quad (169)$$

განსახილველ კვეთში, საანგარიშო ძალები ბადისებრი კონსტრუქციის ღეროებში, მათი ბიჯის გათვალისწინებით, განისაზღვრება ბადისებრი გუმბათების ანალოგიურად ფორმულებით (160) და (161).

დამრეცი გარსის დიაფრაგმა მიახლოებით შეიძლება გაანგარიშდეს როგორც ჩვეულებრივი საკოჭიანი ორსახსრიანი თალი ან სეგმენტური ფერმა, რომელიც დატვირთულია $q=F$, ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული დატვირთვით.

დამრეცი გარსის მდგრადობა უზრუნველყოფილი იქნება, თუ დაცული იქნება პირობა

$$g \leq g_{cr}, \text{ სადაც } g_{cr} = 10^4 E \sqrt{J^2/a^2} / R^2. \quad (170)$$

12.6. ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის (ჰიპარის) ფორმის ბადისებრი ბარსების ბანაბარიშება

ჰიპარის ფორმის გარსი, თანაბრად განაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას, იმყოფება დაძაბულ მდგომარეობაში, რაც ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში ხასიათდება ძალების ტოლობით $F_1 = F_2$ (ნახ. 186, ა, ბ). ამასთან, ჩაზნექილი პარაბოლის მიმართულებით (ფიგ. 186, დ) წარმოიქმნება გამჭიმავი ძალები, ხოლო ამოზნექილის (ფიგ. 186, ე) მიმართულებით – მკუმშავი.

ბადისებრ გარსში და სასაზღვრე (კიდურ) სარტყელში დრეკადი დეფორმაციების გაელენის უზულებელყოფით, შეიძლება დავეუშვათ, რომ თანაბრად განაწილებული დატვირთვა სრულად წონასწორდება ორი მიმართულების დიაგონალურ თაღებში წარმოქმნილი ნორმალური ძალებით.

იმის გათვალისწინებით, რომ გარსზე მოქმედი დატვირთვა ერთდროულად მოდებულია ორივე თაღზე, შეიძლება განისაზღვროს გამჭიმავი და მკუმშავი ძალების მნიშვნელობები 1 მ სიგანის თაღებში

$$F_1 = F_2 = 0.5g (\sqrt{2} \cdot l)^2 / 8f = gl^2/8f. \quad (171)$$

ჰიპერბოლური გარსები ხასიათდებიან მუდმივი ინტენსიობის ძერის ძალებით, რომლებიც ტოლია $Q = F_1 = -F_2$ (ფიგ. 186, გ). მაქსიმალური მკუშში ძალა ბორტის (კიდურ) ელემენტში $N_{b, \max}$, მისი პოროზონტთან დახრის კუთხის გათვალისწინებით, წარმოიქმნება საყრდენთან, როგორც ძერის ძალების ჯამი ბორტის (კიდური) ელემენტის სიგრძეზე

$$N_{b, \max} = Q / \cos \alpha \quad (172)$$

ვერტიკალური საყრდენი რეაქცია, ჰიპარის ორ საყრდენზე დაყრდნობის შემთხვევაში, განისაზღვრება ფორმულით

$$F_v = g l^2 / 2. \quad (173)$$

განმზეენი, რომელიც მიმართულია ერთფურცლიანი ჰიპარის საყრდენი დიაგონალის მიმართულებით (ფიგ. 186, ა), ტოლია

$$F_h = 2 N_{b, \max} / \cos 45^\circ. \quad (174)$$

ოთხფურცლიან ჰიპარში საყრდენი რეაქცია და ძალა საკოჭში შესაბამისად ტოლია:

$$F_v = 4 g l^2 / 4 = g l^2, \quad (175)$$

$$F_h = N_{b, \max} / \cos \alpha \quad (176)$$

ოთხფურცლიან ჰიპარში საერთო ბორტის (კიდური) ელემენტი გაანგარიშდება ჯამურ მკუშში ძალაზე დამწვევი (შემაძირებელი) 0.85 კოეფიციენტის გათვალისწინებით, რომელიც ითვალისწინებს სასაზღვრო ეფექტს ჰიპარის ფურცლების შეუღლებისას

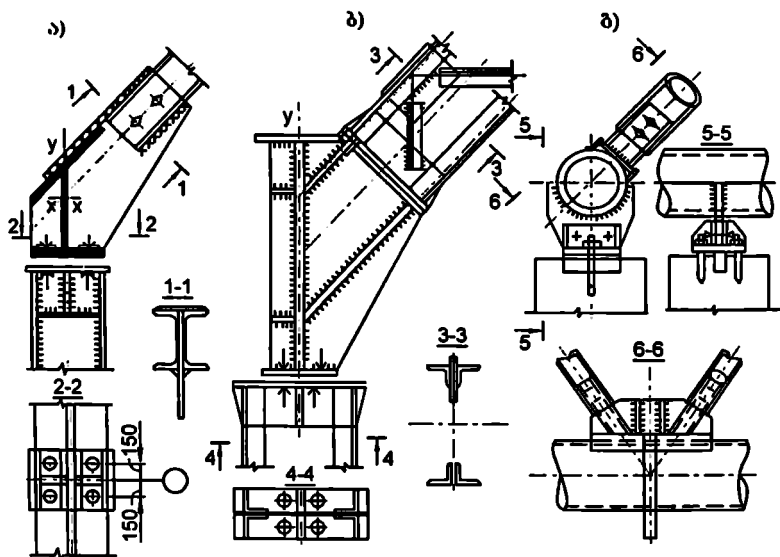
$$N = 2 N_{b, \max} 0.85. \quad (177)$$

ძალები გარსის ცალკეულ ორთოგონალურ და დიაგონალურ ღეროებში, მათი ბიჯის გათვალისწინებით, განისაზღვრება ნახ. 186, ვ, ზ გათვალისწინებით.

12.7. გუმბათებისა და გადახრილი ბარსების კონსტრუქცია

წიბოვანი და წიბოვან-რგოლური გუმბათები შედგება მთლიანი ან გამჭოლი, ბრტყელი ან სივრცითი წიბოებისაგან, რომლებიც თავისი კონსტრუქციით გვანან მთლიან ან გამჭოლ თაღებს. წიბოები (თაღები)

საყრდენი კონტურით შეუღლებულია ლითონის (ფიგ. 187) ან რკინაბეტონის საყრდენ რგოლთან, რომელიც მუშაობს ღუნვაზე ორ ურთიერთმართობ სიბრტყეში $x-x$ და $y-y$.



ფიგ. 187. გუმბათის წიბოების საყრდენ რგოლთან შეუღლების კვანძები

ა - ერთსართყელიან წიბოვან გუმბათებში; ბ - ორსართყელიან წიბოვან გუმბათებში;
გ - ბადისებრ გუმბათებში

რგოლის სიმაღლე აიღება სვეტებს შორის მანძილის $1/10-1/15$, ხოლო სიგანე - არანაკლებ კვეთის სიმაღლის $1/5$. წიბოების ხშირი განლაგების (3-6 მ) შემთხვევაში, საყრდენ რგოლს გეგმაში აქვს წრეწირის ფორმა; უფრო მეჩხერი განლაგებისას - მრავალკუთხედის ფორმა. რგოლის მრავალკუთხა ფორმის შემთხვევაში გუმბათის წიბოები რგოლთან შეუღლებული არიან გადატეხის კვანძებში.

საყრდენ სვეტებს შორის შუალედებში წიბოების შეუღლება რგოლთან რეკომენდებული არ არის მნიშვნელოვანი მღუნავი მომენტების წარმოქმნისა და ფოლადის გაზრდილი ხარჯის გამო. გუმბათის წვეროში საყრდენი რგოლის ანალოგიურად აპროექტებენ ზედა შეკუმშულ რგოლს. რადიალური წიბოების შეუღლება ზედა და ქვედა რგოლებთან შეიძლება იყოს ხისტი ან სახსრული. სახსრული შეერთების შემთხვევაში ზედა რგოლის სიხისტისა და

მდგრადობის გასაძლიერებლად რგოლს აძლიერებენ შიდა განმზღვრებით. წიბოვან გუმბათებში გრძივებს, როგორც წესი, აპროექტებენ შეელერის ტიპის ნალუნი პროფილების სახით, რომლებიც გუმბათის წიბოებს მივმაგრება ჭანჭიკებით სახსრულად.

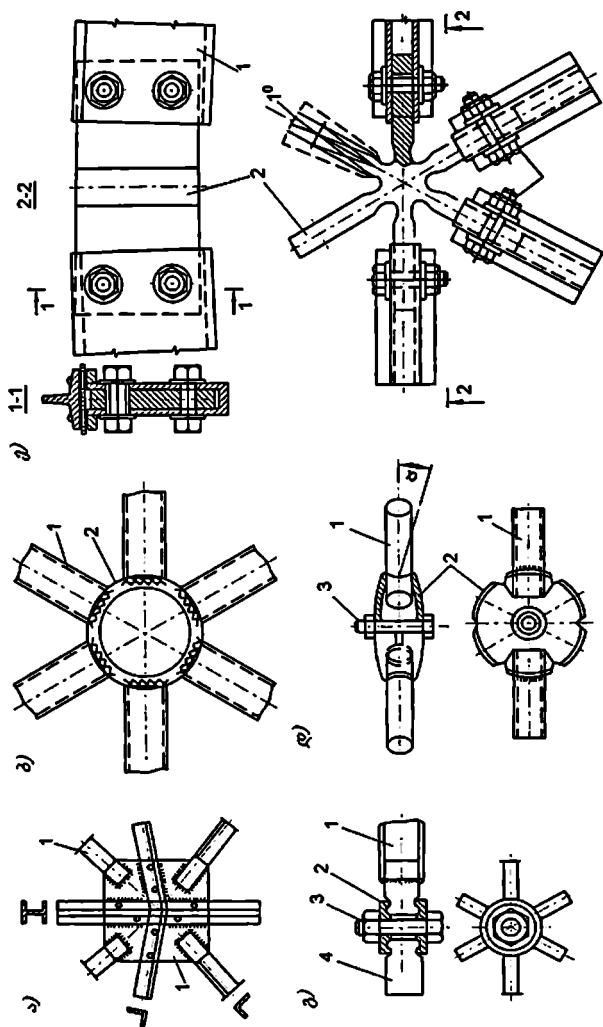
წიბოვან-რგოლურ გუმბათებში გრძივები კეთდება როგორც ნაგლინი პროფილებით, ასევე პარალელურსარტყელებიანი მსუბუქი გისოსოვანი წამწეების სახის. გრძივის ჩამაგრება კოჭოვანი უჯრედის კვანძების ტიპის მიხედვით სახსრული ან ხისტია, მაგრამ გაანგარიშებულია რგოლური ძაღვების ათვისებაზე.

ბადისებრ გუმბათებსა და გარსებში საკვანძო შეერთებას აქვს გადამწევეტი მნიშვნელობა მასალატევადობის, დამზადებისა და აწყობის შრომატევადობის, აგრეთვე ღირებულების განსაზღვრისას. გამოიყოფა საკვანძო შეერთებების გადაწყვეტის სამი ძირითადი ჯგუფი, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდება ღეროების შეერთების პრინციპებითა და ღეროვანი ელემენტების ორიენტაციის შესაძლებლობებით.

პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება საკვანძო შეერთებები, რომელთა ღეროები ორიენტირებულია საკვანძო ელემენტის მხებ სიბრტყეზე. ასეთ შეერთებებში საკვანძო ფასონურები კეთდება სწორკუთხა (ფიგ. 188, ა), წრიული ან ნებისმიერი სხვა ფორმის დაშტამპული ფურცლებისაგან.

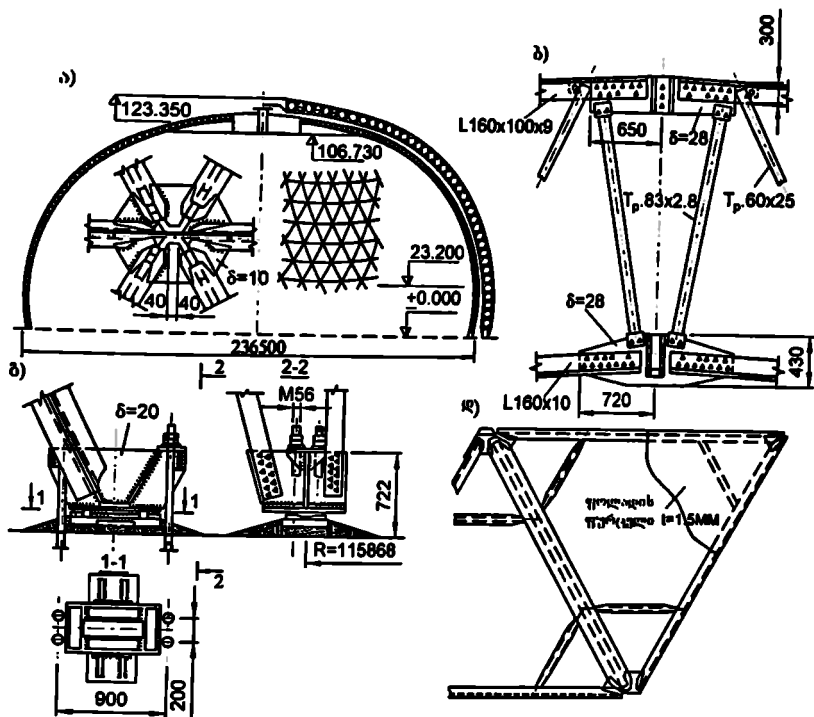
მეორე ჯგუფის საკვანძო შეერთების ტიპური მაგალითია ფიგ. 188, ბ-ზე გამოსახული კვანძი, რომელშიც ღეროები ორიენტირებულია ბრუნვით სხეულზე – ღრუ სფერულ ფასონურაზე. ბრუნვით სხეულად აგრეთვე შეიძლება გამოყენებული იქნას ცილინდრი, ტორი, კონუსი ან მრავალკუთხედი (იხ. ფიგ. 204, 205).

ბადისებრი გარსებისა და გუმბათებისათვის ყველაზე მოსახერხებელია მესამე ჯგუფის საკვანძო შეერთებები, რომლებშიც ღეროები ქმნიან კონას და გადაიკვეთებიან ნორმალთან დამთხვეულ წირზე. ცნობილი გადაწყვეტიებიდან ამ ჯგუფს მიეკუთვნება “იფი”-ს და “ტრიოდეტიკი”-ს კვანძები (იხ. ფიგ. 204), აგრეთვე გაბრტყელებული მიღების შეერთების კვანძები ვანური შედუღებით (იხ. ფიგ. 205) და კვანძები რადიალურად განშლადი ფასონურებით (ფიგ. 188, ე). კვანძის მხებ სიბრტყეში ღეროებს შორის 7°-ის ფარგლებში კუთხეების ცვლილება მიიღწევა ფასონურას ფურცლის გადაღუნვით, რასაც ხელს უწყობს ყელის არსებობა თითოეულ ფურცელზე.



ფიგ. 188. ერთსარტყლიანი ბადისებრი გუმბათების კავანები

ა - ბრტყელი დაშტამბული ფასონრები; ბ - სვერული ღრუ ფასონრები; გ - ЦНИИИск-ს სისტემა; დ - სისტემა "Zeiss"; ე - დაშტამბული სვერული ფასონრები; 1 - დეროვანი ელემენტები; 2 - საკვანძო ელემენტები; 3 - მუშა ჯანჭიკები; 4 - ბუნიკი



ფიგ. 189. 236.5 მ დიამეტრის ბადისებრი გუმბათის კონსტრუქციების მაგალითი

ბადისებრი გუმბათების ასაწყობი ელემენტების ქარხნული მზაობის დონის ამაღლებამ გამოიწვია სამკუთხა, რომბული და ექვსკუთხა ფორმის პანელური კონსტრუქციების შექმნა, რომლებიც პერიმეტრზე მოჩარჩოებულია ხისტი წიბოებით. მოჩარჩოებული წიბოების კედლების გრესაზე დაბალი სიხისტის გამო, პანელები ერთმანეთთან მჭიდროდ მაგრდება ჭანჭიკებით წახნაგების სიგრძეზე, მობრუნდებიან რა ერთმანეთის მიმართ განსაზღვრული კუთხით. საკვანძო შეერთებები კეთდება ჭანჭიკებით, რადიალურად განშლადი საკვანძო ფასონურების გამოყენებით.

ასეთი გადაწყვეტის მაგალითია ბრუნვის ელიფსოიდის ფორმასთან მიახლოებული ბადისებრი გარსი, ეკვატორზე დიამეტრით 236.5 მ (ფიგ. 189).

თავი 13. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები

13.1. ზოგადი ცნობები.

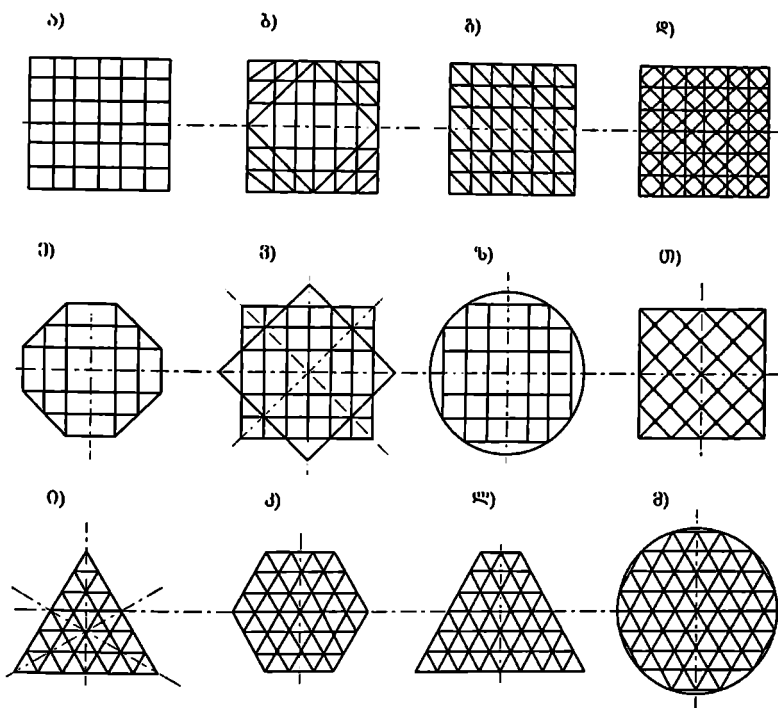
ზამბის პრინციპები

ჯვარედინ-ღეროვანი ეწოდება გადახურვის სივრცით კონსტრუქციას, რომელიც შედგება გადაკეთის კვანძებში ერთმანეთთან გადაბმული (დაკავშირებული) კოჭებისა და წამწებისაგან, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე ორი ან მეტი მიმართულებით. ამ ელემენტების ფორმისა და შეერთების ხასიათიდან გამომდინარე, ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები შეიძლება დაიყოს ჯვარედინა კოჭებად ან წამწებად, ჯვარედინ-ღეროვან ფილებად, ფირფიტოვან-ღეროვან სისტემებად. ჯვარედინა კოჭები ან წამწები შედგება ორი ან სამი მიმართულებით გადამკვეთი ვერტიკალური წიბოებისგან (კოჭების ან წამწებისგან) (ფიგ. 190).

გადასახური გეგმის გვერდების მიმართ წიბოების განლაგების მიხედვით, განასხვავებენ ორთოგონალურ (ფიგ. 190, ა-ზ); დიაგონალურ (ფიგ. 190, თ) და სამკუთხა (ფიგ. 196, ი-მ) სისტემებს.

ორთოგონალური და დიაგონალური სისტემები, ბრტყელი წიბოების მცირე გრესითი სიხისტის გამო, არ აღიქვამენ მგრეს მომენტებს, ამიტომ ისინი უფრო ლითონტევადია, ვიდრე სამკუთხა სისტემები. ორთოგონალურ და დიაგონალურ სისტემებში გრესით სიხისტეს ზრდიან დიაგონალური ღეროების დაყენებით სარტყელების ბადეების კუთხურ ზონებში (ფიგ. 190, ბ), სადაც მოქმედებს მაქსიმალური მპერელი ძალები, ან კონსტრუქციის მთელ გეგმაზე (ფიგ. 190, გ, დ).

ჯვარედინ-ღეროვანი ფილების კონსტრუქცია შედგება მრავალჯერ განმეორებადი ელემენტარული უჯრედებისგან (პირამიდები, პრიზმები და ა.შ.), რომელთა აგებაც ეფუძნება კრისტალოგრაფიის კანონებს (ფიგ. 191). ასეთ კონსტრუქციებს უწოდებენ რეგულარულ სისტემებს (ფიგ. 191, ა, ბ). გეომეტრიული სტრუქტურის დარღვევისას, მაგალითად, კონსტრუქციის საზენიტო ფარნიბიან ზონებში ცალკეული გამოტოვებული ღეროების შემთხვევებში, სისტემა ხდება არარეგულარული, ხოლო ორგანიზებული არარეგულარობისას – დიფერენცირებული (ფიგ. 191, გ-ზ, კ, ლ).



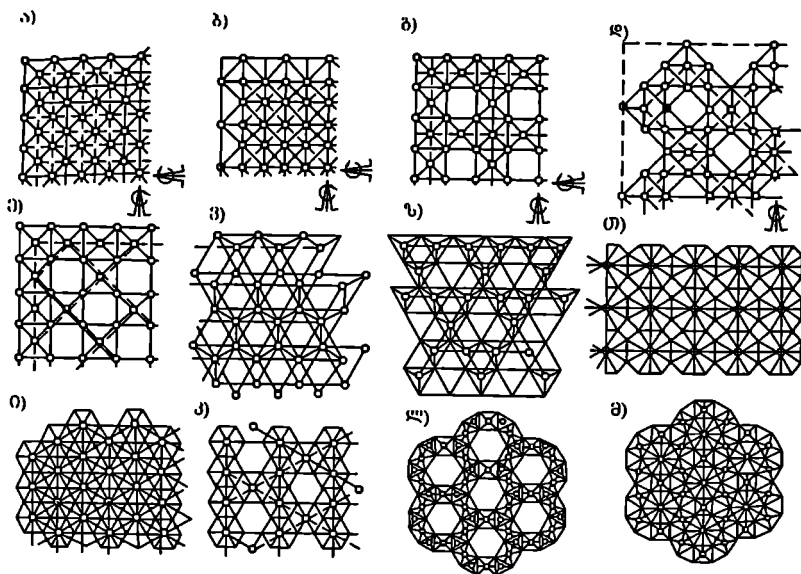
ფიგ. 190. ვერტიკალური ჯვარედინი კოჭებითა და წამწებებით გადახურვის ძირითადი სქემები

დღესდღეობით, მშენებლობის პრაქტიკაში, უფრო მეტად გავრცელებულია პენტაედრებზე (ნახევაროქტაედრებზე) დაფუძნებული რეგულარული ორთოგონალური ღეროვანი სისტემები (ფიგ. 191, ა) და ტოლგვერდა სამკუთხა ტეტრაედრებზე დაფუძნებული რეგულარული სისტემები (ფიგ. 191, ე).

ჯვარედინ-ღეროვანი ფილების ზედა და ქვედა სარტყელის ბადეებს შეიძლება ჰქონდეთ ერთნაირი ან განსხვავებული აგებულება (ფიგ. 191, გ-ე), რაც მნიშვნელოვნად მოქმედებს სისტემაში წარმოქმნილ მლუნავ და მგრეხ მომენტებზე, აგრეთვე მის ლითონტევადობასა და დამზადების შრომატევადობაზე.

მნიშვნელოვან ინტერესს წარმოადგენს ნაკლებად შესწავლილი სისტემები – ზედა ორთოგონალურად და ქვედა დიაგონალურად

განლაგებული სარტყელების ბადეებით (ფიგ. 191, ე). მათში, ზედა შეკუმშულ ღეროებს აპროექტებენ მოკლებს, ხოლო ქვედა გაჭიმულებს – გრძელებს; საკვანძო შეერთებების რიცხვი, რომელიც განსაზღვრავს დამზადების შრომატევადობას, მცირდება 20-25%-ით. ასეთივე ღირსებებით ხასიათდება უფრო რთული ბადეებიც სისტემებში, რომლებიც შედგებიან ექვსკუთხა და რვაკუთხა საფუძველზე შექმნილი პირამიდებისაგან (ფიგ. 191, კ-მ).



ფიგ. 191. წესიერი და ნახევრად წესიერი მრავალკუთხედებისგან შედგენილი ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების სქემები

ჯვარედინ-ღეროვანი ფილებით გადასახური გეგმების დიდი მრავალფეროვნება შეიძლება მიღწეულ იქნეს კვადრატული, სამკუთხა და ექვსკუთხა ფუძეებიანი პირამიდებისაგან გადახურვის კომბინირებული გადაწყვეტის გზით (ფიგ. 191, ლ, მ). ფირფიტოვან-ღეროვანი (კესონური) სისტემები შედგებიან თხელკედლიანი ალუმინის პირამიდებისაგან, რომლებიც ასრულებენ შუა ფენის როლს ორსართყელიან კონსტრუქციებში, რაც მათ ანიჭებს დიდ სიხისტეს. თხელკედლიან პირამიდებს, კვადრატული ან სამკუთხა ფუძით, ძირითადად ამზადებენ ალუმინის შენადნობებისაგან.

პირამიდის მდგომარეობიდან გამოშვებულ - წვეროთი ზევით ან ქვევით - კესონის ფუძის გაძლიერებული წიბოები მუშაობენ როგორც სისტემის ზედა ან ქვედა სარტყელები, ხოლო მეორე სარტყელს წარმოქმნის პირამიდის წვერობებში სახსრულად ჩამატებული ღეროვანი ელემენტები.

თხელკედლიანი პირამიდებისაგან შემდგარი კონსტრუქციების გაერთმთლიანებული სქემები თანხედრობაში არიან ჯვარედინ-ღეროვანი ფილების სქემებთან. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები ეწინააღმდეგება სისტემის ნებისმიერ წერტილში მოდებულ და ნებისმიერი მიმართულებით მოქმედ გარეგან ძალებს.

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციის სივრცითი მუშაობიდან გამომდინარე, ძალები გადანაწილება მაქსიმალურად დატვირთულ და ნაკლებად დატვირთულ ელემენტებს შორის. შედეგად, მაღლდება საექსპლუატაციო საიმედოობა და მცირდება კონსტრუქციის მგრძნობიარობა დიდი შეყურსული დატვირთვების, სეისმური ზემოქმედებების, მოძრავი დატვირთვების და ა.შ. მიმართ. გარდა ამისა, ამ კონსტრუქციებს აქვთ მაღალი სიხისტე, რაც აუცილებელ შემთხვევებში 10 ტონამდე ტვირთამწეობის ამწე-მოწეობილობების დაკიდებისა და შენობის ექსპლუატაციის პროცესში საყრდენების გადაადგილების, ასევე ჩვეულებრივი წამწეებით გადახურვის სიმაღლესთან შედარებით კონსტრუქციის გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის ორჯერ შემცირების საშუალებას იძლევა.

სივრცითი კონსტრუქციების სხვა ტიპებისაგან განსხვავებით, ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები უზრუნველყოფს თოვლის ნაკლებადდამაკავებელი, მზისგან დამცავი, წყალმდინარე ბრტყელი სახურავების მოწყობის სიმარტივეს, ხოლო ქვედა ბრტყელი ზედაპირი, კვანძების ხშირი ბიჯით, აიოლებს მსუბუქი შეკიდული ჭერის და, ტრანსფორმირებადი კედლებისა და ტიხრების მოწყობას.

ჯვარედინ-ღეროვანი ფილები, შედგება რა სრული საქარხნო დამზადების მცირე ზომის უნიფიცირებული ღეროებისა და საკვანძო ელემენტებისაგან, განსხვავებულ კონსტრუქციულ ფორმებში ელემენტების ურთიერთშენაცვლების საშუალებას იძლევა, რაც ხელს უწყობს მათ მასიურ წარმოებას მაღალმწარმოებლურ ნაკადურ-მექანიზებულ ხაზებზე და დამკვეთის განაცხადის მიხედვით შემდგომ დაკომპლექტებას. კონსტრუქციის გასაგზავნი მარკების მცირე ზომისა და მასის წყალობით, ხორციელდება მათი

კომპაქტური ტრანსპორტირება ნებისმიერი სახის ტრანსპორტით, ადვილად იწყობა მსხვილ ბლოკებად ხელით მიწაზე და მუშა ნიშნულზე მონტაჟდება მსუბუქი თვითმავალი ამწეების, ჯალამბრების ან ბლოკების დახმარებით.

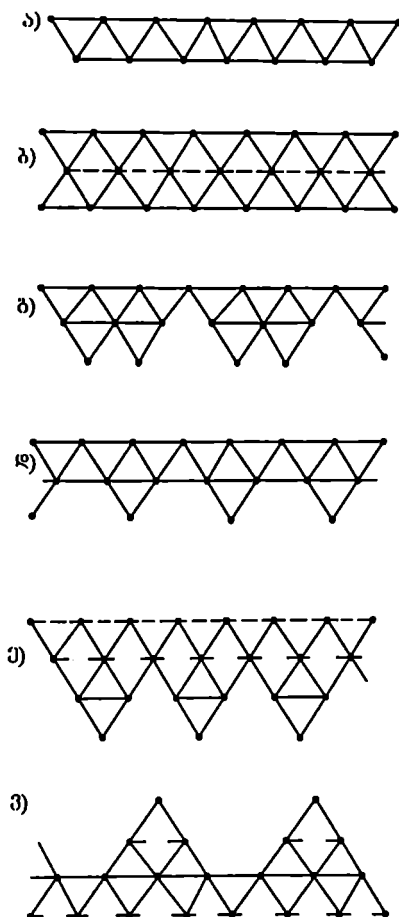
ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები გამოირჩევა კარგი არქიტექტურულ-ესთეტიური თვისებებით, რაც შეკიდული ჭერის გარეშე მათი გამოყენების საშუალებას იძლევა არა მარტო სამრეწველო, არამედ საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებშიც. ცნობილია ასეთი კონსტრუქციების რაციონალურად გამოყენების შემდეგი სფეროები: სამრეწველო მშენებლობაში – ერთსართულიანი ცალკე მდგომი და ბლოკირებული უნივერსალური დანიშნულების საწარმოო შენობები, ანგარები; სამოქალაქო მშენებლობაში – დიდი სპორტული დარბაზები, საგამოფენო პავილიონები, დახურული ბაზრები, თეატრებისა და კინოთეატრების გადახურვები, ტექნიკური მომსახურების სადგურები, გარაჟები; სასოფლო-სამეურნეო მშენებლობაში – სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის სარემონტო მექანიკური სახელოსნოები; დახურული სადგომები, საზოგადოებრივი ნაგებობები.

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების კარკასების შევსებისათვის ეკონომიურად გამართლებულია შემსუბუქებული ფენილების – დამატებით მსუბუქ გრძივებზე დაპროფილებული ფოლადის ფურცლის ან მერქანბურბუშელის ფილის, ბრტყელი აზბესტცემენტის ფურცლის, ფანერის და მსგავსი შემონაკერის კარკასული ფარების გამოყენება.

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების ოპტიმალური სიმაღლე დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე, როგორიცაა: ელემენტთა ერთტიპოვნება, გადახურვის დაყრდნობისა და დატვირთვების ხასიათი, კიდული ტრანსპორტისა და შემომღობის არსებობა. კონსტრუქცია დაყრდნობის შემთხვევაში სამშენებლო სიმაღლე შეიძლება აღებულ იქნას მაღის 1/15–1/25, ხოლო შიგა კონსტრუქცია დაყრდნობისას (კონსოლებიანი) ან უჭრი მრავალმაღიანი ვარიანტის დროს, მაღის 1/15–1/40.

კონსტრუქციის ოპტიმალური სიმაღლე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია საყრდენი ზონის ხასიათსა და საყრდენების რაოდენობაზე. ოთხ წერტილზე დაყრდნობისას, განვითარებული საყრდენი კაპიტელების შემთხვევაშიც კი, კონსტრუქციის დეფორმაციულობის პირობიდან გამომდინარე, ოპტიმალური სიმაღლე მერყეობს მაღის 1/12–1/18 ფარგლებში. ირიბების ოპტიმალური

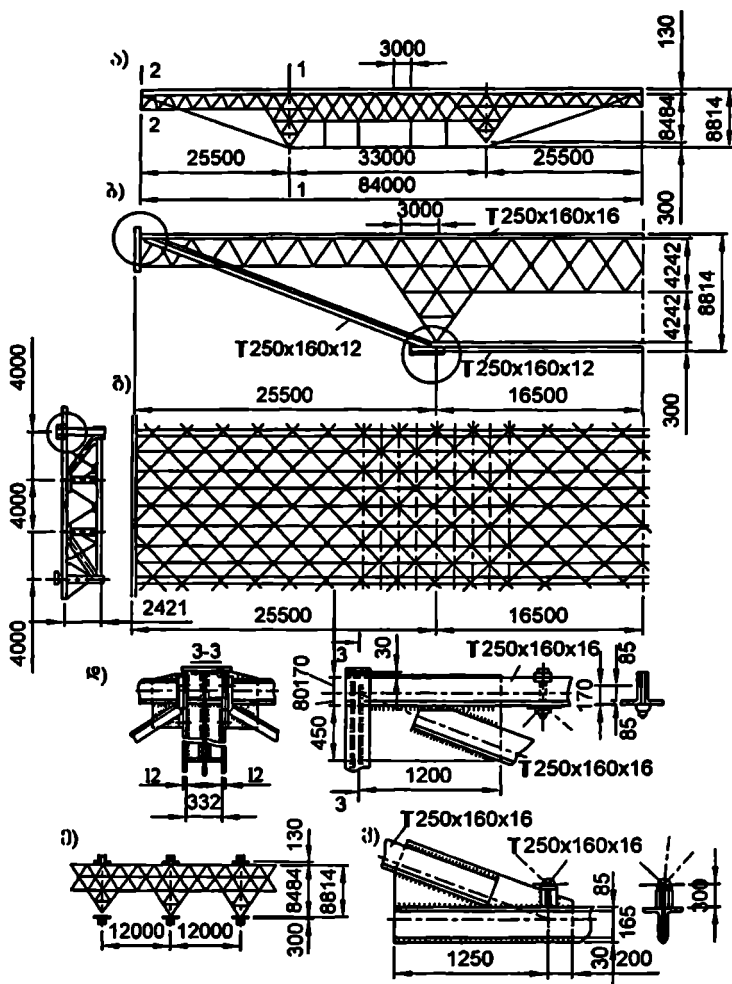
დახრილობა, ლითონის მინიმალური ხარჯისა და ყველა ღეროს სიგრძეთა ტოლობიდან გამომდინარე, შეადგენს 45–60°.



ფიგ. 192. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების განივი კვეთის ვარიანტები

ღეროვანი ელემენტებისათვის, ოპტიმიზაციის პირობიდან გამომდინარე, მიიღება ძირითადი მოდულური ზომა (სარტყელის ბადის ზომა კვანძების ღერძებში) 3 მ და მოდულური სისტემის შესაბამისი დამატებითი ზომები 1,5, 2

და 4.5 მ, რაც ხელს უწყობს სიერციითი კონსტრუქციების მრავალფეროვან ფორმარმოქმნას.



ფიგ. 193. კომბინირებული ჯვარედინ-ღეროვანი სიერციითი კონსტრუქცია შპრენგელით

შენიშვნების პრაქტიკაში ფართო გამოყენება პოვის ცალკეული ღეროებისა და საკანძო ელემენტებისაგან ასაწყობმა ჯვარედინ-ღეროვანმა კონსტრუქციებმა. ასეთი კონსტრუქციებისათვის დამახასიათებელია

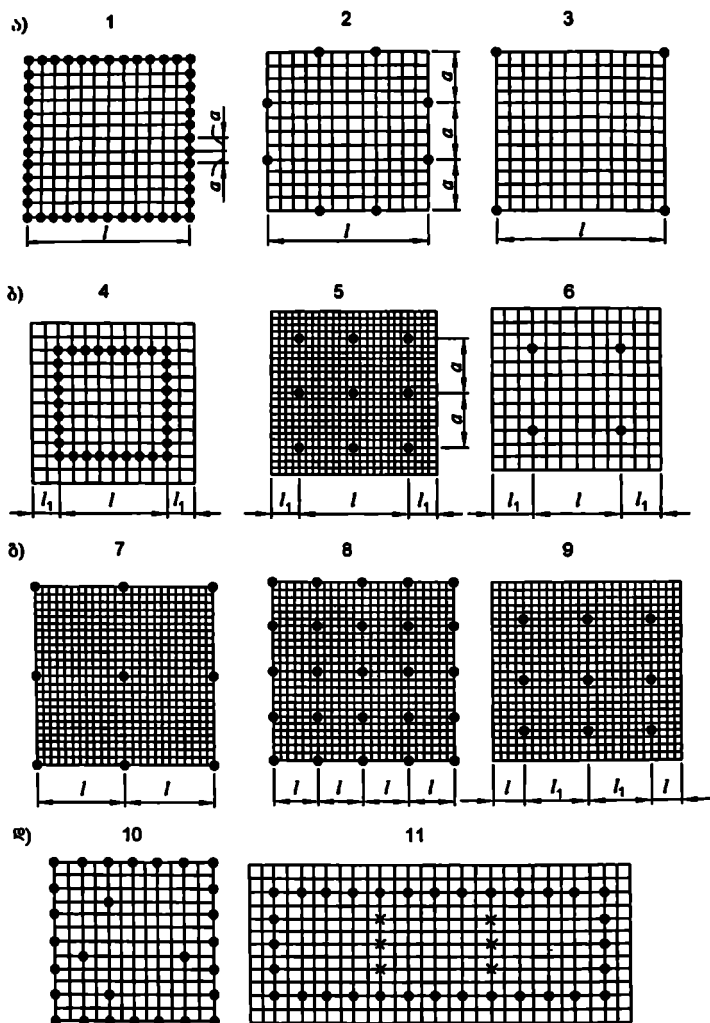
სარტყელებისა და გისოსის ყველა ღეროს ერთნაირი სიგრძე; პენტაედრების საფუძველზე აგებული სისტემებისათვის $h=0.707a$; ტეტრაედრების საფუძველზე აგებული სისტემებისათვის $h=0.816a$, სადაც h – კონსტრუქციის სიმაღლეა სარტყელების ღერძებში; a – უჯრედის მოდულური ზომა.

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციებით შესაძლებელია 100 მ-მდე და მეტი მაღლების გადახურვა, ამასთან ორსართულიან (ერთშრიან) სისტემებს (ფიგ. 192, ა) იყენებენ 60 მ-მდე მაღლების დროს. მაღლის 100 მ-მდე გაზრდისას, უნიფიცირებული ელემენტების შენარჩუნების პირობიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია სამ ან ოთხსართულიან (ორ ან სამშრიან) მზიდ კონსტრუქციაზე გადასვლა (ფიგ. 192, ბ-ე). მაღლის შემდგომი ზრდა მიიღწევა გისოსოვანი ფილის სახის კომბინირებული კონსტრუქციის დაპროექტებით, რომელიც გაძლიერებულია ნაგლინი პროფილების ან მაღალი სიმტკიცის ბაგირებისაგან დამზადებული შპრენგელით. ასეთი კონსტრუქციის მაგალითი ნაჩვენებია ფიგ. 193-ზე.

13.2. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების დაყრდნობის მართკუთხედი

ასეთი კონსტრუქციების მნიშვნელოვანი თავისებურებაა მათი დაყრდნობის შესაძლებლობა წიბოების გადაკვეთის ნებისმიერ წერტილში, რომლებიც მდებარეობს, როგორც სისტემის კონტურზე, ასევე კონტურის შიგნითაც, რა შემთხვევაშიც წარმოიქმნება კონსოლური განაკიდები (ფიგ. 194).

გეგმაში სვეტების განლაგებას და მათ შორის მანძილს ნიშნავენ გეგმაში სივრცითი კარკასის კონფიგურაციისა და შენობის ფუნქციური დანიშნულებიდან გამომდინარე. ამასთან, ხელმძღვანელობენ შემდეგი მოსაზრებებით: შენობისა და ნაგებობების ყველა ფუნქციური მოთხოვნების დაკმაყოფილება; კონსტრუქციის ეკონომიური გადაწყვეტა მასალების ხარჯსა და შრომატევადობაზე; ეკონომიური მონტაჟის საჭირო მოთხოვნის დაცვა. ასეთი კონსტრუქციების გამოყენებისგან მეტ ეფექტსღებულობენ კვადრატული (1:1) ან კვადრატულთან მიახლოებული (1:1.2) სვეტების ბადის შემთხვევაში, რაც უზრუნველყოფს სივრცითი სისტემის თანაბარ დაძაბვას ორი მიმართულებით.



ფიგ. 194. ჯგერედინ-ღეროვანი სივრცითი კონსტრუქციების დაფარდობის ვარიანტები:
 ა - კონტრუქციული; ბ - შიდაკონტრუქციული; გ - კომბინირებული; დ - თავისუფალი

საყრდენების კონტურული განლაგება (ფიგ. 194, ა) რაციონალურია დარბაზის ტიპის შენობებში, საყრდენებისგან მნიშვნელოვანი თავისუფალი სივრცის მისაღებად. კონტურზე საყრდენების გადაადგილებით შესაძლებელია მთლიანი კონსტრუქციის დაძაბული მდგომარეობის რეგულირება. მიზანშეწონილია ვარიანტი კუთხის საყრდენების გარეშე (ფიგ. 1954ა, პოზ. 2), რადგანაც ამ შემთხვევაში კუთხის კონსოლები განტვირთავენ არა მარტო საყრდენ ხაზს, არამედ კონსტრუქციის ძირითად ფართობსაც.

თავისუფალი დატვირთვების თვალსაზრისით, კონსტრუქციის დაყრდნობა ოთხ კუთხურ წერტილზე, წარმოადგენს იდეალურ ვარიანტს (ფიგ. 194, ა, პოზ. 3). თუმცა, მასალის ხარჯიდან გამომდინარე, ასეთი ვარიანტი გაუმართლებელია, რადგან კონტურის წიბოები განიცდის დიდ ძალებებს. ასეთი დაყრდნობა, დამატებითი გაძლიერების გარეშე, შეიძლება დაიშვას სვეტების შედარებით მცირე ბადეების შემთხვევაში (12–18 მ-მდე).

დიდი ბადეების შემთხვევაში, საყრდენებს განლაგებენ კონსტრუქციის კონტურის შიგნით, წარმოიქმნება კონსოლური განაკიდები, რომელთა განმტვირთავი გავლენის გამო შესაძლებელი ხდება ელემენტებში ძალების გადანაწილება – საყრდენებს შორის და საყრდენების ზემოთ, მაღში მათი გათანაბრება.

ცალკე მდგომ სექციებში ლითონის მინიმალური ხარჯი შეიძლება მიღწეულ იქნეს საყრდენების კონტურის შიგნით განლაგებით და კონსტრუქციის პერიმეტრზე კონსოლური განაკიდების წარმოქმნით, რომელთა შეერილიც I_1 შეადგენს ძირითადი I მაღის $1/3-1/4$ -ს (ფიგ. 194, ბ). უტრი სივრცითი კონსტრუქციებისათვის მიზანშეწონილია საყრდენების რეგულარული განლაგება 18×18 და 24×24 მ ზომის ბადეზე (ფიგ. 194, გ), ხოლო კონსოლურ შეერილიანი, სვეტების უფრო დიდი ბადის შემთხვევაში – I_1 პერიმეტრზე, რომელიც შეადგენს ძირითადი I მაღის $1/4-1/5$ -ს (ფიგ. 194, გ, პოზ. 9).

მოგრძო გვერდების (გვერდების შეფარდებით მეტი 12-ზე) გადახურვისას რეკომენდებულია კონსტრუქციის, კედარატთან მიახლოებულ უბნებად დანაწევრება და პირაპირის ხაზზე საყრდენების ან ნივინექვეშა კონსტრუქციების მოწყობა (ფიგ. 194, დ, პოზ. 11). ნივინექვეშა კონსტრუქციებად შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს კოჭები, წამწეები ან ჩარჩოები, თაღოვანი კონსტრუქციები ზედნაშენით, ვანტები.

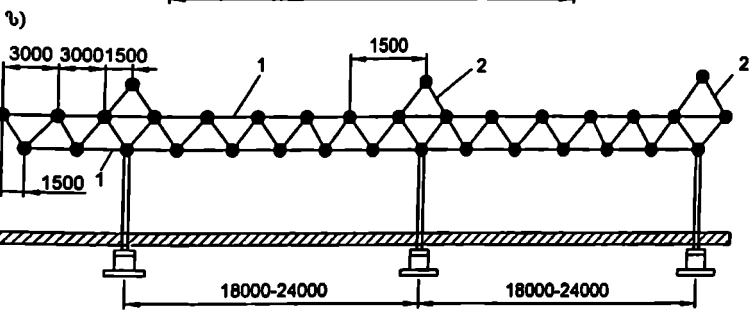
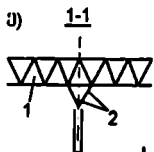
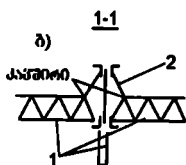
ნიენიექვეშა კონსტრუქციებს, მათი ტიპის, შენობის დანიშნულებისა და სხვა ფაქტორებიდან გამომდინარე, სიერციითი კონსტრუქციის მიმართ განაღებენ ერთ ღონეზე, ზევიდან ან ქვევიდან (ფიგ. 195, ა-ე). შენობის ჭერის სისუფთავისა და გასათბობი მოცულობის შემცირების თვალსაზრისით, მიზანშეწონილია სიერციითი კონსტრუქციის განთავსება ნიენიექვეშა კონსტრუქციის ქვედა სარტყელის პირისპირ. ჯვარედინ-ღეროვან კონსტრუქციებში ასეთ წამწეს აპროექტებენ მოდულური ღეროებისგან ტრაპეციისებრი ან სამკუთხა ზედნაშენის სახით და, როგორც წესი, იყენებენ შუქფარნად (ფიგ. 195, ვ, ზ).

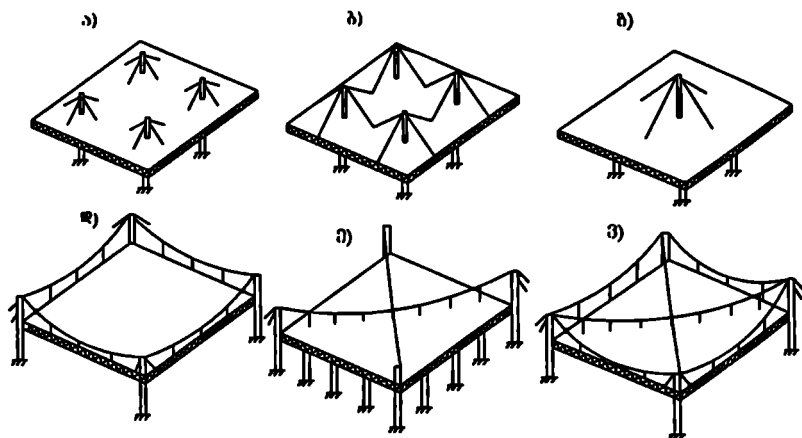
ფართოდ იყენებენ სიერციითი ჯვარედინა კონსტრუქციების ვანტებთან კომბინირების ვარიანტებს, რის შედეგადაც წარმოიქმნება კიდული კონსტრუქციები (ფიგ. 196). სვეტების გაზრდილი ბადე შეიძლება მიღებულ იქნეს კონსტრუქციის დაკიდებით ცალკეულ წერტილებში (ფიგ. 196, ა-გ), ან მისი დაკიდებით კიდულ ვანტზე (ფიგ. 196, დ-ე). პირველ სამ სქემაში ვანტის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან უნდა იყოს არანაკლები 30°.

გვარლების უმცირეს სიგრძეს ღებულობენ მათი განლაგებით მართკუთხედის ორთოგონალურ ღერძებზე. მზიდი გვარლების დიაგონალურად განლაგებისას მათი სიგრძის ზრდის ხარჯზე იზრდება მასალის ხარჯი გვარლებზე, თუმცა კონსტრუქცია ხდება უფრო მსუბუქი და ეკონომიური. ასეთი გადაწყვეტა უფრო ხელსაყრელია გადახურვაზე სატრანსპორტო მოწყობილობის დაკიდების შემთხვევაშიც.

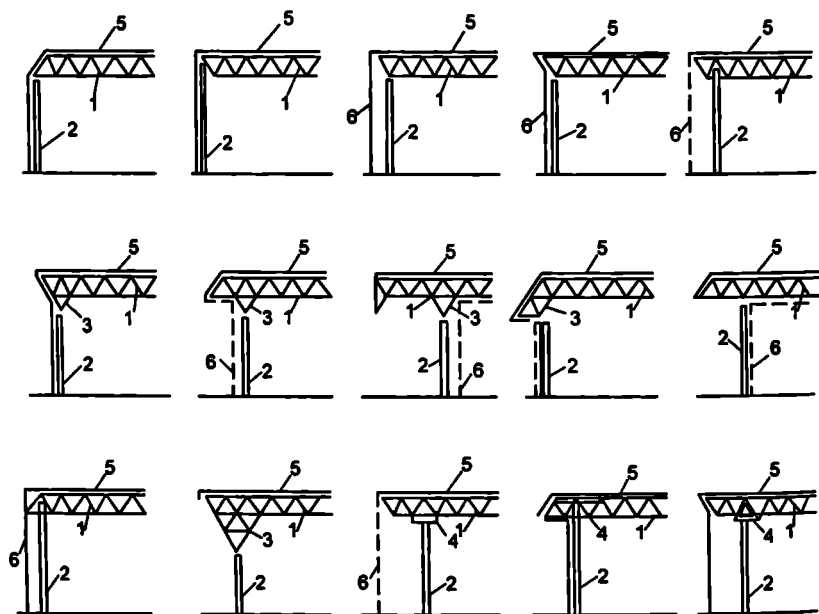
სიერციით ჯვარედინა კონსტრუქციებიან ერთსართულიან კარკასებს აპროექტებენ 54x54 მ-მდე ზომის ცალკეული სექციების სახით ან მათი კომბინაციებით, როგორც წესი, ჩვეულებრივი სქემით – საძირკველში ჩამაგრებული საყრდენი სვეტებით, რომლებიც გადახურვის კონსტრუქციის სიერციით გისოსთან სახსრულად არის შეერთებული.

კონსტრუქცია შესაძლოა ეყრდნობოდეს უშუალოდ ქვედა ან ზედა სარტყელის კვანძებს, ღეროვანი პირამიდების სახის გამოშვერილ საყრდენ კაპიტელებს ან ჯვარედინ სახის სპეციალურ საყრდენ კაპიტელებს (ფიგ. 197). საყრდენ საკვანძო ელემენტებს სვეტის სათავესთან ამაგრებენ შედუღებით ან ჭანჭიკებით.





ფიგ. 196. კომბინირებული ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები ვანტებით



ფიგ. 197. ბურულისა და კედლების მოწყობის სქემები

1 - ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქცია; 2 - სვეტი; 3 - გაბოშებული საყრდენი კაპიტელი; 4 - ჩაშენებული საყრდენი კაპიტელი; 5 - ბურული; 6 - კედელი;

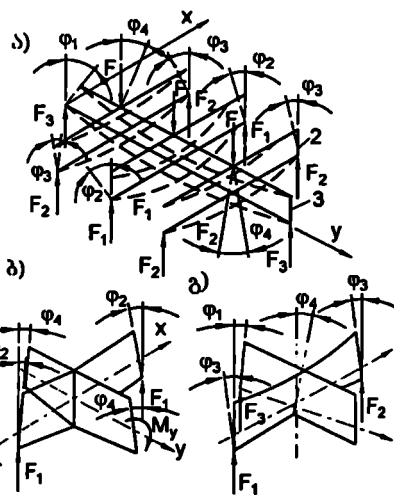
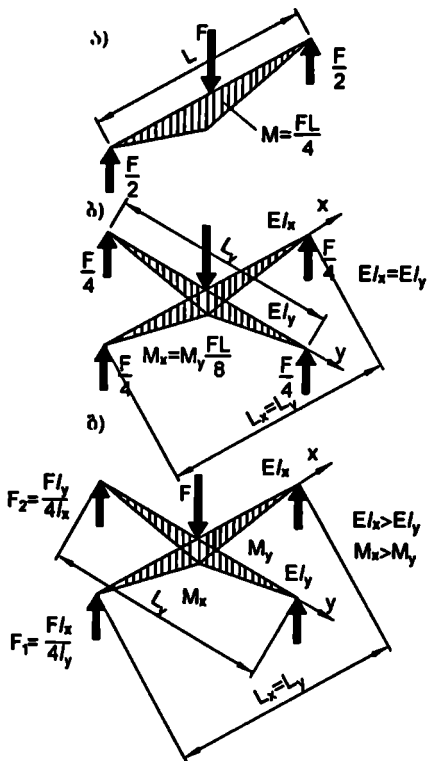
გადახურების მრავალმალიან უჭრ ჯვარედინა კონსტრუქციებში, ასევე დიდმალიან დარბაზულ ნაგებობებში, სადაც საყრდენ დგარებს პერიმეტრზე აპროექტებენ ბიჯით 6–12მ, საჭიროა მოეწეოს ვერტიკალური კაეშირები, რომლებიც საშუალებას იძლევა გათვალისწინებული იქნეს სვეტების სახსრული შეერთება გადახურვის კონსტრუქციასთან და საძირკელებთან, რაც ფოლადის დამატებით ეკონომიას იძლევა.

13.3. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების ბანაბარიშება

ორი ურთიერთგადამკვეთი კოჭისაგან შემდგარი უმარტივესი სისტემის გადაკვეთის კვანძში მოდებული F ძალა აღიქმება ორივე კოჭის ერთდროული მუშაობით. ერთნაირი მაღლების $I_x=I_y$ და ერთნაირი სიხისტეების $EJ_x=EJ_y$ დროს, ძალა თანაბრად ნაწილდება ორივე კოჭზე და თითოეულ მათგანზე მოქმედებს მდუნავი მომენტი $M_x=M_y=Fl/8$, რაც იმავე მაღლისა და სიხისტის მქონე ერთმალიან ტრად კოჭში მოქმედ მომენტზე ($M=Fl/4$) 2-ჯერ ნაკლებია (ფიგ. 198, ა, ბ). ერთნაირი მაღლების, მაგრამ კოჭების სხვადასხვა სიხისტეების დროს $EJ_x>EJ_y$, მეტი სიხისტის მქონე კოჭი ღებულობს მომენტის მეტ ნაწილს, ვინაიდან ნაკლები სიხისტის მქონე კოჭი მიეყვება მეორე კოჭის დეფორმაციას (ფიგ. 198, გ). ასეთივე ეფექტი მიიღება იმ შემთხვევაშიც, თუ ორივე კოჭის სიხისტე ერთნაირია, მაგრამ ერთი კოჭი მეორეზე მოკლეა.

ერთნაირი სიხისტეების მქონე ოთხი წამწისაგან შედგენილ უფრო რთულ კონსტრუქციაში (ფიგ. 199), რომლის გადაკვეთის კვანძები დატვირთულია F ძალებით, უფრო მეტად დატვირთული იქნება განაპირა წამწეები 2 (ფიგ. 199, ა), ვინაიდან ისინი მდებარეობენ წამწე 3-ის საყრდენ კვანძებთან ახლოს. 1 და 3 წამწეების გადაკვეთის კვანძი მხოლოდ ვერტიკალურად გადაადგილდება, ხოლო 2 და 3 წამწეების გადაკვეთის კვანძებში, ვერტიკალური გადაადგილების გარდა, ხდება მე-2 წამწის კუთხური გადაადგილება საკუთარი სიბრტყიდან (გრეხა). თუ წამწე 2-ს ექნებოდა გრეხითი სიხისტე, იგი გაუწევდა წინააღმდეგობას მე-3 წამწის ღუნვას და მთელ კონსტრუქციას წიბოებში ექნებოდა ნაკლები ჩაღუნვა და ნაკლები ძალები. ამგვარად, ჯვარედინა კონსტრუქციის მუშაობა მთლიანად დამოკიდებულია მის გეომეტრიულ სქემაზე, წიბოების ან ცალკეულ ღეროვანი

ელემენტების სიხისტეზე, მათ ურთიერთმდებარეობაზე, დაყრდნობისა და დატვირთვის მოდების ხასიათზე.



ფიგ. 199. ჯვარედინა წამწეების (1-3) მუშაობა გრესხაზე

ფიგ. 198. ჯვარედინა კოჭების მუშაობა შეყურსულ პალაზე

კონსტრუქციის წიბოების მიერ მგრეხი მომენტების აღქმის უნარზე დამოკიდებულებიდან გამომდინარე, ასეთი კონსტრუქციები სტატიკური მუშაობის პირობების მიხედვით იყოფა ორ ჯგუფად. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება კონსტრუქციები გეომეტრიულად ცვლადი სასარტყლო ბადეებით, რომლებიც არ მუშაობენ გრესხაზე (ორთოგონალური სისტემები დიაგონალების გარეშე). მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება კონსტრუქციები გეომეტრიულად უცვლელი სასარტყლო ბადეებით, რომლებიც მუშაობენ გრესხაზე (სამკუთხა და ექვსკუთხა კონსტრუქციები ორთოგონალური დიაგონალებით და მუშაობაში ჩართული გადახურვის ხისტი დისკის სარტყელებით). პირველი ტიპის კონსტრუქციები მუშაობენ, როგორც

ჯვარედინა კოჭები (წამწები), ხოლო მეორე ტიპის – როგორც იზოტროპიული ფილები.

საანგარიშო-თეორიული თვალსაზრისით, ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები წარმოადგენს გარეგანად და შინაგანად მრავალგზის სტატიკურად ურკვევ სისტემებს, ამიტომ მათი გაანგარიშება წარმოებს საყრდენების კონსტრუქციული და სიხისტის თავისებურებების გათვალისწინებით, მათ შორის ნაგებობების მზიდი ჩონჩხებისა და ტექნოლოგიური მოწყობილობების კარკასების, თუ ეს უკანასკნელნი წარმოადგენენ ჯვარედინა კონსტრუქციების დამატებით საყრდენებს. ასეთი კონსტრუქციების ზუსტ გაანგარიშებას, როგორც დისკრეტული სახსრულ-ღეროვანი სისტემისა, ახდენენ კომპიუტერული სპეციალური პროგრამების საშუალებით.

ტექნიკური პროექტის სტადიაზე, ხშირად იყენებენ ჯვარედინა კონსტრუქციების მიახლოებით გაანგარიშების მეთოდებს, რომლებიც დაფუძნებულია კონსტრუქციის ნამდვილი საანგარიშო სქემის წარმოდგენით დისკრეტული სისტემის მახასიათებლების ექვივალენტური დრეკად მახასიათებლებიანი ორთოტროპიული ან იზოტროპიული ფილის სახით. ასეთი ცვლილება საშუალებას იძლევა გაანგარიშების შედეგები მიღებულ იქნას 5-20% სიზუსტით $h/l \leq 1/15$ თანაფარდობის შემთხვევაში და ფილის ძერაზე მუშაობის გათვალისწინებით.

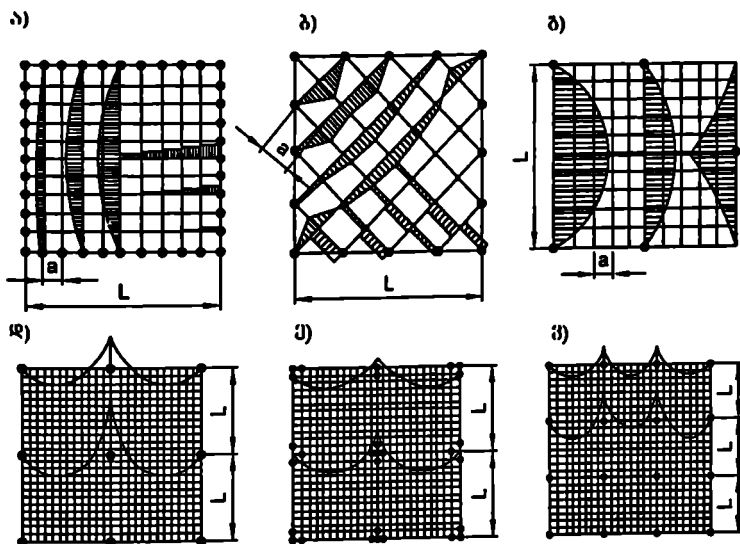
ფილების ღუნვის კლასიკური თეორიის საფუძველზე, ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების მიახლოებითი გაანგარიშების მეთოდით განისაზღვრება: საანგარიშო მომენტები M_x, M_y, M_{xy} და განივი ძალები Q_x, Q_y იზოტროპიული ფილების ან ჯვარედინა კოჭების ცხრილების მიხედვით; ნორმატიული დატვირთვების ზემოქმედებისაგან გამოწვეული კონსტრუქციის დამახასიათებელი წერტილების ჩაღუნვები; ძალები ღეროებში (ფილაში ძალების ღეროვან კონსტრუქციაში ძალებზე გადაყვანი ფორმულების დახმარებით) (ცხრილი 35).

დრეკადი მახასიათებლები და პალეზები ჰგარამინ-ღვროშანი
კონსტრუქციის ელემენტებში

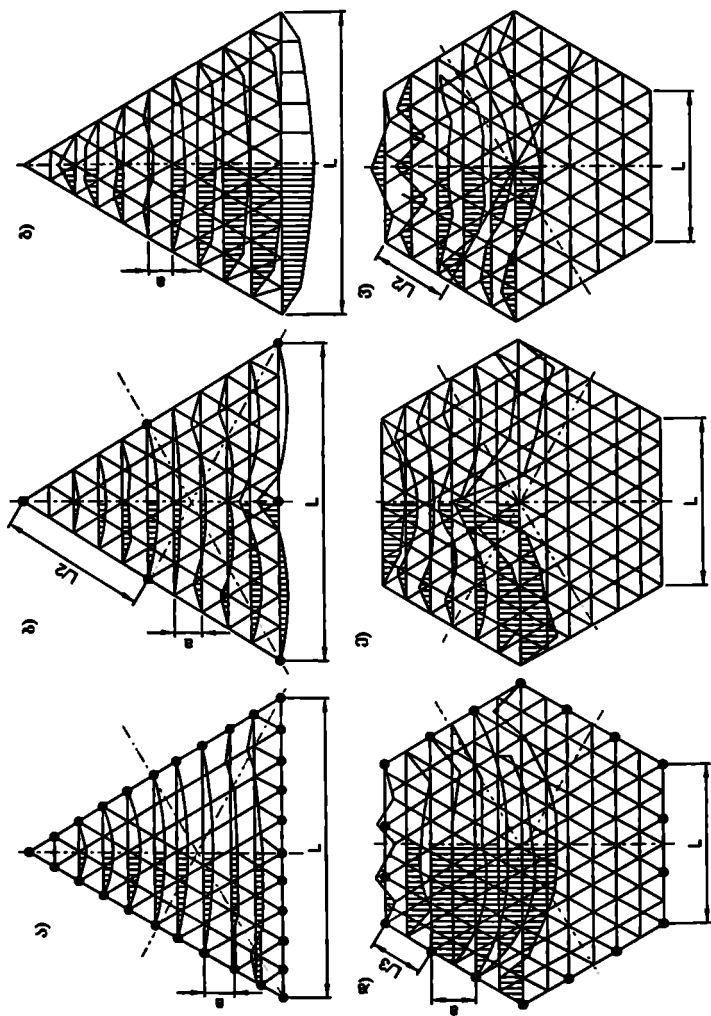
დრეკადი მახასიათებლები	კონსტრუქციული სქემა	
	ორთოგონალური ბადით	სამკუთხა ბადით
ცილინდრული სიხისტე $D = EA_{\text{სფ}} a \tan^2 \alpha \cdot k_1$	$k_1 = \frac{1}{2}(1+n)$	$k_1 = \frac{\sqrt{3}}{4}(1+n)$
გრუნის სიხისტე $D = EA_{\text{სფ}} a \tan^2 \alpha \cdot k_2$	$k_2 = 0$	$k_2 = \frac{1}{4}\sqrt{3}(1+n)$
პუასონის კოეფიციენტი ν	0	1/3
ξ	0	1
ძაღვები სარტყელებში, F	$F_1 = \pm \frac{2aM_y}{h},$ $F_2 = \pm \frac{2aM_x}{h}$	$F_1 = \frac{a \left(\mp \sqrt{3} \frac{M_y}{2} \pm \frac{M_x}{2} \sqrt{3} \right)}{h},$ $F_2 = \frac{a \left(\mp \frac{M_x}{\sqrt{3}} \mp M_{xy} \right)}{h},$ $F_3 = a \left(\mp \frac{M_x}{\sqrt{3}} \pm M_{xy} \right) / h$
ძაღვები ირიბნებში, S	$S_1 = -\frac{a^2(Q_x - Q_y)}{2h},$ $S_{2,4} = -\frac{a^2(Q_x + Q_y)}{h},$ $S_3 = \frac{a^2(Q_x + Q_y)}{h}$	$S_1 = -\frac{a^2 Q_x}{h},$ $S = -\frac{a^2(Q_x - \sqrt{3}Q_y)}{h},$ $S = \frac{a^2(Q_x + \sqrt{3}Q_y)}{h}$

პირობითი აღნიშვნები: — ზედა ბადე; - - - - - ქვედა ბადე; — ირიბ-
ნები; $A_{\text{სფ}}$ და $A_{\text{მფ}}$ — შესაბამისად ზედა და ქვედა სარტყელების ფართობები;
 $n = A_{\text{სფ}} / A_{\text{მფ}}$; α — ირიბნების დახრის კუთხე პორიზონტალურ სიბრტყესთან.

გეგმაში კუადრატულ ჯვარედინ-ღეროვან კონსტრუქციებში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული მომენტებისა და განივი ძალების ეპიურები წარმოდგენილია ფიგ. 200-ზე. გეგმაში სამკუთხა და ექვსკუთხა მოხაზულობის კონსტრუქციებისათვის მომენტების ეპიურები, საყრდენების მდებარეობის სხვადასხვა ვარიანტებისათვის, წარმოდგენილია ფიგ. 201-ზე. მომენტებისა და განივი ძალების ეპიურების ორდინატების მამრავლებს ღებულობენ შესაბამისად $-ql^3/10^3$ და $ql/10^3$, სადაც $q=(\gamma+\nu+s)a$ – წიბოზე წრფივი, თანაბრად განაწილებული დატვირთვა.



ფიგ. 200. გეგმაში კუადრატულ ჯვარედინ-ღეროვან კონსტრუქციებში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისაგან გამოწვეული მომენტებისა და განივი ძალების ეპიურები დაყრდნობის სხვადასხვა ვარიანტების შემთხვევაში

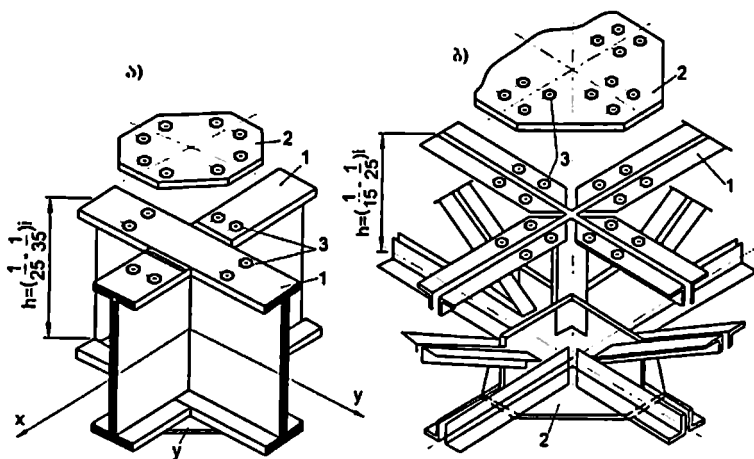


ფიგ. 201. გუმბათის საშენობის და მშენებლობის სისტემაში თანამართლებული დატვირთვების განმარტება და მშენებლობის სისტემაში გამოყენებული მონიტორინგის გათვალისწინებით სხვადასხვა ფორმების გუმბათების მონიტორინგის მდგომარეობის განმარტება

13.4. ელემენტებისა და კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები

ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების ეფექტურობა დიდადაა დამოკიდებული საკვანძო შეერთების გადაწყვეტაზე, რამდენადაც კვანძებში საჭირო ხდება 8–18 ღეროს სხვადასხვა კუთხით შეერთება. უმარტივესი სისტემები შედგება ვერტიკალურ სიბრტყეში გადამკვეთი კოჭების ან გისოსოვანი წამწევებისგან.

კოჭების გადაკვეთისას, ერთი მიმართულების კოჭები გატარდებიან გამჭოლად, ხოლო მეორე მიმართულებისას – აპროექტებენ მოკლე სადებების სახით, ამასთან პირაპირებს გადაფარავენ პორიზონტალური ფურცლოვანი ფასონურებით, რომლებიც მაგრდება ორივე მიმართულების კოჭის სარტყელებთან სამონტაჟო ჭანჭიკებით და მუშა შენადული ნაკერებით (ფიგ. 202, ა).



ფიგ. 202. შეუღლების კვანძები

ა – ჯვარედინა კოჭების; ბ – ჯვარედინა წამწევების;

1 – ზედა სარტყელი; 2 – პირაპირის ზესადები; 3 – ჭანჭიკის ნახერეტი

წამწევების გადაკვეთისას, კვანძში ითვალისწინებენ ჯვარედინ ფასონურას, სარტყელების ელემენტებს, უნიფიცირების მიზნით, ჭრიან კვანძებში, ხოლო პირაპირს გადაფარავენ ანალოგიური პორიზონტალური ფურცლოვანი ფასონურათი (ფიგ. 202, ბ). მართკუთხა გეგმაზე ჯვარედინა

ფერმების გამოყენების შემთხვევაში, სიმტკიცის პირობიდან გამომდინარე, მოკლე მიმართულების წამწეებს აკეთებენ მაღალი სიმადლისას, ხოლო გრძელი მიმართულების წამწეებს – ნაკლები სიმადლისას. ასეთი ხერხი საშუალებას იძლევა გრძელი მიმართულების წამწეები გატარდეს მოკლე მიმართულების წამწეების სარტყელებს შორის, რაც აიოლებს მონტაჟს და ამარტივებს ფერმების გადაკეთების კვანძებს.

ღეროების შეერთების ხერხის მიხედვით განასხვავებენ დასაშლელ (ღერძულა ან ჭრად ჭანჭიკებს; პერფორირებული, სოლისებრი ან სხვა სახის სატაცებით) და დაუშლელ (შენადულ) შეერთებებს. სამშენებლო მოედანზე აწყობის სიმარტივისა და მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გამო, მსოფლიო პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება დასაშლელი შეერთებების მქონე კონსტრუქციები (ფიგ. 203). მათ შორის ყველაზე მეტად გავრცელებულია "მერო"-ს სისტემები (გერმანია), რომელთა მოდიფიკაციას წარმოადგენს სისტემა "მარხი" (ფიგ. 203, ა).

ეს გადაწყვეტები წარმოადგენს ერთჯანჭიკიან შეერთებებს, რომლებიც შედგება მრავალწახნაგა ნახევარსფერული ან სფერული, შესაერთებელი ღეროების მიმართულებით ორიენტირებული კუთხეილ ნახვრეტებიანი საკვანძო ელემენტისაგან. მიღოვანი ღეროები აღჭურვილია ბუნიკებით, რომლებიც შედგება მილთან მიდუღებული ცილინდრული სადებისაგან, რომლის ღერძულ ნახვრეტშიც გატარებულია მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკი მილისით და დაფიქსირებულია წკირით. შეერთების მუშა მდგომარეობა მიიღწევა მილისის ბრუნვის დახმარებით ჭანჭიკის საკვანძო ელემენტში ჩახრახნით, საკვანძო ელემენტისა და სადების საკონტაქტო ზედაპირებთან მილისას ტორსული ზედაპირების მჭიდროდ შეხებამდე და ჭანჭიკის თავის სადების საკონტაქტო ზედაპირთან მჭიდროდ შეხებამდე.

შეერთებაში გამჭიმავი ძალები გადაეცემა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკით, რომელიც დაპროექტდება 10.9 ან 12.9 სიმტკიცის კლასის მიხედვით. ჭანჭიკების რეკომენდებული დიამეტრებია: 20, 22, 30, 36, 42 და 48 მმ. კუმშვის ძალვა გადაეცემა მილისას საშუალებით, რომელსაც, როგორც საკვანძო ელემენტს, აპროექტებენ კონსტრუქციული ფოლადებისგან დენადობის ზღვარით არა ნაკლები 36 მპა. საკვანძო ელემენტის საყრდენი ზომა, ღეროების მიერთების პირობიდან გამომდინარე, საორიენტაციოდ უნდა დაინიშნოს მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის არა ნაკლები 4.5 d.

ა) — მარბი (რუსეთი);

ბ) — "კოილი" (საფრანგეთი);

გ) — "ტრიდიმეტრი" (საფრანგეთი);

დ) — "იუნსტრუქტი" (აშშ);

ე) — "ტრიდიმეტრი" (კანადა);

ვ) — იუნი (გერმანია);

ზ) — მდღეობი დეროები;

ა) — ღია პროფილის

დეროები; 3 — ორტესტები

პროფილის დეროები; 4 —

ნახევრადსფერული საკან-

ბო ელემენტი; 5 — ჩამო-

სხმული ნახევრადსფერუ-

ლი ფასონურა; 6 — დაშ-

ტამებული ფურცლოვანი

ფასონურა; 7 — დაწესილი

საკანბო ელემენტი;

8 — ბრტყელი საყვდელი;

9 — ჩამოსხმული კონუსი;

10 — ბუნიკი; 11 — სოლი;

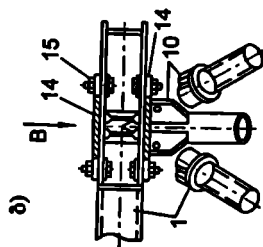
12 — თევზა საყვდელი;

13 — სფერული ბუფი;

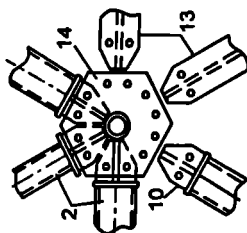
14 — ბრტყელი საკანბო

ფურცელი; 15 — მისაბიმი

ჭაბჭი



სურათი B



სურათი C

ფიგ. 203. სრულასაწყობი ჯგერფინ-დეროვანი სისტემების კვანძები, რომლებიც იყრება ცალკეული ელემენტებისაგან დერბული და თვითმრედი კანქიკებითა და სოლისებრი სატაცებით

სისტემა “კოკილ”-ის საკვანძო შეერთებას (ფიგ. 203, ბ) ჭანჭიკის ღეროვან ელემენტთან შეუღლების გამარტივებული პრინციპი აქვს, თუმცა ჯამისებრი ფასონურას დიდი სისქე, რომელიც საჭიროა მდგრადობისათვის, მნიშვნელოვნად ზრდის კვანძის ლითონტევადობას. სხვადასხვა პროფილების გამოყენების თვალსაზრისით საინტერესოა სისტემა “ტრიადამეტიკ”-ის საკვანძო შეერთება (ფიგ. 203, გ), რომლის მზიდუნარიანობა შეიძლება დარეგულირდეს საკვანძო ფასონურების სისქითა და ჭრადი ჭანჭიკების რაოდენობით.

აშშ-ი ფართოდ გამოიყენება სისტემა “იუნისტრატ”-ის კვანძი (ფიგ. 203, დ), რომელშიც 4–8 მმ სისქის საკვანძო ფასონურა დამზადებულია დაშტამპვით, და მასთან ჭანჭიკებით მიმაგრებულია ნალუნი ღია პროფილები. ამ გადაწყვეტას გააჩნია შედარებით დაბალი მზიდუნარიანობა და ზღუდავს მალის ზომებს 18–24 მ-ს ფარგლებში. ასეთივე ნაკლი გააჩნიათ სისტემა “ტრიოდეტიკ”-ის და “იფი”-ს კვანძებს (ფიგ. 203, ე, ე).

შენადული შეერთებების უპირატესობა, ჭანჭიკოვან შეერთებებთან შედარებით, მდგომარეობს მათ მიერ მნიშვნელოვნად დიდი ძალების ათვისების შესაძლებლობაში, ამიტომ მათი გამოყენება მიზანშეწონილია დიდი მძლავრებისა და დატვირთვების შემთხვევაში. შედუღებით შესრულებულ ასეთ შეერთებას წარმოადგენს სისტემა “ოტკაპლატ”-ის კვანძი (ფიგ. 204, ა). დისკურ სადებიან, ორი დაშტამპული ნახევარსფეროსაგან შედუღებულ ღრუ სფეროს ტორსებით აღუდგენ მიღოვან ღეროებს. ღრუ სფეროს გარე დიამეტრს იღებენ მოცემულ კვანძში შემავალი ღეროვანი ელემენტების $2d_{max}$ ტოლს, ხოლო სფეროს სისქეს – დიამეტრის $1/25 - 1/30$.

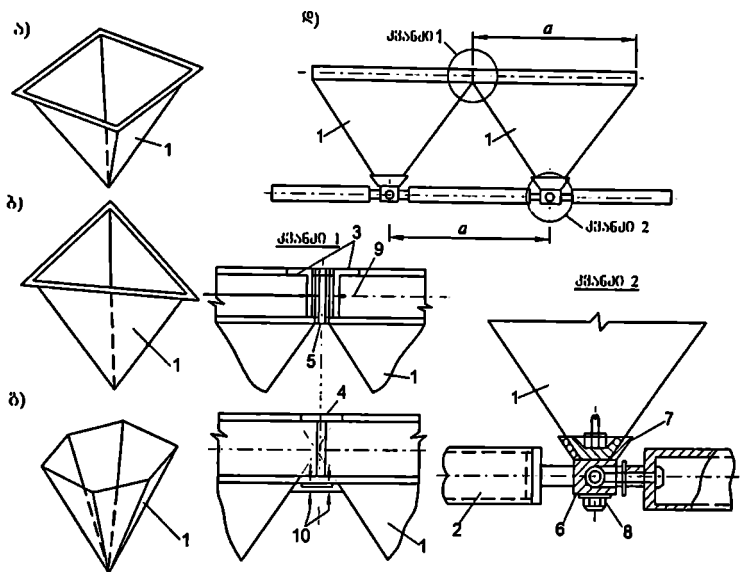
“ცნისიკ”-ის კვანძში გამოყენებულია საბაზანე შედუღება (ფიგ. 204, ბ). გარკვეული კუთხეებით ჩამოჭრილ, მიღების გაბრტყელებულ ბოლოებს შეუღლების კვანძში ავსებენ გამდნარი ლითონით. ამ კვანძის ღირსებაა – საკვანძე ფასონურების არარსებობა და შედეგად, ლითონის მინიმალური ხარჯი. შეწყვილებულ კუთხედებიანი ღეროებისთვის კვანძებში იყენებენ ბრტყელი ფურცლებისაგან შედუღებულ ჯვარედინა ფასონურებს (ფიგ. 204, გ), ხოლო მართკუთხა მიღებისათვის – ფასონურების გარეშე გადაწყვეტას (ფიგ. 204, დ). შედუღებით სრულსაწყობი ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების საერთო ნაკლია აწყობის მნიშვნელოვანი შრომატევადობა, ნაკერების ხარისხის კონტროლის სირთულე და შედუღების დიდი ძაბვების არსებობა.

ასეთი კონსტრუქციების აწეობა ასევე შესაძლებელია ქარხანაში წინასწარ დამზადებული გამსხვილებული სამონტაჟო ბლოკებით, გეგმაში კვადრატული, სამკუთხა ან ექვსკუთხა პირამიდების სახით.

უმეტეს შემთხვევაში პირამიდის კონსტრუქცია კეთდება კომბინირებული – ფუძის ელემენტებით, რომლებიც წარმოადგენს სარტყელებს, შესრულებულია ერთმაგი კუთხედებით, ხოლო გისოსი – მილებით. ორი პირამიდის შეპირაპირებისას ფუძის სიბრტყეში ორი კუთხედისგან წარმოიქმნება სარტყელის ღერო. პირამიდების წვეროებს აერთებენ მილოვანი ღეროებით, რომლებიც მიდუღებულია პირამიდის წვეროს კვანძთან ტანჯიკით მიმაგრებულ ჰორიზონტალურ საკვანძე ფასონურასთან, როგორც სისტემა “პირამიტეკ“-ის კვანძებში (ფიგ. 204, ე, ე), ან მილოვან ვარსკვლავა ფასონურასთან, როგორც “მარხი“-ს კვანძში (ფიგ. 204, ზ).

თუ პირამიდის ფუძე მზადდება მილოვანი ღეროებისაგან, მაშინ ღეროების შეერთება ფუძის კვანძებში შეიძლება შესრულდეს შედუღებით, სახსრული ანჯამების სახის სპეციალური მოწყობილობის დახმარებით პირამიდების შეუღლების შემდეგ (ფიგ. 204, თ).

ფირფიტოვან კონსტრუქციებს ამზადებენ ალუმინის შენადნობებისაგან, ვინაიდან ამ შემთხვევაში, კოროზიამედეგობის გამო, შესაძლებელია ერთ კონსტრუქციაში მზიდი და შემომფარგლავი ფუნქციების შეთავსება. ფურცლის სისქეს, რომლისგანაც ამზადებენ კესონურ პირამიდას, იღებენ კონსტრუქციის სიმაღლის $1/300 - 1/500$, ოღონდ არა ნაკლებს 2 მმ-ისა. პირამიდების ერთმანეთთან შესაუღლებლად, ფუძესთან, ვერტიკალურ ან ჰორიზონტალურ სიბრტყეში აღუნავენ გვერდებს, რომლებსაც ჩასვამენ კუთხედებისგან დამზადებულ ორ ჩარჩოს შორის, ამაგრებენ ორტესხერის თაროსთან ან სხვა პროფილთან და მათთან აერთებენ ალუმინის მოქლონებით ან ტანჯიკებით, ხოლო პირამიდის წვეროებს აერთებენ მილოვანი ღეროებით (ფიგ. 205).



ფიგ. 205. ალუმინის პირამიდებისგან აგებული ფირფიტოვან-ღეროვანი სისტემების კონსტრუქცია

- ა-ბ - კესონების ფორმები; დ - ორი პირამიდის შეუღლების ფრაგმენტი;
 1 - თხელკედლიანი პირამიდა; 2 - მიღოვანი ღერო; 3 - სარტყელის კუთხედები;
 4 - სარტყელის ორტყესები; 5 - ჯვარისებრი შუასადები;
 6 - კონუსური როზეტი; 7 - მიმჭერი საყელური; 8 - მოსაჭიმი ჭანჭიკი;
 9 - საერთოებელი ჭანჭიკი; 10 - მოქლონები

საკვანძო მოწყობილობა თხელკედლიანი პირამიდის წვეროში შედგება სამი ძირითადი დაწნეხილი დეტალისაგან: კუთხეილიანი ნახევრების მქონე საკვანძო ფასონურისაგან - ღეროების შესაერთებლად და კონუსური როზეტისაგან - თხელკედლიანი პირამიდის წახნაგების შესაერთებლად; მიმჭერი საყელურისა და მოსაჭიმი ჭანჭიკისაგან. პირამიდის წახნაგები, რღვრადობის ასამაღლებლად, შეიძლება გაძლიერებულ იქნას დაშტამპებით ან კუთხედის სახის სიხისტის წიბოთი.

თავი 14. კიდული გადახურვები

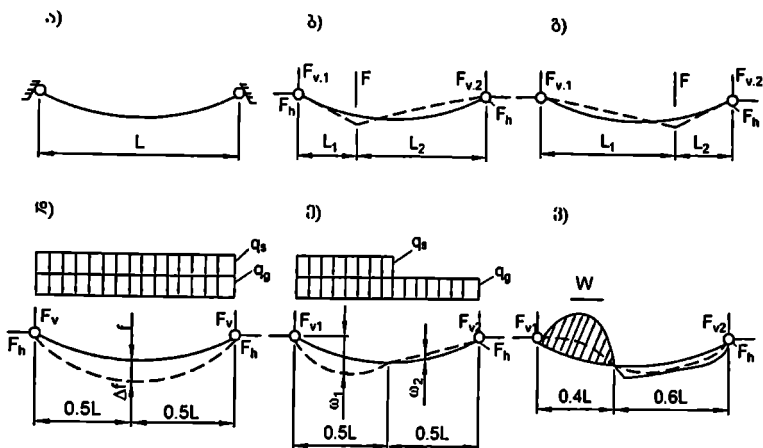
14.1. კიდული გადახურვების საერთო დახასიათება

კიდული ეწოდება გადახურვებს, რომლებშიც მზიდი კონსტრუქციების ძირითადი ელემენტები მუშაობენ გაჭიმვაზე. კიდული გადახურვების უმეტესობაში ძირითად მზიდ ელემენტად გამოიყენება ბაგირი – მაღალი სიმტკიცის მათეულთ დახვეული გეარლი, გაწყვეტაზე 1200-1800 მპა და მეტი დროებითი წინაღობით (ფიგ. 206, ა). ბაგირი-გეარლის ან არმატურის ღეროების გამოყენების შემთხვევაში სისტემას უწოდებენ კიდულს მოქნილი ვანტებით. თუ ვანტა შესრულებულია ხისტი ღეროებით, მაგალითად ნაღუნი (გრეხილი) ორტესებრით ან ფერმებით, მაშინ ასეთ სისტემას უწოდებენ კიდულს ხისტი ვანტებით ან ღუნვად-ხისტი ელემენტებით.

კიდული კონსტრუქცია ასევე შეიძლება იყოს ლითონის ან რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული გარსის სახის. ფურცლოვანი ფოლადის ან ალუმინისგან შედგენილ ლითონის გარსებს უწოდებენ მემბრანულ კონსტრუქციებს.

შენობების გადახურვისთვის მოქნილი ძაფის გამოყენების იდეა პირველად წარმოდგენილ იქნა ე. გ. შუხოვის მიერ, რომელმაც 1896 წელს დააპროექტა და ნიჟნი ნოვგოროდში ააშენა იმ დროისათვის რეკორდული ზომის პავილიონები – 30X70 მ; 50X100 მ და დიამეტრით 68 მ. კიდული კონსტრუქციების მეორე დაბადება თარიღდება 1953 წლით, აშშ-ში რელიე-არენის 92X97 მ ზომის, გეარლებიანი უნაგირა ბადისებრი გადახურვის აგების შემდეგ. ამ დროიდან დაიწყო კიდული კონსტრუქციების ფართო გამოყენება სხვადასხვა დანიშნულების შენობებსა და ნაგებობებში, როგორცაა: სპორტული და საგამოფენო ნაგებობები, დახურული ბაზრები და უნივერსალური დარბაზები, მსხვილი გარაჟები, ანგარები და ელინგები, აგრეთვე სამრეწველო დანიშნულების უნივერსალური შენობები.

კიდული კონსტრუქციების ღირსებებია: მაღალი სიმტკიცის ფოლადების მზიდუნარიანობის მაქსიმალურად სრულად გამოყენება, ერთ კონსტრუქციაში მზიდი და შემომფარგვლელი ფუნქციების შეთავსება, რის გამოც დამატებით მცირდება გადახურვის მასა, სეისმომედეგობა.



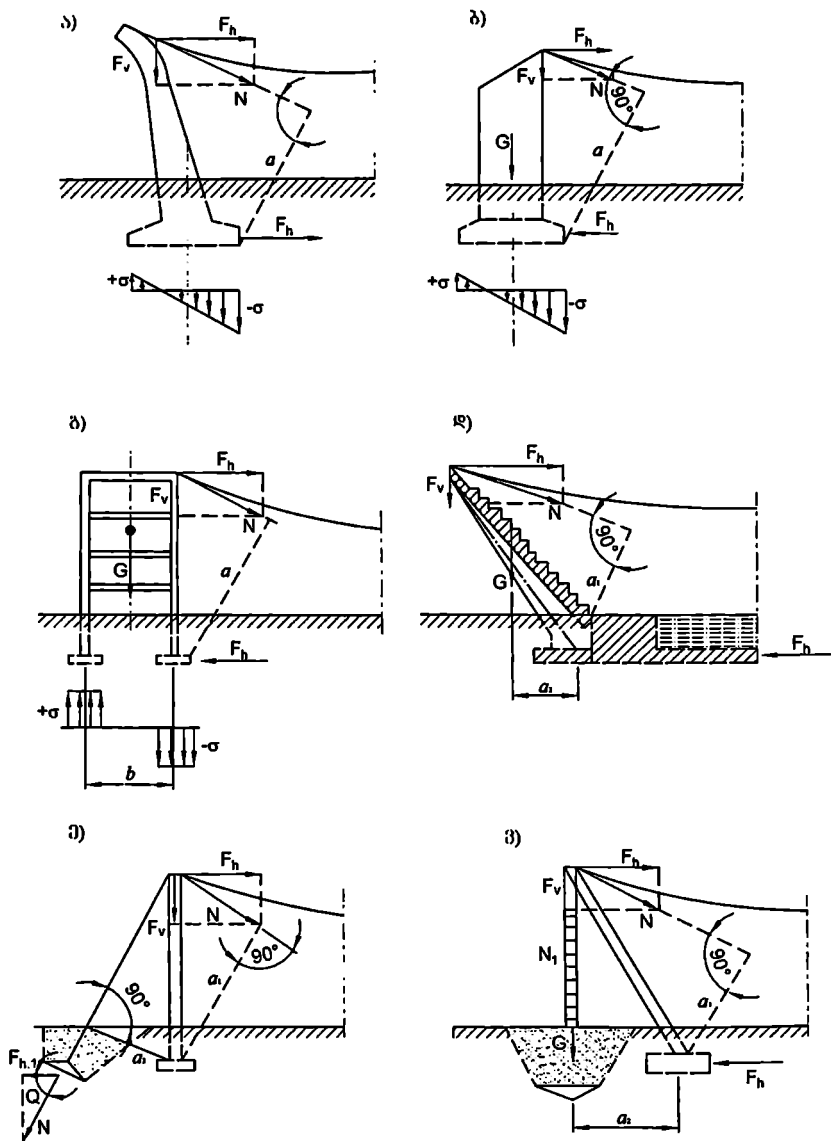
ფიგ. 206. მოქნილი ძაფის მუშაობა

a – საკუთარი მასისგან; *b-d* – ვერტიკალური დატვირთვისაგან; *e* – ქარის პორიზონტალური დატვირთვისაგან

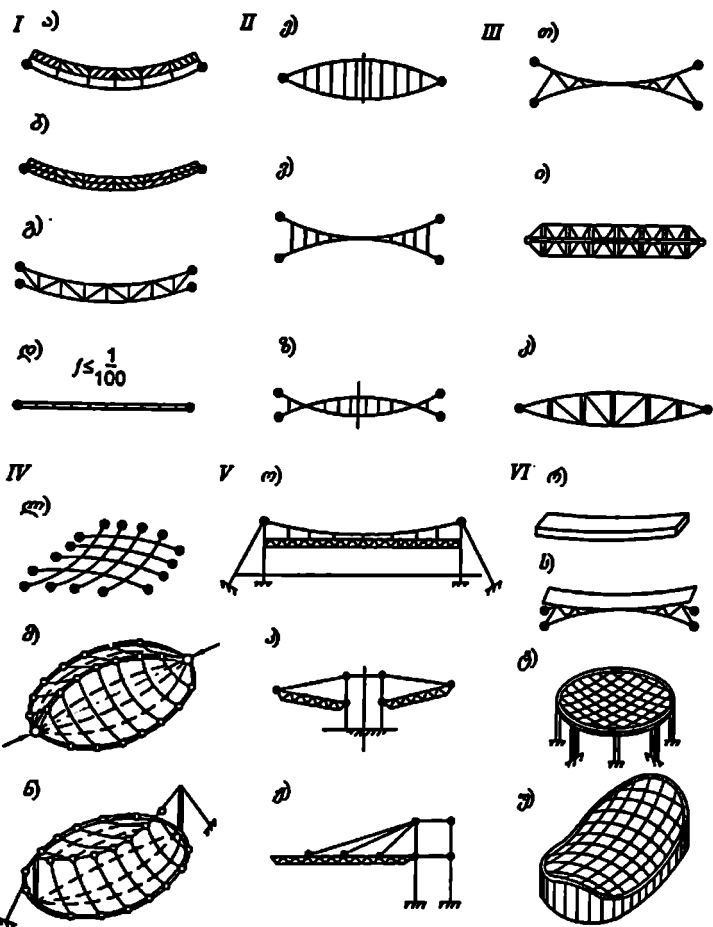
საკმაოდ მცირე მასის კონსტრუქციებით შეიძლება გადაიხუროს 40-300 მ მალეები, ხოლო ხიდების კონსტრუქციებში 1000 მ-ზე მეტი. მაღის გადიდებით კიდული კონსტრუქციების ეფექტურობა იზრდება.

კიდული კონსტრუქციების ფორმადარმოქმნის შესაძლებლობები საშუალებას იძლევა შეიქმნას შენობებისა და ნაგებობების სრულიად სხვადასხვაგვარი არქიტექტურულ-კონსტრუქციული კომპოზიციები. მცირე მასის გამო კიდული კონსტრუქციების ტრანსპორტირება და მონტაჟი გაადვილებულია.

კიდული სისტემები განმჯენიანი სისტემებია. განმჯენის ასათვისებლად იყენებენ მძლავრ საყრდენ კონსტრუქციებს: მოღუნული ფორმის სვეტებსა და პილონებს (ფიგ. 207, ა, ბ), ჩარჩოებსა და ტრიბუნების კონსტრუქციებს (ფიგ. 207, გ-დ), საჭიმრებს (ფიგ. 207, ე-ფ), აგრეთვე შეკრულ საყრდენ კონტურებს (ფიგ. 208, მ, ნ, ტ, უ), რომლებიც ითვისებენ დიდ ძალებს და საჭიროებენ მასალის მნიშვნელოვან ხარჯს. ყველა ეს მოწყობილობა ართულებს და აძვირებს კიდულ კონსტრუქციებს და მნიშვნელოვნად ამცირებს მათი გამოყენების ეფექტურობას.



ფიგ. 207. საყრდენი კონსტრუქციების სახეები



ფიგ. 208. კიდეული გადახურვები

I - ერთსართყველიანი სისტემები მოქნილი ან ხისტი ძაფებით; *II* - ორსართყველიანი კიდეული სისტემები; *III* - ვანტური წამწეები; *IV* - უნაგირისებრი ბადეები; *V* - კომბინირებული სისტემები; *VI* - მემბრანული გარსები; *ა* - დამატებული დატვირთვით; *ბ* - კიდეული გარსი; *გ* - ღუნეადი-ხისტი; *დ* - სიმისებრი; *ე* - ამოზნექილი; *ვ* - ჩაზნექილი; *ზ* - ამოზნექილ-ჩაზნექილი; *თ* - გვარლური; *ი* - გვარლური, გრძივი განმბჯენი ღეროთი; *კ* - გვარლური, განივი ხისტი განმბჯენებით; *ლ* - ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის სახის ბადე; *მ* - ბადე მზიდი თალით; *ნ* - ბადე გვარლ-სადგართი; *ო* - ერთმალიანი; *პ* - ორკონსოლური; *ჟ* - ერთკონსოლური; *რ* - დამატებული დატვირთვით; *ს* - დაძაბული გვარლური წამწით; *ტ* - კიდეული; *უ* - უნაგირისებრი

კიდული კონსტრუქციების უარყოფით თვისებებს აგრეთვე მიეკუთვნება მათი გაზრდილი დეფორმაციულობა, რაც გამოწვეულია მაღალი სიმტკიცის ფოლადის შემცირებული დრეკადობის მოდულით ($E \approx 1.5-1.8$) 10^4 კნ/სმ²) ნაგლინ ფოლადთან შედარებით, და არათანაბარი დატვირთვების მოქმედებით გამოწვეული კინემატიკური ცვალებადობა (იხ. ფიგ. 206, ბ-ე).

კინემატიკური გადაადგილებების შესამცირებლად კიდულ სისტემებში აპროექტებენ მასტაბილიზებელ მოწყობილობებს: 1 კნ/მ²-ზე მეტი წონის დატვირთვის დამატება (ფიგ. 208, ა, ბ); მზიდი გვარლის (ჩაზნეჟილი) წინასწარი დაძაბვა მასტაბილიზებელი გვარლით (ამოზნეჟილი), განმზღვენების (ფიგ. 208, ე), საკოჭების (ფიგ. 208, ვ, თ, ს) ან მათი კომბინაციით (ფიგ. 208, ზ), ასევე მათი ურთიერთდაძაბვა ბადეებში (ფიგ. 208, ლ-ნ, უ); სისტემაში ხისტი ელემენტების შეტანა (ფიგ. 208, გ, ი, ო-ე).

კიდული კონსტრუქციების დაპროექტებისას ყურადღება ექცევა გადახურვიდან წყლის არინებას და სახურავის ჰერმეტიზაციას.

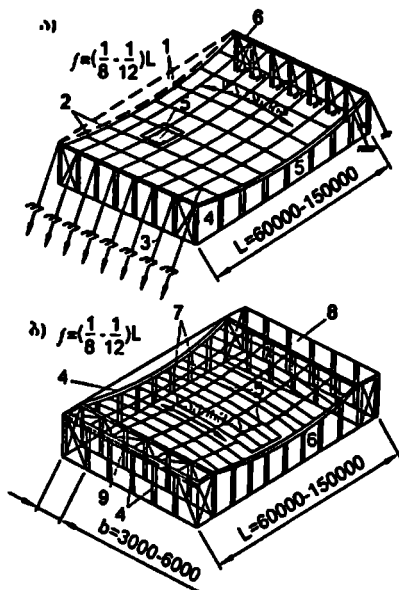
კონსტრუქციული ფორმების, ძირითადი მზიდი ელემენტის სახის, გადახურვის სტაბილიზაციის ხერხის და სხვა ნიშნების მიხედვით კიდული კონსტრუქციები შეიძლება დაიყოს ექვს ჯგუფად (ფიგ. 208.) თავის მხრივ თითოეული ჯგუფი, სისტემაში ელემენტების ურთიერთგანლაგების მიხედვით, შეიძლება დაიყოს ქვეჯგუფებად, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდებიან დაპროექტების თავისებურებებით.

14.2. ერთსართულიანი კიდული გადახურვები

ერთსართულიან კიდულ გადახურვებს მიეკუთვნება: მზიდი მოქნილი დეროების ან გვარლებისაგან შედგენილი სისტემები, რომელთა სტაბილიზაცია მიიღწევა მათზე დაწყობილი ფენილის მასით, რომელიც ტორსებიდან წინასწარაა მოჭიმული და კვანძებშია დამონოლითებული (ფიგ. 209, ა); ხისტი ძაფების ან წამწეებისაგან შედგენილი სისტემები (იხ. ფიგ. 214); განივი კოჭების ან წამწეების გამოყენებით დაძაბული, მოქნილ ძაფებიანი სისტემები (იხ. ფიგ. 216).

მშენებლობაში ყველაზე მეტად გამოიყენება ერთსართულიანი გადახურვები რკინაბეტონის ან კერამზიტბეტონის ფილებით. ასეთი სისტემების უპირატესობაა კონსტრუქციის დიდი სიხისტე და

ცეცხლმედეგობა, ნაკლები საექსპლუატაციო ხარჯები სხვა გარსებთან შედარებით, ხოლო ნაკლია გადახურვის დიდი მასა, რაც იწვევს გეარლებზე ფოლადისა და საყრდენი კონსტრუქციების მასალის გაზრდილ ხარჯს.

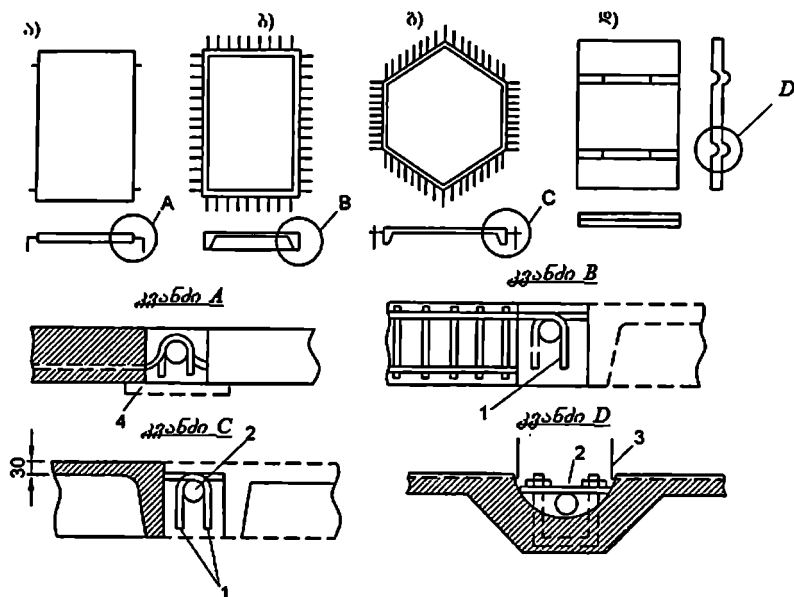


ფიგ. 209. ერთსართულიანი გადახურვები რკინაბეტონის ფილებით

- a* – სატიმრებით; *b* – კოჭის ან წამწის სახის ხისტი საყრდენი კონტურით;
 1 – შიდა ვანტები; 2 – გრძივები; 3 – სატიმრები; 4 – სვეტები;
 5 – რკინაბეტონის ასაწყობი ფილები; 6 – საყრდენი კონტურის კოჭები;
 7 – კაეშირები; 8 – ტორსის კოჭი; 9 – ტორსის წამწე

ერთსართულიანი გადახურვის წინასწარი დაძაბვა რკინაბეტონის ფილების გამოყენებით (ფიგ. 210) შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი თანამიმდევრობით: ვანტებზე სპეციალური კაკების საშუალებით ჩამოკიდებენ ფილებს; ფილებზე აწყობენ ბალასტს, რის შედეგადაც ფილებს შორის ნაკერები ფართოვდება; ნაკერებს აესებენ ცემენტის დუღაბით; შემავსებლის საპროექტო სიმკეციის მიღწევის შემდეგ ხსნიან ბალასტს; დრეკადი ძალების მოქმედების შედეგად ძაფების ჩაკიდულობის ისარი მცირდება, ხოლო ფენილის ფილები მოიჭიმებიან. გარსის დაძაბულ მდგომარეობაში შესანარჩუნებლად ბალასტისგან დატვირთვა უნდა იყოს მეტი, ვიდრე

დროებითი დატვირთვა გადახურვაზე. გამოიყენება წინასწარი დაძაბვის სხვა ხერხებიც.

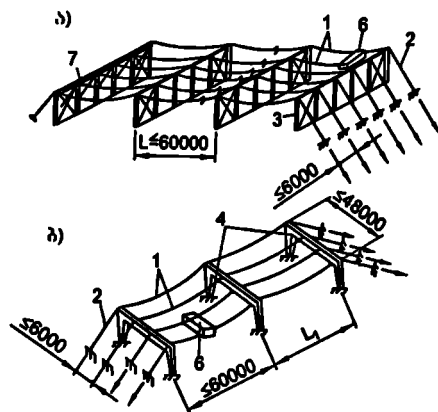


ფიგ. 210. რკინაბეტონის ასაწობი ფილების ტიპები ერთსართველიანი კიდული გადახურვებისთვის

1 - კაკეი; 2 - ვანტა; 3 - არმატურა; 4 - საგების მომზადება დასაბეტონებლად

ერთსართველიანი გადახურვები რკინაბეტონის ფილებით შეიძლება იყოს გეგმაში სწორკუთხა, წრიული, ელიფსური და სხვა ფორმის. ერთმალთან ცილინდრულ გადახურვებს (იხ. ფიგ. 209, ბ) აქვთ გვარლების პერპენდიკულარული მიმართულებით, მცირე სიმრუდის ამოზნექილობის მქონე ცილინდრული ფორმა. ეს სიმრუდე უზრუნველყოფს გადახურიდან წყლის ანირებისთვის აუცილებელ სახურავის დაქანებას. ასეთ გადახურვებში ღეროებს შორის მანძილი არ აღემატება 6 მ. გადახურვის მასის შესამცირებლად მიზანშეწონილია იგი დაენიშნოთ 1.5-3 მ. საყრდენ კონტურად ხელსაყრელია გამოყენებულ იქნას ჩარჩოვანი კარკასი, რომელსაც გადახურვის სიბრტყეში გააჩნია გამანაწილებელი წამწე ან კოჭი-ფილა, რომელიც გამოიყენება ვანტური ღეროების ჩასამაგრებლად და განმბჯენის ასათვისებლად.

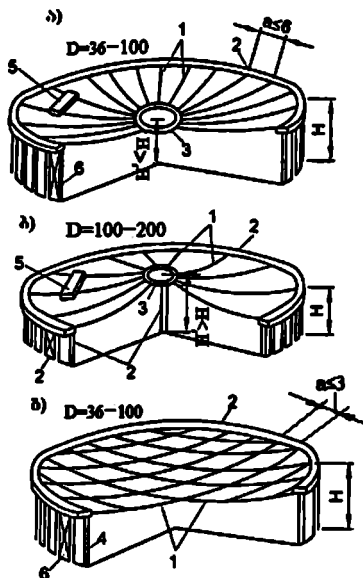
გეგმაში სწორკუთხა მრავალმალიანი გადახურების დაპროექტებისას საყრდენ კონსტრუქციებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას კოჭები სვეტებით ან ჩარჩოები (ფიგ. 211). მეორე შემთხვევა უჩვეულებსია, რადგანაც შენობა თავისუფლდება შიდა სვეტებისგან და მინიშნულოვნად მცირდება მიწის სამუშაოების მოცულობა.



ფიგ. 211. მრავალმალიანი ერთსართულიანი სწორკუთხა გადახურების სქემები
a – მზიდი სვეტებით; *b* – მზიდი ჩარჩოებით; 1 – მზიდი ვანტები; 2 – საჭიმრები;
 3 – სვეტები; 4 – ჩარჩოები; 5 – კავშირები; 6 – რკინაბეტონის ფილები;
 7 – საყრდენი კონტურის კოჭები;

ერთსართულიანი გადახურები რკინაბეტონის ფილებით მიზანშეწონილია დაპროექტდეს გეგმაში წრიულ შენობებზე (ფიგ. 212). ასეთი გადახურების ძირითადი ღირსებაა გეარლების განმზღვენის ამთვისებელი რკინაბეტონის საყრდენი რგოლის არსებობა.

განასხვავებენ ასეთი გადახურების ორ პრინციპულ ფორმას – ჩაზნექილს (ფიგ. 212, ა) და კარესებრს (ფიგ. 212, ბ). ჩაზნექილ სისტემაში კუმშვაზე მომუშავე გარე საყრდენ რგოლთან ერთად გათვალისწინებულია გაჭიმვაზე მომუშავე ლითონის შიგა რგოლი. ასეთ სისტემაში გეარლები განთავსებულია მერიდიანულად და შიგა რგოლზე დამაგრებულია 35-50 სმ მანძილზე, რაც განსაზღვრავს შიგა რგოლის დიამეტრს – 6-12 მ. რკინაბეტონის ფილების დალაგების პირობიდან გამომდინარე. გარე რგოლზე ღეროების ჩამაგრება არ უნდა აღემატებოდეს 6 მ-ს.



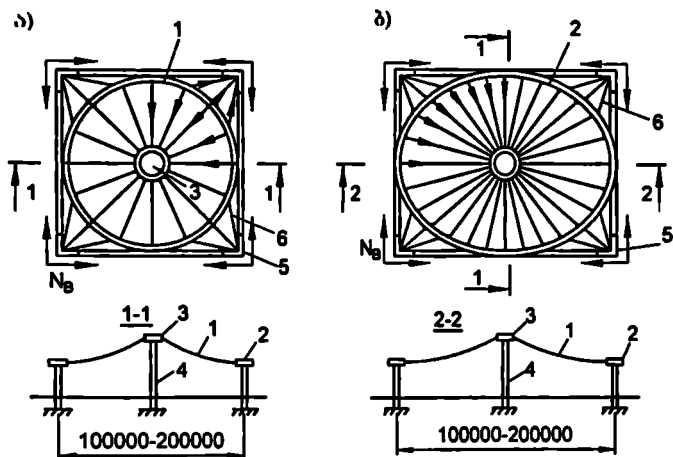
ფიგ. 212. ერთსართულიანი წრიული გადახურვის სქემები

- ა - რადიალური შიგა რგოლით; ბ - რადიალური შიგა საყრდენით;
 გ - ორთოგონალური ბადით; 1 - მზიდი ვანტა; 2 - საყრდენი რგოლი;
 3 - შიგა რგოლი; 4 - სვეტი; 5 - რკინაბეტონის ფილა; 6 - კავშირები

კარვისებრი გადახურვების განმასხვავებელი თავისებურება ისაა, რომ მნიშვნელოვანი დატვირთვა გადახურვიდან გადაეცემა შიგა რგოლის მეშვეობით, რომელიც მუშაობს არაცენტრალურ გაჭიმვაზე, რკინაბეტონის შუა საყრდენის საშუალებით. რადიალურ გადახურვებში ვანტების ჩაკიდულობის ისარი შეიძლება დაინიშნოს გადასახური მალის $1/10-1/20$.

ერთსართულიანი, გეგმაში წრიული კიდული სისტემების საერთო ნაკლია ვანტებზე დალაგებული ტრაპეციისებრი რკინაბეტონის ფილების ტიპ-ზომების დიდი რაოდენობა, სამკუთხა სექტორების მრავალჯერ განმეორებადობის შემთხვევაშიც. ფილების ტიპ-ზომების შემცირების მცდელობამ გამოიწვია ორთოგონალურ ბადიანი ჩაზნექილი სისტემის შექმნა შიგა რგოლის გარეშე (ფიგ. 212, გ). მაგრამ ასეთ კონსტრუქციაში, ფილებს შორის ნაკერების დიდი სიგანის გამო, აგებისას იზრდება სველი პროცესების მოცულობა. ჩაზნექილი სისტემების ნაკლია გადახურვიდან წყლის არინების გაძნელება.

ერთსართკველიანი სისტემები რადიალური ვანტებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას გეგმაში სწორკუთხა გადახურებისთვისაც. ამ მიზნით საყრდენ რგოლს კიდული გარსით დამატებითი ვანტებით ჩამოკიდებენ სწორკუთხა საყრდენი კონტურის კუთხურ საყრდენებზე (ფიგ. 213). ამ შემთხვევაში დამატებითი ვანტებისაგან გამოწვეული განმბჯენი იშლება (გადანაწილდება) შემზღუდელის სიბრტყეებში.



ფიგ. 213. ერთსართკველიანი რადიალური გადახურვის სქემები შენობებისთვის

ა - კვადრატული გეგმით; ბ - სწორკუთხა გეგმით; 1 - მზიდი ვანტები;
2 - საყრდენი კონტური; 3 - ცენტრალური რგოლი; 4 - სვეტები; 5 - კუთხის
საყრდენები; 6 - დამატებითი ვანტები

ერთსართკველიანი კიდული გადახურვები გაჭიმული ღუნად-ხისტი ელემენტებით, რომლებიც შესრულებულია შენადული ან ნაგლინი ორტესებრი პროფილებისგან, ან მოღუნული და სწორხაზოვანი წაშვებისგან, გადახურვის სტაბილიზაციისთვის არ საჭიროებს სპეციალურ ღონისძიებებს. ამ ფუნქციას ასრულებს საკუთრივ ელემენტები, რომლებსაც შეუძლიათ მიიღონ გამჭიმავი და მღუნავი ძალები (ფიგ. 214). ამის გამო ხისტი ძაფის ჩაკიდულობის ისარი შეიძლება შემცირდეს მალის $1/20-1/30$ -მდე ძაფების $3-4.5$ მ ბოჯის შემთხვევაში. მთლიანი ნაღუნი ორტესებრის კვეთის სიმაღლე აიღება მალის $1/40-1/50$, ხოლო წაშვის სიმაღლე მალის $1/35-1/45$. სიმაღლე დამოკიდებულია მუდმივი

ფორმის მქონე სპორტული დარბაზი, რომელიც გადახურულია კლიტეში ბლაგვი შემავალი კუთხით გადამკვეთი სწორხაზოვანი წამწევებით (ფიგ. 214). თავისი ტექნიკურ-ეკონომიკური და კონსტრუქციული მახასიათებლებით ორივე გადახურვა მნიშვნელოვნად ჩამორჩება მეგზრანულს.

ბაგირ-კოჭოვან სისტემებს (ფიგ. 216) ახასიათებთ მომატებული სიხისტე ღუნვაზე, რომელიც იზრდება საყრდენ კონტურში ჩამატებული წამწევების განივ კონსტრუქციად გამოყენების შემთხვევაში. გადახურვის კონსტრუქცია იძენს სიფრცით სიხისტეს, კარგად მუშაობს ადგილობრივი დატვირთვის დროს და საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნას მსუბუქი კონსტრუქციის სახურავი. ასეთ კონსტრუქციებში ჩაკიდულობის ისარი არ უნდა იყოს მაღლის 1/15-ზე ნაკლები.

მოქნილ ძაფებიანი ერთსართყელიანი კიდული გადახურვების გაანგარიშების მიახლოებითი ხერხი მდგომარეობს იმაში, რომ განისაზღვრება მოქნილი ძაფის და საჭიმების კვეთები, ხოლო წრიულ ნაგებობებში აგრეთვე გარე საყრდენი და შიგა შუა რგოლების კვეთებიც. მზიდი ელემენტების კვეთის შერჩევა ხორციელდება მონტაჟის სტადიაში, რადგანაც ჯამური დატვირთვა გადახურვაზე დამძაბავი ბალასტის გათვალისწინებით საანგარიშო დატვირთვაზე მეტია. ზღერულ მდგომარეობაში ნაგებობის საანგარიშო სქემად მიიღება ბრტყელი მოქნილი ძაფი, საყრდენებით ერთ ან სხვადასხვა დონეებზე.

საანგარიშო დატვირთვა ვანტზე ცილინდრულ გადახურვაში (ფიგ. 215, ა), წინასწარი დაძაბვის გათვალისწინებით, განისაზღვრება ფორმულით:

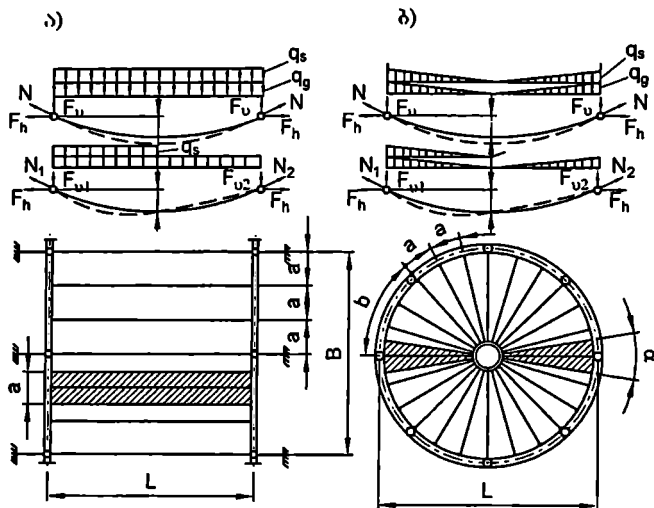
$$q = q_g + (1.2 - 1.3)q_s = ga + (1.2 - 1.3)sa, \quad (178)$$

სადაც g არის საანგარიშო მუდმივი დატვირთვა ვანტების, გადახურვის ფილებისა და სახურავის 1მ²-ის საკუთარი წონისაგან; s – საანგარიშო თოვლის დატვირთვა გადახურვის 1მ²-ზე; a – ვანტებს შორის მანძილი.

გაჭიმვისაგან ძაფის დეფორმაციის გათვალისწინების უგულვებლყოფით, განმბჯენი საანგარიშო დატვირთვისაგან შეიძლება გაანგარიშებული იქნას ფორმულით:

$$F_k = M_0 / y = q l^2 / 8f, \quad (179)$$

სადაც M_0 არის q დატვირთვისაგან გამოწვეული მღუნავი მომენტი კოჭში მაღლით l ; y – ვანტის წირის ორდინატა.



ფიგ. 215. ერთსართველიანი კიდული სისტემების გაანგარიშებისათვის

ა – მართკუთხა გეგმით; ბ – წრიული გეგმით;

ვანტის საყრდენი რეაქციის ვერტიკალური მდგენელი

$$F_v = q_l / 2. \quad (180)$$

ძაფის გაჭიმვის მაქსიმალური ძალვა მოქმედებს საყრდენთან

$$N = \sqrt{F_h^2 + F_v^2}. \quad (181)$$

მოქნილი ძაფის გაანგარიშებისას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარეობათა მეორე ჯგუფის მიხედვით – დროებითი დატვირთვისაგან გამოწვეული დასაშვებზე მეტი ჩაღუნების შედეგად კონსტრუქციის ნორმალური ექსპლუატაციის შეუძლებლობის მიხედვით. ეს გაანგარიშება ხდება მიახლოებითი მეთოდებით. დროებითი დატვირთვის მოქმედებისაგან გამოწვეული, მოქნილი ძაფის საანგარიშო ვერტიკალური ჩაღუნვის ზღვრული სიდიდე უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობას

$$\Delta f / l = 3q_{s,n} l^2 / 128EAf^2 \leq 1/200, \quad (182)$$

სადაც $q_{s,n}$ არის ძაფის მალის 18^2 -ზე ნორმატიული დროებითი დატვირთვა; E – ძაფის დრეკადობის მოდული; A – ძაფის კვეთის ფართობი.

თუ განმზღენი გადაეცემა გარე ანკერებზე, მაშინ ძაფის დაყვანილი სიგრძე საჭიშების სიგრძეების გათვალისწინებით ტოლია:

$$S = l(1 + 8\mu^2 / l^2) + 2l_{sec} \theta, \quad (183)$$

სადაც l - არის საჭიშის პორიზონტალური პროექცია (გეგმილი) სეტიის ღერძიდან საძირკველთან ჩამაგრების ღერძამდე; θ - საჭიშის დახრის კუთხე პორიზონტთან.

ძალეები დახრილ და ვერტიკალურ საჭიშებში (იხ. ფიგ. 207, გ, ე) გაანგარიშდება შესაბამისად ფორმულებით:

$$N_1 = F_k B / a \cdot \cos \theta, \quad (184)$$

$$N_1 = F_k B / a a_2, \quad (185)$$

სადაც B საჭიშების ბიჯია.

ჩაზნეილი ტიპის ერთსარტყელიან რადიალურ ვანტურ სისტემებში (ფიგ. 215, ბ) ძალები წინა გაანგარიშების ანალოგიურად გამოითვლება:

$$F_k = q l^2 / 24 f; \quad F_v = q l / 4; \\ N = \sqrt{F_k^2 + F_v^2} = F_k \sqrt{1 + 36 f^2 / l^2}. \quad (186)$$

მზიდი ვანტის განივი კვეთის საჭირო ფართობი განისაზღვრება ტოლობიდან

$$A_{\text{კვ}} = 1.6 N / \eta 100 R_{\text{შ}}, \quad (187)$$

სადაც 1.6 არის მასალის საიმედოობის კოეფიციენტი; η - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბაგირის გამწყვეტი ძაღვის შემცირებას მათეულების ჯამურ გამწყვეტ ძაღვასთან შედარებით ($\eta=0.81-0.85$ - 1x37 კონსტრუქციის TK და 6x19 კონსტრუქციის JK-P ბაგირებისთვის; $\eta=0.75-0.8$ - 6x36 კონსტრუქციის TJIK-PO ბაგირებისთვის; $\eta=1$ - დახურული მზიდი ბაგირებისთვის); $R_{\text{შ}}$ - ბაგირის მათეულების დროებითი წინაღობა გაწყვეტაზე, მპა (TK, TJIK-PO, JK-P ბაგირებისთვის $R_{\text{შ}} = 1176, 1372, 1568, 1666, 1764, 1862$ და 1960; დახურული ბაგირებისთვის $R_{\text{შ}} = 1078, 1176, 1274, 1372$); 100 - მპა-ის ნ/სმ²-ში გადასაყვანი კოეფიციენტი.

შიგა რგოლის გამჭიმავი და გარე საყრდენი რგოლის მკუმშავი ძალები განისაზღვრება ფორმულით:

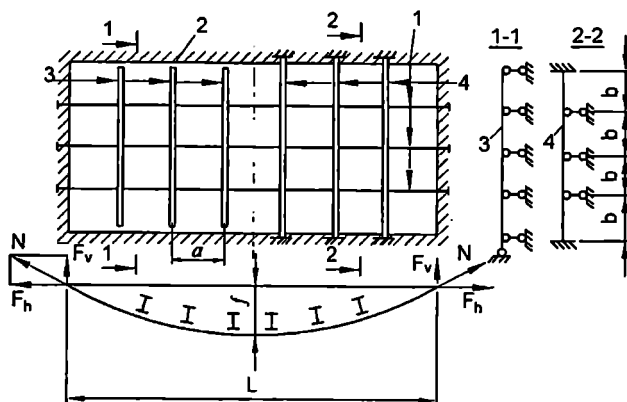
$$N_i = F_h l / 2a. \quad (188)$$

ღუნად-ხისტი ძაფების ზუსტი გაანგარიშება საკმაოდ რთულია, ამიტომ მუდმივი დატვირთვისაგან, თოკის მრუდის მსგავსად, მოღუნული ხისტი ძაფების კვეთები შეიძლება შეირჩეს მიახლოებითი ხერხით. ხისტი ძაფის გამჭიმავი ძალა განისაზღვრება (182)-ე ფორმულით, ხოლო მღუნავი მომენტი – ფორმულით:

$$M = M_b - F_h f, \quad (189)$$

სადაც M_b – კოჭური მომენტია ძაფის კვეთში.

ვანტურ-კოჭური სისტემები (ფიგ. 216), რომლებშიც კოჭებს ვანტთან ყოველ გადაკვეთაზე აქვთ სახსრები, გაიანგარიშება როგორც შეყურსული ძალებით დატვირთული ერთსართყლიანი მოქნილი ძაფები.



ფიგ. 216. ვანტურ-კოჭური სისტემების გაანგარიშებისათვის

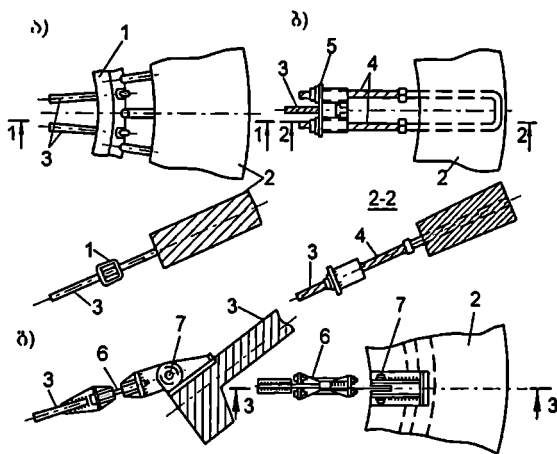
1 – მზიდი ვანტა; 2 – საყრდენი კონტური; 3 – მრავალმალღიანი უჭრი კოჭები;

4 – იგივე, კონტურზე ჩამაგრებული

უჭრი კოჭების შემთხვევაში, სისხისტიდან გამომდინარე, მათ შეუძლიათ შეასრულონ სისტემაში ძალების გადამანაწილებელი ან სისტემის მასტაბილიზებული ელემენტების ფუნქცია, განსაკუთრებით არათანაბარი დატვირთვისას. გადანაწილების ეფექტი იზრდება სისტემის წინასწარი

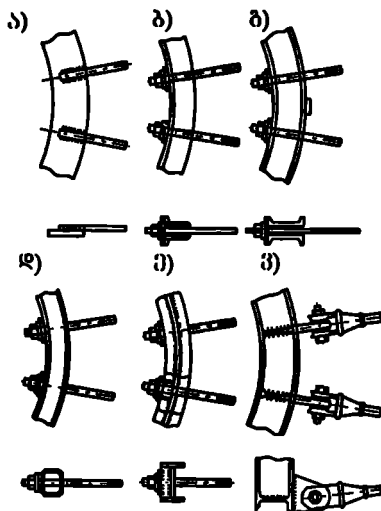
დაბაბების შემთხვევაში (კოჭების წინასწარი მოღუნვით, ამოზნექილობით ზევით). გაანგარიშება წარმოებს ჯვარედინი კოჭების სისტემის ანალოგიურად კოჭებისა და ძაფების სიხისტის გათვალისწინებით (იხ. პ. 123).

მიახლოებით გაანგარიშებებში დასაშვებია ეანტა გაანგარიშდეს როგორც ერთსარტყელიანი სისტემა, ხოლო კოჭი, როგორც მრავალმალიანი უჭრი კონსტრუქცია, რომლისთვისაც შუალედურ საყრდენებს წარმოადგენს ეანტები. რადიალურ სისტემებში მოქნილი ეანტების გარე საყრდენ რგოლთან მიერთების კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 217-ზე, ხოლო შიგა გაჭიმულ რგოლთან – ფიგ. 218-ზე. პირველ შემთხვევაში კვანძები დამახასიათებელია კუმშვაზე მომუშავე შეკრული საყრდენკონტურიანი ყველა ტიპის კიდული კონსტრუქციებისათვის.



ფიგ. 217. რადიალურ სისტემებში რკინაბეტონის გარე საყრდენ რგოლთან ეანტების მიერთება

ა – გადამყვანი რგოლით; ბ – შეწყვილებული შევრილებით; გ – მოსაჭიმი ჭანჭიკებით; 1 – კოლოფისებრი რგოლური ელემენტი; 2 – რკინაბეტონის გარე საყრდენი რგოლი; 3 – ეანტები; 4 – შეწყვილებული შევრილები; 5 – ჩასასხმელი მილისი; 6 – მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები; 7 – სახსარი

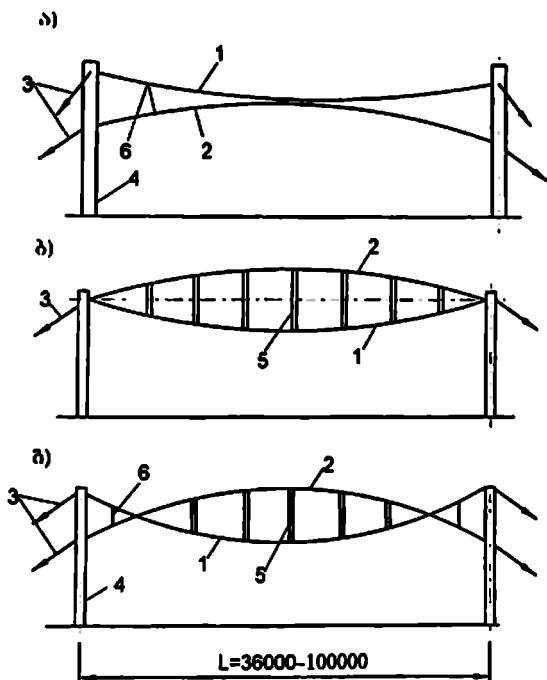


ფიგ. 218. რადიალურ სისტემებში შიგა საყრდენ რგოლთან ვანტების მიერთების ვარიანტები

14.3. ორსართყელიანი წინასწარ დაძაბული გადახურვა

ორსართყელიანი წინასწარ დაძაბული გადახურვა ეწოდება სისტემას, რომელიც შედგება ორი მოქნილი ძაფისგან, რომლებიც განლაგებულია ერთი მეორის ზევით და ერთმანეთთან დაკავშირებულია პარალელურად განლაგებული საჭიმებით (ფიგ. 2219 ა), განმბჯენებით (ფიგ. 219, ბ) ან მათი კომბინაციით (ფიგ. 219, გ). წინასწარი დაძაბვის გამო, რაც ხორციელდება საჭიმებისა და განმბჯენების დახმარებით, ორსართყელიან სისტემებს აქვთ ნაკლები დრეკადი დეფორმაციები ერთსართყელიანთან შედარებით, რაც ქმნის კარგ წინაპირობებს მზიდი სისტემისაგან დამოუკიდებლად მომუშავე მსუბუქი სახურავების გამოყენებისათვის. თუმცა, ვერტიკალური ძაბვადი ელემენტები ხელს არ უშლიან მოქნილი ძაფების პორიზონტალურ გადაადგილებებს, ამის გამო ასეთი კონსტრუქციების კინემატიკური გადაადგილებები ნაკლებად განსხვავდება ერთსართყელიანი სისტემებისაგან.

ეკონომიურად უფრო გამართლებულია ღინზისებრ-ამოზნეკილი სისტემები (ფიგ. 2219 ბ), ვინაიდან მზიდი და მასტაბილიზებული გვარლებისთვის მათ აქვთ საერთო საყრდენი კონსტრუქცია და ხელს უწყობენ წყლის მარტივ არინებას. თუმცა, შეკუმშული დგარები საჭიროებენ ლითონის მნიშვნელოვან ხარჯს, ეს კი ამცირებს მოცემული სქემის ეფექტურობას.



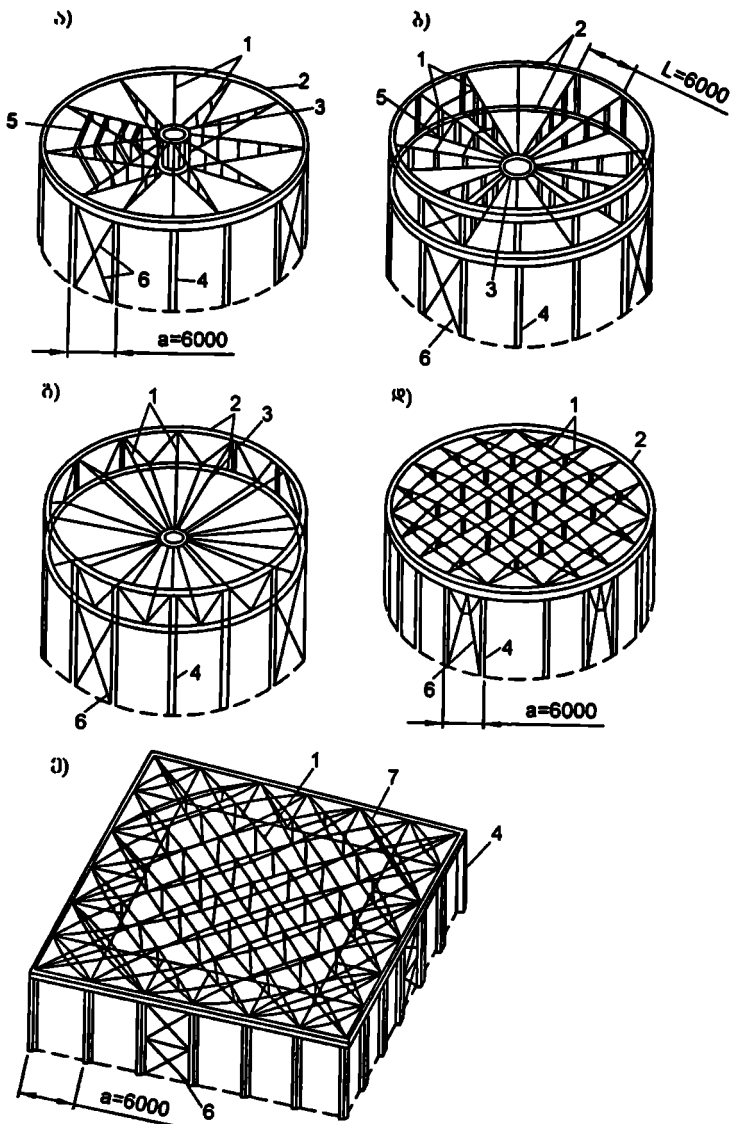
ფიგ. 219. მართკუთხა გეგმის მქონე ორსართულიანი კიდული გადასურვების სქემები

ა - ჩაზნეკილი; ბ - ამოზნეკილი; გ - ამოზნეკილ-ჩაზნეკილი; 1 - მზიდი ვანტა;

2 - მასტაბილიზებული გვარლი; 3 - საჭიმრები; 4 - საყრდენი;

5 - ხისტი განმბჯენები; 6 - მოქნილი საკოჭები;

ორსართულიანი სისტემის ყველაზე გავრცელებული კონსტრუქციული ფორმებია - რადიალურად განლაგებულ გვარლებიანი წრიული გადასურვები (ფიგ. 220, ა-გ), მათ შორის "ველოსიპედის ბორბლის" ტიპის სისტემა (ფიგ. 220, ა).

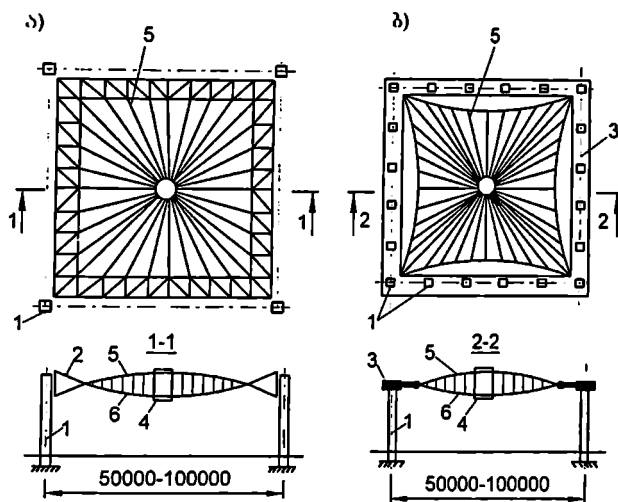


ფიგ. 220. წრიული და მართკუთხა გეგმის მქონე ორსართულიანი კიდული გადასურვების სქემები

ა - რადიალური, ორსართულიანი ცენტრალური რგოლით; ბ - რადიალური, ორსართულიანი საყრდენი რგოლით; გ - რადიალურ-ნაკეცივანი (ნაოჭა), ორსართულიანი საყრდენი რგოლით; დ - გადაჯვარედინებული ვანტურ წამწებებიანი ორთოგონალური სისტემა საყრდენი რგოლით; ე - კუბარტული გეგმის მქონე, გადაჯვარედინებული ვანტურ წამწებებიანი დიაგონალური სისტემა გისოსოვანი საყრდენი კონტური; 1 - შიდა ვანტები; 2 - საყრდენი რგოლი; 3 - ცენტრალური რგოლი; 4 - სვეტები; 5 - გრძივები; 6 - კვეთები; 7 - გისოსოვანი საყრდენი კონტური

სახურავის მონტაჟისას შემოთჩამოთვლილი ყველა სისტემა საჭიროებს გრძივების მოწყობას, რაც ზრდის მასალების ხარჯს, განსაკუთრებით გვეგით წრიულ სისტემებში. ორი (ფიგ. 220, დ, ე) ან სამი მიმართულებით განლაგებული, პარალელურ ვანტებიანი წამწების სისტემებში ფენილი ლაგდება სისტემის კენახებზე გრძივების გარეშე.

ჯვარედინი ვანტური წამწები საშუალებას იძლევა შეიქმნას გეგმაში მართკუთხა გადახურვები საჭიმების გარეშე (ფიგ. 220. ე). ასეთ კონსტრუქციებში განმზღენს ითვისებენ სისტემის შუა სიბრტყეში, გადახურვის პერიმეტრზე განლაგებული ჰორიზონტალური ხისტი წამწები.



ფიგ. 221. კვადრატული გეგმის მქონე ორსართულიანი რადიალური გადახურვის სქემები

ა - ღუნვადი საყრდენი კონტური; ბ - უღუნვადი საყრდენი კონტური;

1 - სვეტები; 2 - გისოსოვანი საყრდენი კონტური; 3 - კოჭური საყრდენი კონტური;

4 - შიგა რგოლი; 5 - მასტაბილიზებული გვარლები; 6 - მზიდი ვანტები

კვადრატულ გეგმაში, ოთხ კუთხეზე დაყრდნობისას, შესაძლებელია ვანტების რადიალურად განლაგება (ფიგ. 221, ა). ამ შემთხვევაში კონტურის წამწები უნდა იყოს სამკუთხა კვეთის, ერთი გვერტიკალური წახნაგით, რომელიც სვეტებს შორის მალში მუშაობს ღუნვაზე. პერიმეტრზე სვეტებიან, გეგმაში მართკუთხა რადიალურ სისტემებში ხისტი ღუნვადი კონტურის

შესაცვლელოდ შეიძლება გამოყენებული იქნეს გვარლი-ქვესაკრავები, რომლებიც განმზღჟენ გადასცემენ სვეტებზე განთავსებულ კოჭური საყრდენი კონტურის კუთხეებში (ფიგ. 221, ბ).

ორსართყელიანი წინასწარ დაძაბული სისტემები, ერთსართყელიანის მსგავსად, შეიძლება იყოს ერთმაღლიანი და მრავალმაღლიანი, აგრეთვე კარვისებრი, რგოლების განლაგებით ერთ ან სხედასხვა დონეზე. ორსართყელიან სისტემებში მიზანშეწონილია გვარლებს შორის პორიზონტალური მანძილი დაინიშნოს 3-6 მ, ხოლო მანძილი დგარებს ან საკოჭებს შორის 2.5-4 მ. შეკუმშული დგარების გამოყენების შემთხვევაში (მათი რაოდენობისა და ფოლადის ხარჯის შესამცირებლად) მათი ბიჯი შეიძლება გაიზარდოს 4.5-6 მ-დე.

ორსართყელიანი სისტემების დაპროექტებისას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გვარლების ჩაკიდულობის ისრის დანიშნა, რომელთა სიდიდეები შეიძლება მერყეობდეს მაღლის 1/10-1/30-ს ფარგლებში. მზიდი ვანტების ჩაკიდულობის ოპტიმალური ისარია მაღლის 1/8-1/15 და შეიძლება დაიშვას არანკლები 1/20; მასტაბილიზებული გვარლებისთვის ჩაკიდულობის ისარი შეიძლება იყოს იგივე ან რამდენადმე ნაკლები.

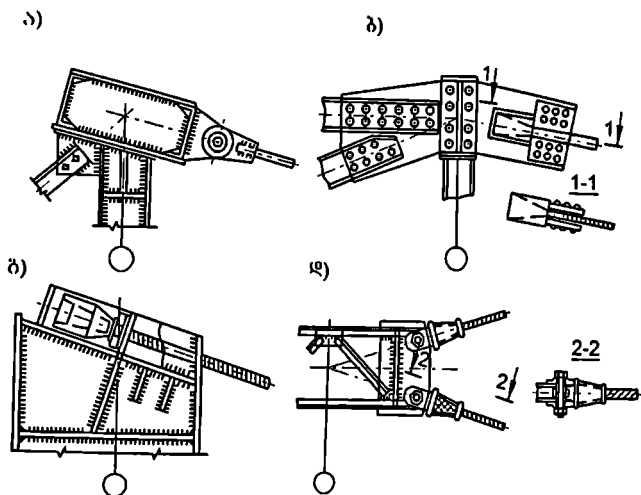
იმის გათვალისწინებით, რომ გვარლების კეეთის ფართობების თანაფარდობა მნიშვნელოვნად არ მოქმედებს სისტემის ჩაღუნეებზე, მიახლოებით გაანგარიშებებში იგი შეიძლება დაინიშნოს დატვირთვების თანაფარდობასთან დამოკიდებულებით:

$$\text{როდესაც } s \gg g, \quad A_H / A_{\text{თ}} \cong 1-1.2;$$

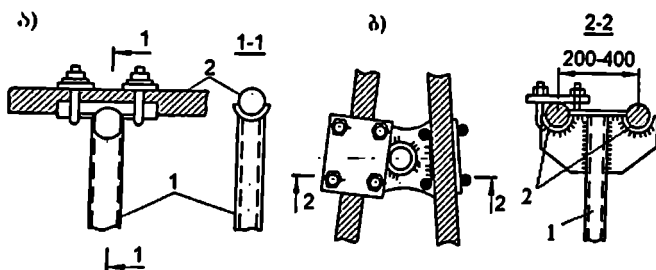
$$\text{როდესაც } s = g, \quad A_H / A_{\text{თ}} \cong 0.6-0.8; \quad (190)$$

$$\text{როდესაც } s \ll g, \quad A_H / A_{\text{თ}} \cong 0.3-0.6.$$

ლითონის საყრდენ კონტურთან და შიგა რგოლთან ვანტების მიერთების კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 222-ზე. ხოლო განმზღჟენების ჩამაგრება ვანტებთან - ფიგ. 223-ზე. მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობიდან გამომდინარე, გარე რგოლის სიგანე აიღება მაღლის 1/50-1/80, ხოლო მისი სიმაღლე - სიგანის 0.3-0.4 და დამოკიდებულია რგოლის მზიდ სვეტებს შორის მანძილზე.



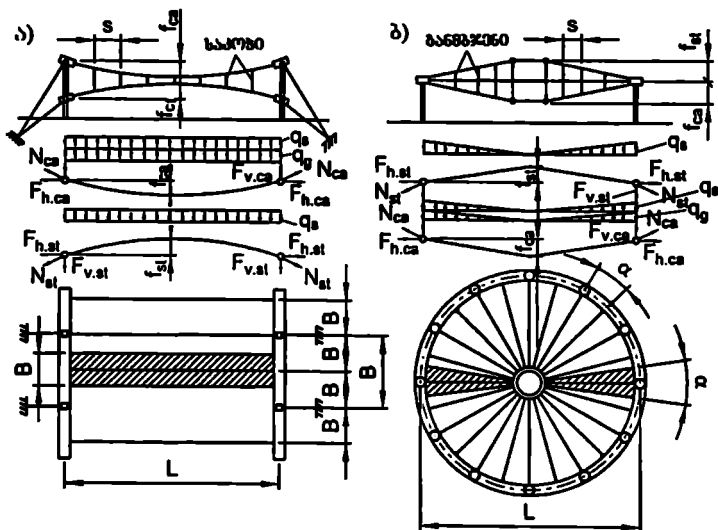
ფიგ. 222. ვანტების მიერთება ლითონის ბორტის ელემენტთან



ფიგ. 223. განმზღვევების ჩამაგრება ვანტებს შორის ორსართყელთან სისტემებში
 ა - სარტყელში ერთეული ვანტის შემთხვევაში; ბ - შეწყვილებული ვანტების შემთხვევაში; 1 - განმზღვენი; 2 - ვანტა

ზღვრულ მდგომარეობაში, სრული მუდმივი q_x და დროებითი q_y დატვირთების ზემოქმედების დროს ორსართყელთან სისტემების გეარლების მიახლოებითი გაანგარიშება (ფიგ. 224), იმის დაშვებით რომ დამაბავეი (მასტაბილიზებელი) გეარლები ითიშებიან მუშაობიდან, შეიძლება შესრულდეს ერთსართყელთან სისტემის ანალოგიურად. თუმცა, საანგარიშო დატვირთვების მოქმედების დროს მასტაბილიზებელი ვანტების წინასწარი

დაჭიმულობის ძალეას ინარჩუნებენ მათი საწყისი დაჭიმულობის 20-30%-ის ფარგლებში, რაც შეესაბამება დამატებით დროებით დატვირთვას $\Delta q_s = (0.2+0.3) q_s$. ამიტომ, ერთსართყელიანი სისტემებისაგან განსხვავებით, ორსართყელიან სისტემებზე საანგარიშო დატვირთვები იქნება: მზიდის გეარლისთვის – $q_{ca} = q_g + (1.2-1.3) q_s$; მასტაბილიზებული გეარლისთვის – $q_{st} = (1.2-1.3) q_s$.



ფიგ. 224. ორსართყელიანი კიდული სისტემების გაანგარიშებისათვის
ა – მართკუთხა გეგმით; ბ – წრიული გეგმით

ძალები სისტემის დამბაზე დგარებსა და საკოჭებში განისაზღვრება შესაბამისად ფორმულებით:

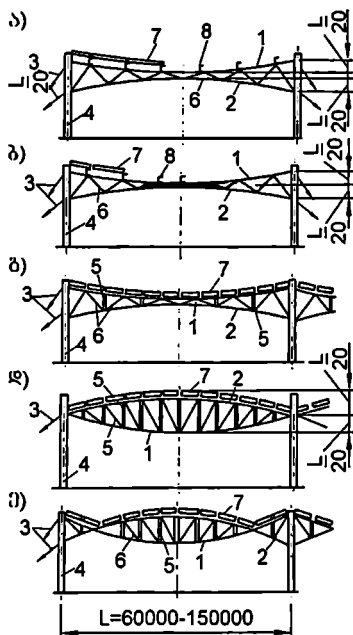
$$N_c = q_{ca} s, \quad (191)$$

$$N_t = q_{st} s, \quad (192)$$

სადაც s განმზღვნების ან საკოჭების ბიჯია.

14.4. გვარლური წამწე წარმოდგენს ორსართულიანი სისტემების შემდგომ განვითარებას.

ორსართულიანი სისტემებისაგან განსხვავებით, გვარლურ წამწეებში საკოჭები (შემკერელები) და განმჯენები შეცვლილია სამკუთხა ან ირიბნული გისოსით, რის გამოც მთელი სისტემა გომეტრიულად უცვლელი და უფრო მეტად ხისტი ხდება (ფიგ. 225). გვარლური წამწეების ეს თვისებები განსაზღვრავენ მათი რაციონალური გამოყენების სფეროს, კერძოდ არათანაბარი და დიდი დროებითი დატვირთვების მქონე გადახურებში..

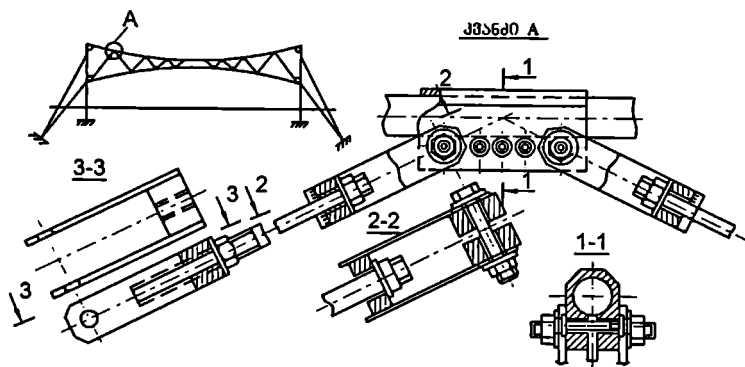


ფიგ. 225. წინასწარ დაბებული ვანტური წამწეების სქემები

- ა-გ - ჩაზნექილი გისოსის სხვადასხვა ტიპით ; დ - ამოზნექილი-
ჩაზნექილი; 1 - მზიდი ვანტა; 2 - მასტაბილიზებული გვარლი; 3 - სატიმარი;
4 - სვეტი; 5 - ხისტი განმჯენები; 6 - მოქნილი საკოჭები; 7 - გადახურვის
ფილები; 8 - გრძივი

გეარლურ წამწებებში უპირატესად გამოიყენება მოქნილ ელემენტებიანი სამკუთხა გისოსები (ფიგ. 225, ა, ბ), რომლებშიც აღიძვრება, როგორც გამჭიმავი, ასევე მკუმშავი ძალები. შეკუმშული ირიბების მუშაობის უზრუნველსაყოფად, გისოსში, წინასწარი დაძაბვის გამოყენებით, მუდმივად ინარჩუნებენ გამჭიმავ ძალებს. ირიბულ გისოსებში (ფიგ. 225, გ-ე) შეკუმშულ ელემენტებს ამზადებენ ხისტი პროფილებისგან.

ვანტური წამწე წარმოადგენს სტატიკურად ურკევ სისტემას, ამიტომ მისი გაანგარიშება ხდება სამშენებლო მექანიკის ძირითადი მეთოდებით. მიახლოებით გაანგარიშებებში, წამწების გეარლური სარტყელების კვეთები შეიძლება განისაზღვროს ორსარტყელიანი კიდული სისტემების ანალოგიურად, ხოლო ძალები გისოსში – როგორც მოცემული მოხაზულობის ჩვეულებრივ ხისტ წამწებში.



ფიგ. 226. ვანტური წამწების კვანძები

გისოსში ძალების განსაზღვრის შემდეგ, ნიშნავენ წინასწარი დაჭიმვის ძალას, რომელიც აბსოლუტური მნიშვნელობით უნდა იყოს ირიბებში მაქსიმალურ მკუმშავ ძალეზე მეტი. შემდეგ, წინასწარ დაჭიმვის ძალის გათვალისწინებით, გისოსის ყველა ელემენტში პოულობენ საბოლოო ძალებს. გისოსის ელემენტებს ნიშნავენ მუდმივი კვეთის, რომლის ფართს საზღვრავენ მაქსიმალური გამჭიმავი ძალის მიხედვით. ვანტური წამწების დამახასიათებელი კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 226-ზე. ვანტურ წამწებიანი გადახურების კონსტრუქციული ფორმები ორსარტყელიანი სისტემების კონსტრუქციული ფორმების ანალოგიურია.

14.5. უნაგირისებრი ბაღახურვები

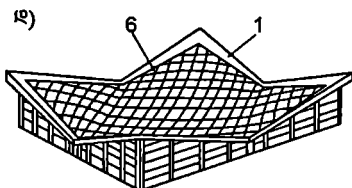
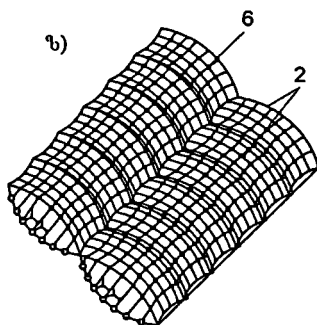
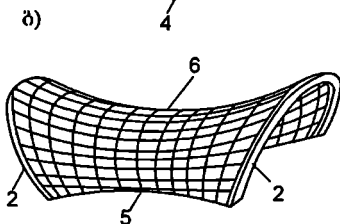
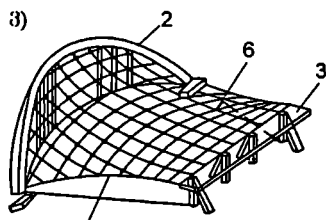
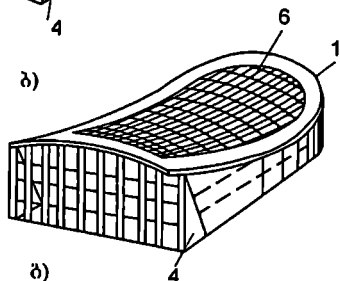
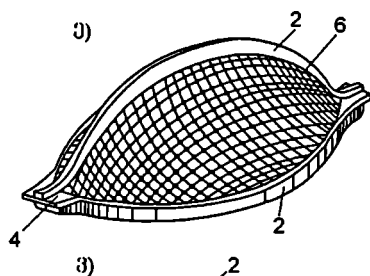
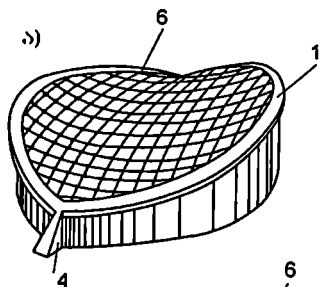
უნაგირისებრი გადახურვა წარმოადგენს სისტემას, რომელიც შედგება (უმეტეს შემთხვევაში) ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ზედაპირის მქონე დაძაბული ბადისაგან და ხისტი ან კომბინირებული საყრდენი კონტურისაგან (ფიგ. 227). ბადეები წარმოიქმნება ორი სახის ორთოგონალურად განლაგებული ურთიერთმართობული გვარდებისაგან, რომელთაგან ერთი მზიდია (ჩაზნეკილი ბადე), ხოლო მეორე – მასტაბილიზირებული (ამოზნეკილი ბადე).

საყრდენი კონტურის კონსტრუქციიდან გამომდინარე, შეიძლება შეიქმნას კომპოზიციურად მრავალფეროვანი არქიტექტურულ-კონსტრუქციული ფორმების მქონე უნაგირისებრი გადახურვები და მთლიანად შენობები. გამომდინარე აქედან, უნაგირისებრმა ბადეებმა ფართო გაერცვლება მოიპოვეს სამშენებლო პრაქტიკაში.

საყრდენი კონტურების უფრო მეტად გაერცვლებული ტიპებია – ერთმანეთის მიმართ დახრილად განლაგებული და საძირკველზე, სვეტებზე ან მზიდ კედლებზე დაყრდნობილი, ორი ან სამი თაღისგან შექმნილი კომბინაციები (ფიგ. 227, ა, 228). ასეთ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებს გააჩნიათ გაერთმთლიანების კარგი შესაძლებლობები საზოგადოებრივი დანიშნულების დიდმაღლიანი შენობების დაპროექტების დროს. დახრილი თაღების გამოყენება შესაძლებელია გვარდ-ქვესაკრავებისა (ფიგ. 227, გ) და კოჭების სახის სწორხაზოვანი კონტურების კომბინაციაში (ფიგ. 227, ვ). ასევე, შესაძლებელია უნაგირისებრი ბადეების გამოყენება მრავალმაღლიან მრავალუჯრედოვან შენობებში (ფიგ. 227, ზ).

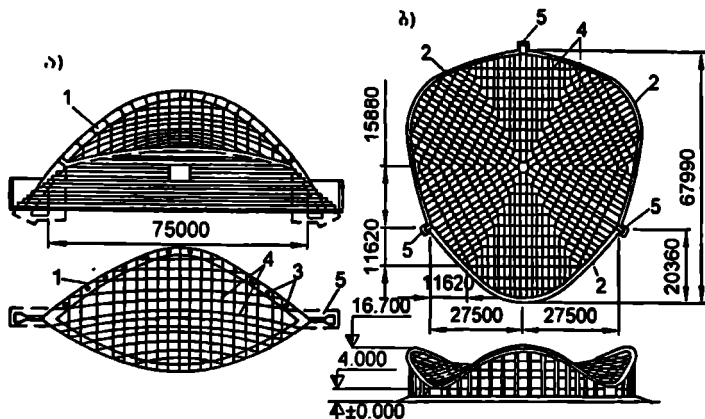
თაღოვან კონტურებთან ერთად ხშირად იყენებენ ჩაკეტილ კონტურებს – მარტივი და რთული ფორმის მოღუნული რგოლების სახით (ფიგ. 227, ბ), მართკუთხა ტიპის (ფიგ. 227, დ), რომლებიც მასალის ხარჯის მიხედვით ჩამორჩებიან თაღოვან კონტურებს.

უნაგირისებრი ბადეებიანი ნაგებობის ფუნქციურად აუცილებელი ფორმების გარდა, ამ ტიპის კონსტრუქციების ფორმაწარმოქმნის შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, დაპროექტების პრაქტიკაში გვხვდება დიდმაღლიანი გადახურვები, რომლებიც ხასიათდება კონსტრუქციული სირთულით და საჭიროებს მასალის დიდ ხარჯს. ასეთი გადახურვა აქვს ტოკიოში, “იოიგ”-ის ოლიმპიური კომპლექსის დიდ საცურაო აუზს (ფიგ. 229).



ფიგ. 227. უნაგირისებრი ბადეების ძირითადი სქემები

ა - ორი დახრილი თაღით შედგენილი ჩაკეტილ კონტურიანი; ბ - რთული მრუდხაზოვანი კონტურით; გ - დახრილი თაღებით და გვარლ-ქვესაკრავებით; დ - კვადრატულ გეგმიანი, ხაზოვანი საყრდენი კონტურით; ე - ვერტიკალური თაღით; ვ - კომბინირებული გადაწყვეტა თაღით, კოჭით და გვარლ-ქვესაკრავებით; ზ - რამდენიმე საყრდენი თაღით; 1 - საყრდენი კონტური; 2 - თაღი; 3 - კოჭი; 4 - პილონი; 5 - გვარლ-ქვესაკრავი; 6 - ბადე

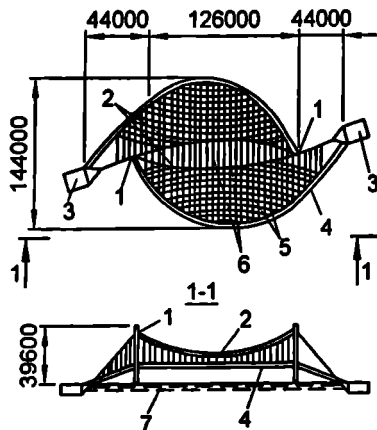


ფიგ. 228. ბადისებრი კიდული გადასურვების მაგალითები

ა - ესტრადა ტალიონში (ესტონეთი); ბ - საცურაო აუზი ოდესაში (უკრაინა);

1 - ფოლადის თალი; 2 - რკინაბეტონის თალი; 3 - სვეტები; 4 - გეარლები;

5 - პილონები



ფიგ. 229. ტოკიოს (იაპონია) ოლიმპიური კომპლექსის საცურაო აუზის რთული

ბადისებრი გადასურვის სქემა

1 - პილონები; 2 - გეარლ-ქვესაკრავები; 3 - ანკერული საბირკველები;

4 - კონტურის კოჭები; 5 - ვანტური წამწევები; 6 - კაეშირები; 7 - განმზღენი კოჭები

ძაღვების განაწილების თვალსაზრისით, უნაგირისებრი გადახურვის საუკეთესო ზედაპირია პიპერბოლური პარაბოლოიდის ზედაპირი. ამ შემთხვევაში, მზიდ და მასტაბილიზირებელ ძაფებს, ყოველ გეარულში $1/2$ მუდმივი ფარდობის, ჩანეკილი და ამოზნექილი კეადრატული პარაბოლის ფორმა აქვთ, რაც გადახურვაზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვის დროს უზრუნველყოფს ძაღვების ტოლობას ყველა გეარულში. მზიდი ძაფების ოპტიმალური ჩაკიდულობის ისრები $f_{ca} = (1/8 - 1/15)/\cos$, ხოლო მასტაბილიზირებელის - $f_{sr} = (1/10 - 1/25)/\sin$, თუმცა არსებული კონსტრუქციების უმრავლესობაში ისინი მიიღებოდა მაღლის $1/20$ -ის სიახლოვეს.

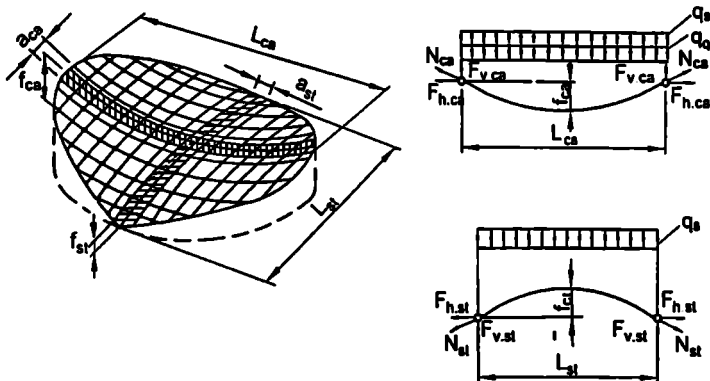
გეარლებს შორის მანძილი დამოკიდებულია ჭერის მზიდ ელემენტებზე და ტენტური და აფსკოვანი გადახურვებისათვის მიიღება არა უმეტეს 1 მეტრის, ხოლო ხისტ ფენილებიანი გადახურვებისათვის არა უმეტეს 3 მეტრის. უნაგირისებრი ბადეების წინასწარი დაძაბვა იძლევა ისეთი სისტემის შექმნის შესაძლებლობას, რომელშიც მასტაბილიზირებელ გეარლებს შეუძლიათ აითვისონ კუმშვის ძაბვები ვერტიკალური დატვირთვებისგან და ამით დაეხმარონ მზიდ გეარლებს გაჭიმვაზე მუშაობაში.

უნაგირისებრი ბადეების მუშაობა ასევე განსხვავდება ორსართყელიანი სისტემების მუშაობისაგან იმით, რომ ყოველ მზიდ გეარლს შეესაბამება, არა ერთი მასტაბილიზირებელი გეარლი, არამედ ყველა მასტაბილიზირებელი გეარლების ერთობლიობა, ანუ სისტემა მთლიანობაში მუშაობს, როგორც სივრცითი.

უნაგირისებრი სისტემების ეფექტურობა დიდადაა დამოკიდებული საყრდენი კონტურის მასალატევადობაზე. კონტურზე მასალის ხარჯის შემცირება შეიძლება მისი არადუნეადად, პარაბოლური დახრილი თაღების და ელიფსური ან მრგვალი სივრცითი რგოლის სახით დაპროექტებისას. თუმცა, კონტური არადუნეადია მხოლოდ გადახურვაზე მუდმივი, თანაბრად განაწილებული დატვირთვების მოქმედებისას. დროებითი დატვირთვის ცალმხრივი მოქმედებისას, საყრდენ კონტურში ჩნდება მღუნავი მომენტები, რაც ითხოვს კონტურის გაძლიერებას.

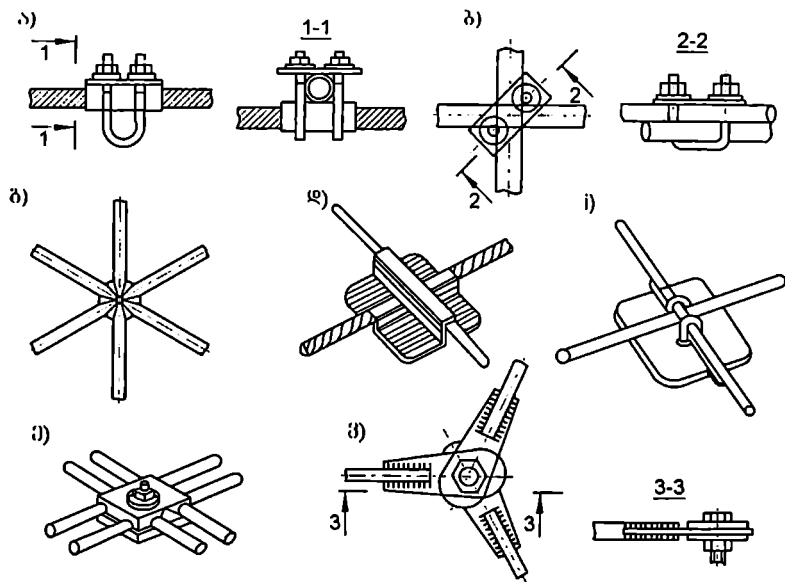
უნაგირისებრ გადახურვებს ანგარიშობენ ვერტიკალურ, საკუთარი წონისა და თოვლისაგან გამოწვეულ, და ჰორიზონტალურ, ქარის დატვირთვებზე. გადახურვების ზუსტი გაანგარიშება ხორციელდება სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით კომპიუტერული პროგრამების

გამოყენებით, როგორც მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემების. უნაგირისებრი კონსტრუქციების მიახლოებითი გაანგარიშება მასტაბილიზებული გეარლის წინასწარი დაძაბვის შენარჩუნების გათვალისწინებით, სრული ევრტიკალური საანგარიშო დატვირთვისას, შეიძლება განხორციელდეს ორსართყელიანი სისტემების ანალოგიურად. საანგარიშოდ იღებენ უნაგირისებრი ბადის მთავარი ღერძების სიბრტყეებში მდებარე ძაფებს (ფიგ. 230).

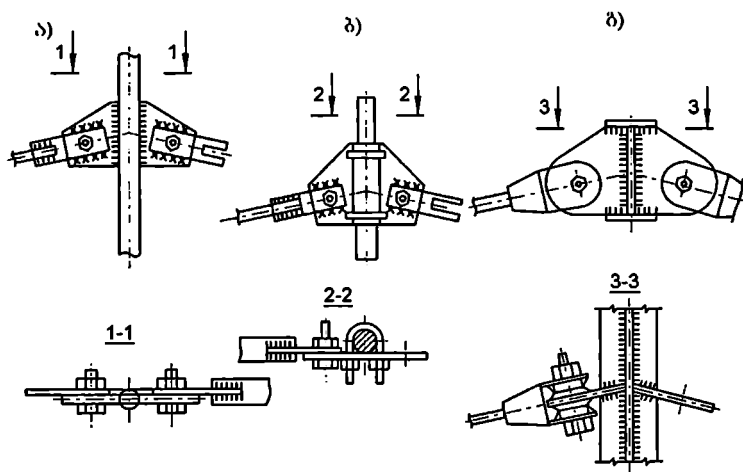


ფიგ. 230. უნაგირისებრი გადახურვის გაანგარიშებისათვის

თაღოვანი ან რთული ჩაკეტილი კონტურების გაანგარიშებას აწარმოებენ თაღებისა (იხ. პ. 92) და ორმაგი სიმრუდის გარსების კონტურების (იხ. პ. 115) გაანგარიშებების ანალოგიურად. უნაგირისებრი ბადეების სტაბილიზაციას ასორციელებენ მოწყობილობებით მასტაბილიზირებული ძაფების დაჭიმვით (იხ. ფიგ. 217) ან საყრდენი კონტურის განსაზღვრული კუთხით შემობრუნებით. იშვიათად, ბადეებს ძაბავენ მზიდი ძაფების წინასწარი დატვირთვით. უნაგირისებრი ბადეებში გეარლების გადაკეთის დამახასიათებელი კვანძები ნაჩვენებია ფიგ. 231-ზე, ხოლო ბადის გეარლების გეარლ-ქვესაკრავებთან შეერთება – ფიგ. 232-ზე.



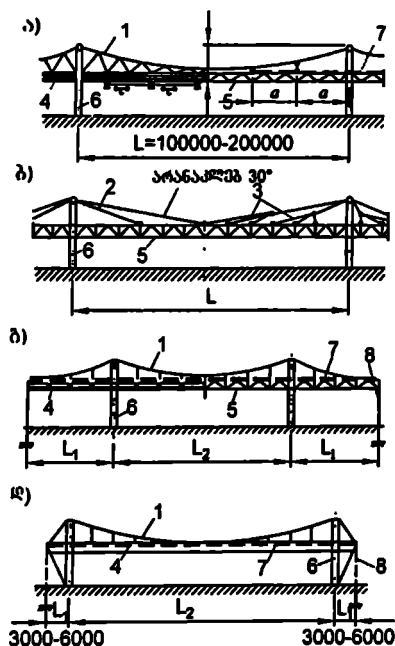
ფიგ. 231. ვანტების გადაკეთების კვანძები უნაგირისებრ გადასურვებში



ფიგ. 232. გვარლ-ქვესაკრავთან ვანტების მიერთების კვანძები

14.6. კომბინირებული სისტემები

კომბინირებულ სისტემებს მიეკუთვნება გადახურვები, რომლებიც შედგება გაჭიმული ვანტების ან ძაფებისგან და შეკუმშულ-გაღუნული კოჭების, წამწების ან სხვა ხისტი ელემენტებისაგან (ფიგ. 233). ასეთი კონსტრუქციების ღირსებას წარმოადგენს მნიშვნელოვანი სიხისტე, რომელიც წინააღმდეგობას უწევს ადგილობრივ ჩაღუნვას არათანაბარი დატვირთვისას, ამიტომ კომბინირებულმა სისტემებმა ფართო გამოყენება პოვეს 20 ტონამდე ტვირთამწეობის კიდულ ამწეებიან სამრეწველო შენობების დიდმალიან გადახურვებში.



ფიგ. 233. მაღიანი კომბინირებული კონსტრუქციების სქემები

ა-დ - სხვადასხვა ტიპის საკიდრებით; g , g - იგივე, დამატებითი საჭიმრებით;

1 - მზიდი გეარლი; 2 - მარტივი საკიდრები; 3 - რთული საკიდრები; 4 - კოჭები;

5 - წამწები; 6 - სვეტები; 7 - ფილები; 8 - დამატებითი საჭიმრები

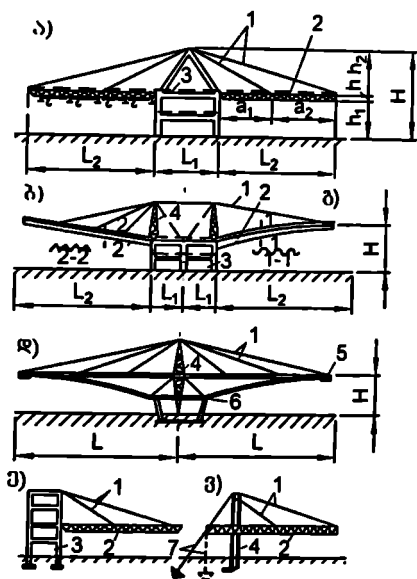
კიდული კონსტრუქციების უარყოფითი თვისებებია: ჭერს ზემოთ ღია გეარლების არსებობა, რომლებიც ატმოსფერული ფაქტორების (ტემპერატურა და ტენიანობა) ზემოქმედებით განიცდიან კოროზიას; ვანტური კონსტრუქციების დამზადების შედარებითი შრომატევადობა და მონტაჟის დროს ვანტების წინასწარი დაძაბვის რეგულირების სირთულე. კოროზიისაგან დასაცავად საჭიროა ღია ნაწილებისა და კვანძების მუდმივი კონტროლი და ღებვა.

უმეტესად გავრცელებულია ბრტყელი, გარე უგანმზგენო კომბინირებული სისტემები, რომლებშიც ხისტ კონსტრუქციად გამოყენებულია ბრტყელი კოჭები ან წამწეები (ფიგ. 233). კომბინირებული სისტემების ჩაღუნვები ძირითადად წარმოიქმნება მრუდწირული ძაფების ან წრფივი ვანტების დრეკადი დეფორმაციების შედეგად. დამრეცობის შემცირებისას, მათი დეფორმაციულობა იზრდება და მთელი სისტემა ღებულობს მნიშვნელოვან ჩაღუნვებს, ამიტომ ძაფის დამრეცობას ზღუდავენ მალის $1/8-1/12$ ჩაკიდულობის ისრით, ხოლო ვანტების მინიმალური დახრის კუთხეებს აპროექტებენ არა უმცირეს 30° .

ხისტი კონსტრუქციის სამშენებლო სიმაღლე დამოკიდებულია საკიდებს შორის მანძილზე და აიღება ამ მანძილის $1/12-1/15$. კომბინირებული კონსტრუქციებით შეიძლება გადაიხუროს 200 მ-მდე მალის, მართკუთხა და კვადრატული გეგმის მქონე შენობები.

მშენებლობის პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება კონსოლური კიდული კონსტრუქციები (კონსლების ერთმხრივი ან ორმხრივი განლაგებით) (ფიგ. 234). კიდულ კონსტრუქციებად, ჩვეულებრივი ბრტყელი წამწეების ან კოჭების გარდა, შეიძლება გამოყენებულ იქნას ტალღოვანი, პრიზმული ან კოლოფისებრი გარსები (ფიგ. 234, ბ, გ), ასევე ძაბრისებრი გარსები (ფიგ. 234, დ).

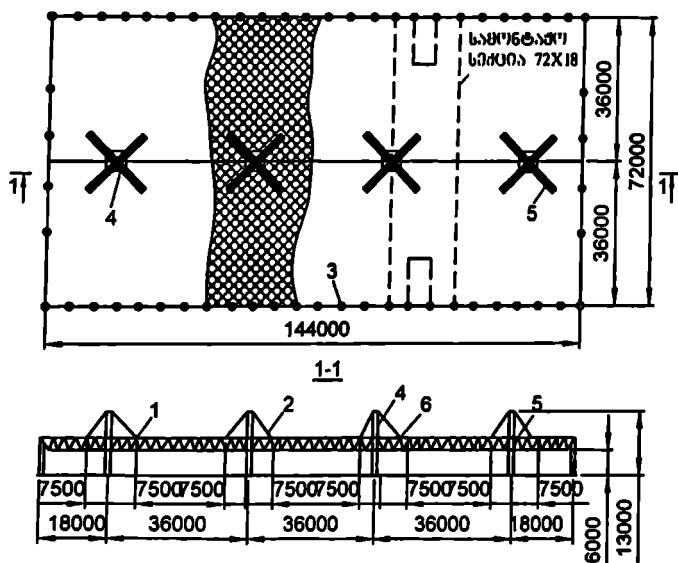
კიდული კონსტრუქციების სახით ფართოდაა დანერგილი ჯვარედინ-დეროვანი ფილები. სიერცულად მომუშავე სისტემის კონსტრუქციის მაგალითია 72X144 მ ზომის აეტობუსების გარაჟის კომბინირებული გადახურვა სანკტ-პეტერბურგში (ფიგ. 235).



ფიგ. 234. კონსოლიდირებული
კომბინირებული

კონსტრუქციების სქემები

- ა - ფერმებით; ბ, გ - ნაოჭებით
და ტალღოვანი გარსებით;
დ - ძაბრისებრი ტიპის;
ე - ერთკონსოლიდირებული, შიდა
ჩარჩოთი; ე - ერთკონსოლიდირებული,
საჭიმოვანით; 1 - გეგალი;
2 - ბრტყელი ან სივრცითი
წამწე; 3 - ჩარჩო; 4 - საყრდენი
დგარი; 5 - გარე რგოლი;
6 - შიდა რგოლი; 7 - საჭიმოვანი
გეგალი



ფიგ. 235. აგრობუნების გარეგანი კომბინირებული გადახურვა კედელი სივრცითი
კონსტრუქციით სანტაპერტურაზე

- 1 - გისოსოვანი ფილა; 2 - შიდა გეგარები; 3 - რკინაბეტონის სვეტები;
4 - პილონები; 5 - განმჯვენები; 6 - ჩაშენებული შენადული კაპიტელი

კომბინირებული კონსტრუქციების გაანგარიშებას აწარმოებენ სამშენებლო მექანიკის მეთოდებით, როგორც სტატიკურად ურკვევი სისტემების. სისტემის ზღვრულ ჩაღუნვებს ამოწმებენ მონტაჟის სტადიაში და ლებულობენ არა უმეტეს მაღლის $1/300 - 1/500$. მიახლოებით გაანგარიშებებში დასაშვებია არ იქნას გათვალისწინებული გადახურვის ცალკეული ნაწილების ერთობლივი მუშაობა, ძაფი ჩაითვალოს უჭიმრად და ელემენტების (მოქნილი და ხისტი) გაანგარიშება ჩატარდეს ცალ-ცალკე სტატიკურ დატვირთვებზე.

14.7. მემბრანული ბარსები

მემბრანული კონსტრუქციები წარმოადგენს სივრცით კონსტრუქციებს, რომლებიც შედგენილია ლითონის თხელი ფურცლისა და ხისტი საყრდენი კონტურისაგან. თხელ ფურცელს აქვს მცირე ღუნვითი სიხისტე, ამიტომ ძირითადად მუშაობს გაჭიმვაზე, რაც საშუალებას იძლევა მაქსიმალურად სრულად იქნას გამოყენებული ლითონის მზიდუნარიანობა და სხვა ბრტყელ და სივრცით კონსტრუქციებთან შედარებით მივიღოთ მინიმალური მასის გადახურვა. სხვა ტიპის კიდული კონსტრუქციებისგან მემბრანული გადახურვების განმასხვავებელი თავისებურებაა ერთ მასალაში მზიდი და შემომსაზღვრელი ფუნქციების შეთავსება, რის გამოც მიიღწევა კონსტრუქციის დამატებითი შემსუბუქება და მასალატევადობის შემცირება.

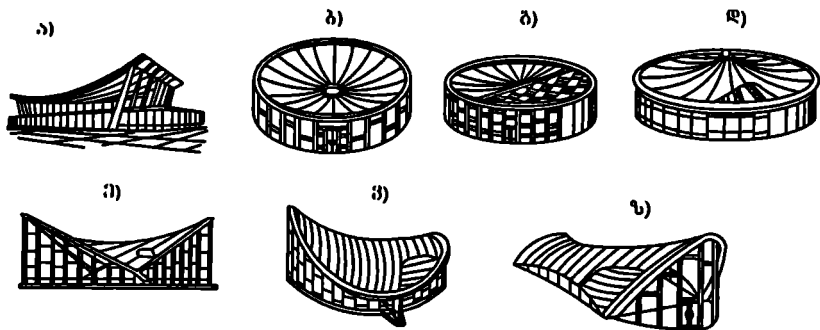
100 მ-დე მაღის შემთხვევაში სიმტკიცის პირობით, ფოლადის მემბრანის სისქე არ აღემატება 1-1.5 მმ-ს, რაც პრაქტიკულად განუხორციელებადია კოროზიამდეგობის პირობიდან გამომდინარე, ამიტომ 10Г2С1 მარკის ნახშირბადმცირე ან 17Г2С და 17Г2СВ მარკის მცირედ ლეგირებული ფოლადის მემბრანის სისქეს აპროექტებენ არანაკლებ 4-6 მმ-სა. რიგ ობიექტებზე 2მმ სისქის ОХ18Т1 მარკის უჟანგავი ფოლადის გამოყენებამ არ გამოიღო დადებითი ეფექტი მისი მაღალი ღირებულებისა და გაუთვალისწინებელი სტატიკური მოვლენების გამო, რაც დაკავშირებულია ადგილობრივი ამოზნექის წარმოქმნასა და ტემპერატურის ზემოქმედებით კონსტრუქციის სხვადასხვა ზონაში ფურცლის მდგრადობის დაკარგვასთან. მემბრანულ გადახურვაში მასალის სიმტკიცის სრულყოფილი გამოყენება მიიღწევა ნახევრად მოპირსაღებელი АМГ21/2Н მარკის ალუმინის თხელი ფურცლის გამოყენების შემთხვევაში.

ალუმინის შენადნობების გამოყენებას აქვს სპეციფიკური უარყოფითი თვისებები, რაც დაკავშირებულია ტემპერატურის შემოქმედებით გამოწვეულ დამატებით ძაბვებთან და დეფორმაციებთან, დრეკადობის დაბალ მოდულთან, ხანძარმდებლობის დაბალ ზღვართან, ზოლების ცუდ შედუღებადობასთან, აგრეთვე მაღალ ღირებულებასთან.

მემბრანული კონსტრუქციებით შეიძლება გადაიხუროს პრაქტიკულად ნებისმიერი მაღი. ჩაკიდულობის ისარი აიღება მაღის 1/15–1/25-ს ფარგლებში. მაღის გადიდებით მემბრანული კონსტრუქციების ეკონომიკური მიზანშეწონილობა იზრდება. მაგრამ მემბრანული კონსტრუქციების გამოყენების გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მათ შეუძლიათ კონკურენცია გაუწიონ მცირე და საშუალო მაღის (18-36 მ) მქონე ლითონის სხვა კონსტრუქციებს.

მემბრანული თხელფურცლიანი გადახურვები მუშაობის ხასიათიდან გამომდინარე შეიძლება დაიყოს ორ ტიპად – ლენტური გადახურვები და მემბრანული გარსები (ფიგ. 236). ლენტური გადახურვები შედგენილია ერთმანეთთან დაუკავშირებელი ცალკეული ლენტებისაგან და მუშაობენ ერთსართყელისანი ვანტური კონსტრუქციების ანალოგიურად. ამ ტიპს აგრეთვე მიეკუთვნება ორი ურთიერთმართობული მიმართულებით გადახლართული ლენტური სისტემები (ფიგ. 236, გ), აგრეთვე ორშირიანი უნაგირისებრი წინასწარ დაძაბული გადახურვები შრეებს შორის მათბუნებლითა და მათბუნებლის გარეშე (ფიგ. 236, ვ, ზ). გადახლართულ ლენტებიან გადახურვებში მიიღწევა ორი მიმართულების ლენტების ერთობლივი მუშაობა, იზრდება კონსტრუქციის სიხისტე არათანაბარი დატვირთვის დროს.

მემბრანულ გარსებში ცალკეული ლენტები შედუღების, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების ან მოქლონების გამოყენებით ერთიანდება მთლიან (უწყვეტ) სივრცით კონსტრუქციად, რომელსაც შესწევს უნარი აითვისოს ძერის ძაღვები. ამის გამო მემბრანულ გარსებს, ლენტურ მემბრანებთან შედარებით, გააჩნიათ მეტი მზიდუნარიანობა და სიხისტე, საჭიროებენ მასალის ნაკლებ ხარჯს მაღის კონსტრუქციაზე და საშუალებას იძლევა, კონტურის სხვადასხვა გადაწყვეტასთან ერთად, შეიქმნას საინტერესო არქიტექტურულ-კონსტრუქციული ფორმები.

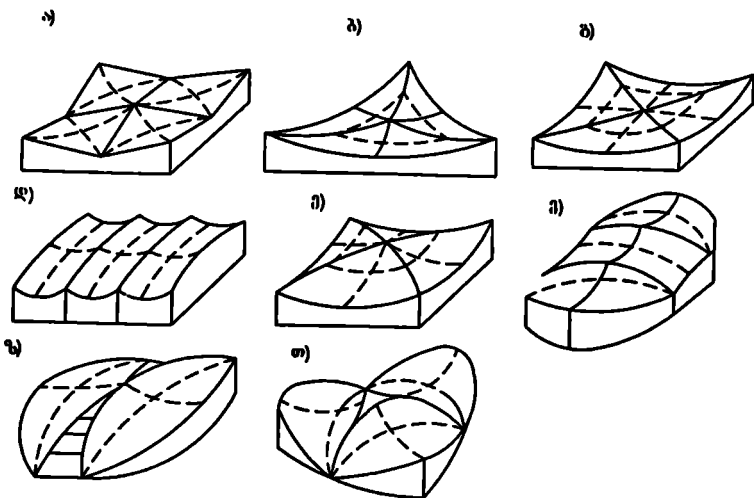


ფიგ. 236. მემბრანული გადახურვების ბირთვადი სახეები

ა - გაუსის ნულოვანი სიმრუდის მქონე ცილინდრული ჩაზნექილი გარსი ფოლადის სიხისტის წიბოებით; ბ - გაუსის დადებითი სიმრუდის მქონე ჩაზნექილი გადახურვა წრიული გეგმით ; გ - იგივე, გადახლართული ლენტებით; დ - გაუსის უარყოფითი სიმრუდის მქონე კარვისებრი გარსი; ე - ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის ფორმის, გაუსის უარყოფითი სიმრუდის მქონე ერთშიანი გადახურვა; ვ - გაუსის უარყოფითი სიმრუდის მქონე ორშიანი უნაგირისებრი გადახურვა ჩაკეტილი კონტურით; ზ - იგივე, ღია კონტურით

მემბრანული გარსების ფორმები ადრე განხილული კიდული გადახურვების ზედაპირების მსგავსია. ისინი შეიძლება იყოს ნულოვანი გაუსის სიმრუდის (ცილინდრული და კონუსური); დადებითი გაუსის სიმრუდის (სფერული, ელიფსური პარაბოლოიდის სახის) და უარყოფითი გაუსის სიმრუდის (კარვისებრი, უნაგირისებრი). ისინი ასევე შეიძლება იყვნენ ერთნაირი ან განსხვავებული ფორმის ზედაპირებისგან შედგენილი (ფიგ. 237). შედგენილ გარსებს აქვთ არა მარტო გამომსახველობითი არქიტექტურული ფორმა, არამედ სისტემაში დამატებითი ხისტი და დრეკადი ელემენტების შემოტანით კონტურში მცირდება მღუნავე მომენტები, უშუალოდ მემბრანაში მცირდება ძალები, იზრდება სისტემის სიხისტე.

ყველა ტიპის მემბრანული გადახურვების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა აგების შედარებით დაბალი შრომატევადობა და ღირებულება, რაც გამოწვეულია 740-2300 მმ სიგანის რულონური ლენტების გამოყენებით.

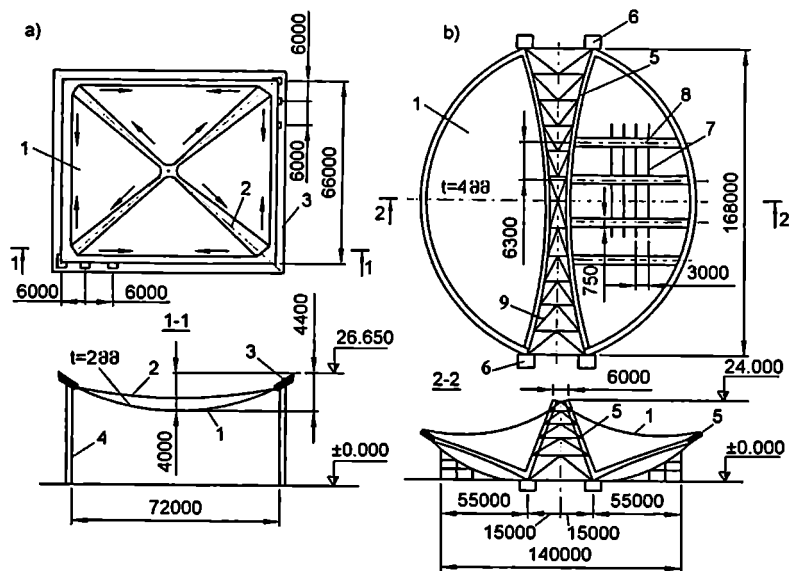


ფიგ. 237. შედგენილი მემბრანული გადახურვების ზედაპირების ფორმები
 ა, დ, ე - გაუსის უარყოფითი სიმრუდით; ბ, ვ, ე - გაუსის ნულოვანი სიმრუდით;

მემბრანული კონსტრუქციები კიდული კონსტრუქციების ტიპური წარმომადგენელია. ღუნვითი სიხისტის უქონლობის გამო აუცილებელია გადახურვის სტაბილიზაცია ნორმალური ექსპლუატაციის უზრუნველსაყოფად. მემბრანული გადახურვების, ისევე როგორც ვანტური სისტემების, სტაბილიზებას ახორციელებენ გადახურვის დამბიშებით; საყრდენ კონტურთან მემბრანის მოჭიმვის გზით გარსის წინასწარი დაძაბვით; ვანტური წამწეების დაჭიმვის საშუალებით გადახურვის გეომეტრიის ცვლილებით; საფუძველთან საჭიმრებით განივი კოჭების მიზიდვით; კონსტრუქციაში, მრუდხაზოვანი წამწეების ან კოჭების სახით, ხისტი-ღუნვადი ელემენტების შემოტანით. სტაბილიზების წესის არჩევა დამოკიდებულია მემბრანული გადახურვის ტიპზე, მის ზომებზე, გეგმის ფორმაზე, საყრდენი კონტურის კონსტრუქციაზე და ა.შ.

იზმაილოვოში (მოსკოვი), 2 მმ სისქის ცილინდრული მემბრანებისგან აგებულია 72X66 მ ზომის, გეგმაში მართკუთხა, დიაგონალური გამაძლიერებელ ელემენტებიანი, უნივერსალური სპორტული დარბაზის კომბინირებული გადახურვა (ფიგ. 238, ა).

კრილატსკოეში (მოსკოვი) აშენებულია 168X138 მ ზომის ველოტრეკის კომბინირებული გადახურვა, რომელიც შედგება 4 მმ სისქის პიპერბოლური პარაბოლოიდის ფორმის ორი შეუღლებული უნაგირისებრი გარსისგან, რომლებიც მოთავსებულია თაღებზე დაკიდებულ, 6 მმ სისქისა და 750 მმ სიგანის ფოლადის მიმმართველ ზოლებზე (ფიგ. 238, ბ).



ფიგ. 238. ნაგებობების მაგალითები ცილინდრული და უნაგირისებრი მემბრანული გადახურვებით

ა - ცილინდრული ფორმის უნივერსალური სპორტული დარბაზი იზმაილოვოში (მოსკოვი); ბ - უნაგირისებრი ფორმის ველოტრეკი კრილატსკოეში (მოსკოვი);

1 - ფოლადის მემბრანა; 2 - ფოლადის მზიდი დიაგონალური ზოლი;

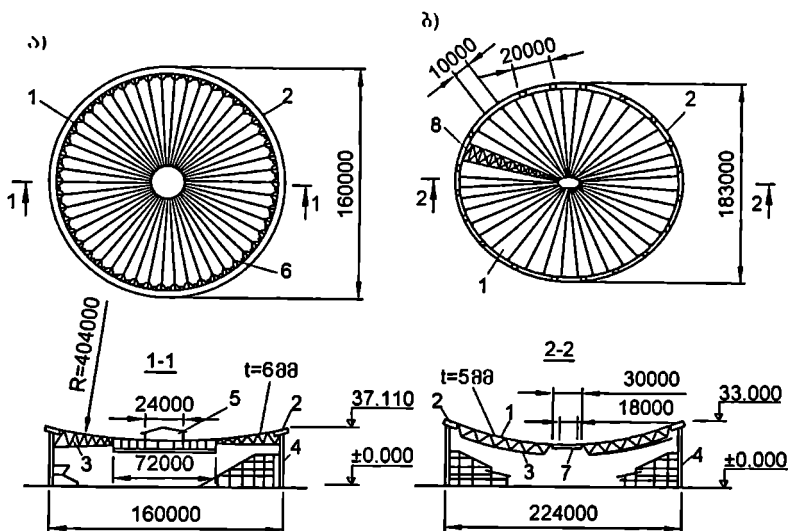
3 - მოაწევი (მოხარჩოებული) რკინაბეტონის ელემენტი; 4 - სვეტი;

5 - ლითონის თაღები; 6 - რკინაბეტონის საყრდენები; 7 - მიმართველი შეფულებები;

8 - ფოლადის მიმართველი ზოლები $t=6$ მმ; 9 - კავშირები

სანკტ-პეტერბურგში უნივერსალური სპორტული დარბაზისთვის განხორციელებულია გეგმაში წრიული, 160 მ ზომის, ეანტური წამწეებით სტაბილიზებული, 6 მმ სისქის ფურცლებიანი ჩაზნექილი მემბრანა (ფიგ. 239, ა).

უნივერსალური სტადიონი მოსკოვში ზომით 224 X 183, გადახურულია 58მ სისქის ჩაზნექილი მემბრანით. მემბრანა სტაბილიზებულია 10 მ ბიჯით დაყენებული, რადიალურად განლაგებული, 2.5 მ სიმაღლის კიდული წამწეებით (ფიგ. 239, ბ).



ფიგ. 239. ნაგებობების მაგალითები ჩაზნექილი მემბრანებით

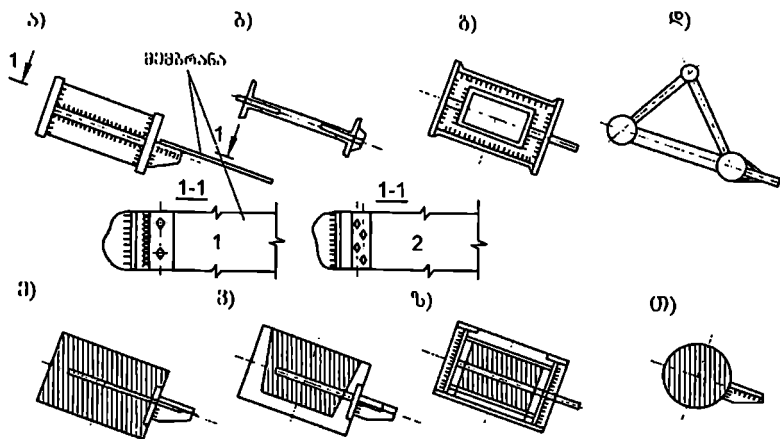
ა - უნივერსალური სპორტული დარბაზი სანკტ-პეტერბურგში;

ბ - უნივერსალური სტადიონი მოსკოვში; 1 - თხელფურცლოვანი მემბრანა;

2 - რკინაბეტონის საყრდენი რგოლი; 3 - მასტაბილიზებული ვანტური (ა) და ხისტი (ბ) წამწეები; 4 - სვეტები; 5 - შუქფარის ზედნაშენი; 6 - საყრდენ კონტურთან მემბრანის მიმაგრების სისტემა; 7 - ჯვარედინა კოჭებიანი ცენტრალური ფილა; 8 - კავშირები

მემბრანული კონსტრუქციების უმნიშვნელოვანესი ელემენტია საყრდენი კონტური, რომელიც მემბრანისგან იღებს უდიდეს ძალებს და გადასცემს საყრდენებზე ან საძირკველზე. ნაგებობის ფორმიდან გამომდინარე, საყრდენი კონტური შეიძლება იყოს ბრტყელი ან სივრცითი, წრფივი ან მრუდწირული მოხაზულობის, ჩაკეტილი ან ღია, სიგრძეზე დაყრდნობილი ან მალში საყრდენების გარეშე.

მემბრანული გადახურების ყველა ტიპში ძირითად ძალებს საყრდენ კონტურში წარმოადგენს მკუმშავი ძალები. ამის გარდა, კონტურში ორ ურთმართოებულ სბრტყეში შეიძლება წარმოიშვას მდუნავი მომენტებიც, ხოლო მემბრანის ექსცენტრისიტეტით მიმადრებისას – მგრეხი მომენტებიც, ამიტომ საყდენი კონტურის კვეთი (ფიგ. 240) ვითარდება ორ სიბრტყეში, მათგან ერთი მდებარეობს საყრდენ კვანძში მემბრანის მხებ სიბრტყეში, ხოლო მეორე – ვერტიკალურ სიბრტყეში.



ფიგ. 240. საყრდენი კონტურის კვეთები

ა-დ – ლითონის; ე-თ – რკინაბეტონის

მასალის ხარჯის მიხედვით უფრო მიზანშეწონილია ჩაკეტილი კონტური, რომელშიც ჯაჭვეური ძალების პორიზონტალური მდგენელები აითვისება გადახურვის დონეზე, ხოლო სვეტებს გადაეცემა მხოლოდ ვერტიკალური რეაქციები. ღია კონტური მხოლოდ იმ შემთხვევაში შეიძლება იყოს გამართლებული, როდესაც იგი შეუდლებულია კონსტრუქციასთან (მაგალითად, ტრიბუნების), რომელსაც შეუძლია თავისი მასით აითვისოს განმბჯენი.

კონტურის თაღოვანი კონსტრუქციების სახით გადაწყვეტის შემთხვევაში, განმბჯენი ათვისებული უნდა იყოს საკოჭებით ან უშუალოდ საძირკვლებით. თაღების დაყრდნობა სვეტებზე ან პილონებზე არ არის

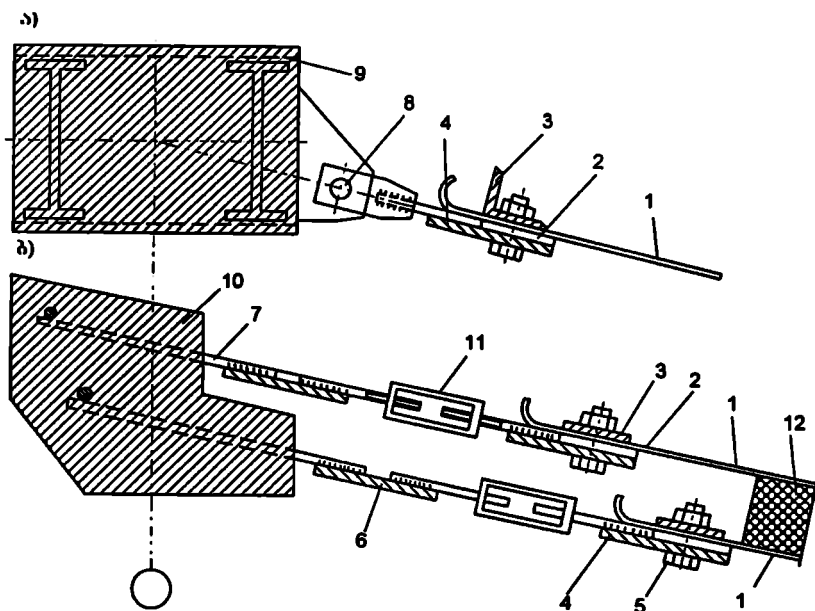
რეკომენდებული მათზე მასალის მნიშვნელოვანი ხარჯის გამო. დაყრდნობილი საყრდენი კონტურის შემთხვევაში მღუნავი მომენტები წარმოიშობა მხოლოდ გადახურვის სიბრტყეში, ამიტომ საყრდენი კონტურის კვეთებს აქვს ორტესებრის ფორმა (ფიგ. 240, ა, ბ). ორი ურთიერთმართობული მიმართულებით მღუნავი მომენტების არსებობისას საყრდენი კონტური კეთდება მთლიანი კოლოფისებრი (ფიგ. 240, გ) ან სამკუთხა (ან სხვა) განივი კვეთის მქონე სივრცითი წამწის სახით (ნახ. 240, დ).

ორიდან ერთ-ერთ სიბრტყეში არაცენტრალურად შეკუმშული საყრდენი კონტურის ყველაზე რაციონალური გადაწყვეტას წარმოადგენს რკინაბეტონის ვარიანტები (ფიგ. 240, ე-თ), ხოლო ამ გადაწყვეტებში – ასაწყობ-მონოლითური (ფიგ. 240, ე), რომელიც უზრუნველყოფს აგების ვადების შემცირებას და კონტურის მაღალ სიმტკიცეს. მემბრანის თხელი ფურცელი საყრდენ ელემენტზე მაგრდება მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების მეშვეობით (ფიგ. 240). ფურცლები ლაგდება საყრდენი კონტურის მთლიან პორიზონტალურ ფურცელზე და ფირფიტის, კუთხედის ან სხვა პროფილის მთლიანი ელემენტის გამოყენებით მყარად ამაგრებენ კონტურის მთელ სიგრძეზე. ხახუნის კოეფიციენტის გასაზრდელად მისაჭერი ელემენტების ზედაპირი იფარება ეპოქსიდის ფისის ფრიქციულ-საიზოლაციო აფსკით, რომელიც ალუმინის მემბრანის გამოყენების შემთხვევაში, სხვადასხვაგვარი ლითონების კონტაქტის ზონაში ასევე ასრულებს ელექტროქიმიური კოროზიისგან დამცავის ფუნქციას (ფიგ. 241, ა).

ლითონის კონტურებში საყრდენი ღერებები აიღება 300-400 მმ სიგანის და კონტურის ძირითად კვეთს მიედუღება მთლიანი ნაკერებით, რომლებიც განივი წიბოების დაყენების ადგილებში არაუმეტეს 300 მმ ბიჯით გაძლიერებულია დამატებითი ნაკერებით. რკინაბეტონის კონტურებში საყრდენი ფირფიტა მიედუღება ანკერის ღეროებს, რომელთა დიამეტრი არაუმეტეს 20 მმ-ია, ხოლო ბეტონში მათი ჩამაგრების სიღრმე გლუვი ღეროებისთვის არანაკლებ 40 დიამეტრის ტოლია. ორშრიან უნაგირისებრ გადახურვებში ღერებები საყრდენ კონტურთან უღლდება დამჭიმი მოწყობილობის საშუალებით (ფიგ. 241, ბ).

მემბრანულ გადახურვებში ჭერი (ბურული) არ განსხვავდება ჩვეულებრივი ტრადიციული გადაწყვეტებისაგან: ორთქლიზოლაცია, მათბუნებელი, მასწორებელი მოჭიმვა, პიდროიზოლაცია. მთლიან მემბრანულ

გადახურვა-გარსებში, თხელი ლითონის ფურცლების ერთმანეთთან მჭიდროდ შეერთების შემთხვევაში, ორთქლიზოლაცია საჭირო არ არის – მის ფუნქციას ასრულებს თხელი ფურცელი. მემბრანული გადახურვების დეფორმაციულობის გათვალისწინებით, პიდროსაიზოლაციო ხალიჩის ქვეშ ცემენტის მოჭიმვა ძლიერდება ფოლადის ნაქსოვი ბადეებით, ხოლო ხალიჩა – მინაქსოვილით. დაძაბულ უნაგირისებრ გადახურვებში მათბუნებელი განთავსებულია ლენტების ფენებს შორის ან მზიდ ლენტზე მიწებებულია შიგნიდან. ზედა დამძაბავი ლენტი ერთდროულად ასრულებს პიდროსაიზოლაციო ფენის ფუნქციასაც.



ფიგ. 241 რკინაბეტონის საყრდენ კონსტრუქციის ლენტების მიმაგრების კვანძები

ა – ნაშეერი, დამჭიში მოწყობილობების გარეშე; ბ – იგივე, დამჭიში

მოწყობილობებით; 1 – თხელფურცლოვანი მემბრანა; 2 – ფრიქციული ფენა;

3 – ზედა მიმჭერი ელემენტი; 4 – ქვედა მიმჭერი ელემენტი; 5 – მაღალი სიმტკიცის ტანჯიკი; 6 – პირაპირის ფირფიტა; 7 – საანკერო ღერო; 8 – ტანჯიკოვანი სახსარი;

9 – ხისტი არმატურით არმირებული ბორტის ელემენტი; 10 – იგივე, მოქნილი

არმატურით; 11 – დამჭიში მოწყობილობა; 12 – მათბუნებელი

მემბრანული გადახურვები რთული, მრავალჯერ სტატიკურად ურყევეი სისტემებია. მათი დაძაბული მდგომარეობა დამოკიდებულია მემბრანისა და საყრდენი კონტურის ერთობლივ მუშაობაზე, ზედაპირის ფორმაზე და დატვირთვების მოდების ხასიათზე, ამიტომ დაპროექტებისას მათი გაანგარიშება წარმოებს რიცხვითი ან ანალიზური მეთოდებით, კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით. უმეტეს შემთხვევებში გაანგარიშება წარმოებს თხელი ფურცლის მასალის დრეკადი მუშაობის პირობით და გეომეტრიული არაწრფივობის, ანუ კონსტრუქციის ყველა ელემენტის დეფორმაციის შედეგად ნაგებობის ფორმის ცვლილების გათვალისწინებით.

მემბრანული გადახურვების მიახლოებითი გაანგარიშება, სისტემის გეომეტრიული არაწრფივობის გაუთვალისწინებლად, შეიძლება შესრულდეს ვანტური სისტემების შესაბამისი გადახურვების მიახლოებითი გაანგარიშების ანალოგიურად. ამასთან, გაანგარიშება წარმოებს მემბრანის 1 მ სიგანეზე საანგარიშო მალის მიმართულებით. შედეგად ვიღებთ ძაღვების გაზრდილ მნიშვნელობებს, რადგან, ვანტური სისტემებისგან განსხვავებით, მემბრანა კარგად მუშაობს ძერაზე და ხელს უწყობს საყრდენ კონტურში მკუმშავი ძაღვებისა და მღუნავი მომენტების შემცირებას.

- A – ფართობი;
 A – კვეთის გეომეტრიული მახასიათებელი;
 A_b – ჭანჭიკის კვეთის ფართობი;
 A_{bn} – ჭანჭიკის კვეთის ფართობი, ნეტო;
 A_f – კოჭის თაროს კვეთის ფართობი;
 A_{ca} – მზიდი ბაგირის კვეთის ფართობი;
 A_{inf} – ქვედა სარტყელის კვეთის ფართობი;
 A_n – კვეთის ფართობი ნეტო;
 A_{st} – მასტაბილიზებული ბაგირის კვეთის ფართობი;
 A_{sup} – ზედა სარტყელის კვეთის ფართობი;
 A_{ω} – კოჭის კედლის კვეთის ფართობი;
 A_{cal} – საჭირო კვეთის ფართობი;
 A_p – საკოჭი ღეროს კვეთი;
 A_{pl} – საყრდენი ფილის ფართობი;
 B – ბიჯის მოდული;
 D – ცილინდრული სიხისტე;
 D_{inf} – გუმბათის საყრდენი რგოლის დიამეტრი;
 D_{xy} – გრეხის სიხისტე;
 E – დრეკადობის მოდული;
 E_0 – ბადისებრი კამარის დაყვანილი დრეკადობის მოდული;
 E_{dh} – საკოჭი ღეროს დრეკადობის მოდული;
 F – ძალა, დატვირთვა;
 F_n – ნორმატიული ძალა, ნორმატიული დატვირთვა;
 F_b – ღერძული ძალა მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკში;
 F_h – ჰორიზონტალური ძალა, განმბჯენი;
 F_{bra} – სამუხრუჭო ძალა;
 F_t – ჰორიზონტალური ძალა;
 F_c – გრძივი მკუმშავი ძალა;
 F_{tot} – ჯამური ძალა;
 F_v – ვერტიკალური ძალა, საყრდენი რეაქცია;
 G – წონა;
 G – მუდმივი დატვირთვა;
 H – სართულის სიმაღლის მოდული;
 I – კვეთის ინერციის მომენტი;

- I_b – კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი;
 I_{inf} – სვეტის ქვედა შტოს კვეთის ინერციის მომენტი;
 I_{sup} – სვეტის ზედა შტოს კვეთის ინერციის მომენტი;
 I_{ω} – კოჭის კედლის კვეთის ინერციის მომენტი;
 L – სიგრძე, მაღლი, ბიჯის მოდული;
 M – მოდული;
 M – მღუნავი მომენტი;
 M_{cal} – საანგარიშო მღუნავი მომენტი;
 M_{loc} – ადგილობრივი მღუნავი მომენტი;
 M_s – ქარის დატვირთვის სტატიკური ნაწილისგან გამოწვეული მღუნავი მომენტი;
 M_{ω} – ქარის დატვირთვისგან გამოწვეული მღუნავი მომენტი;
 M_{ω} – კოჭის კედელზე მოქმედი მღუნავი მომენტი;
 N – გრძივი ძალა;
 N_b – ერთი ჭანჭიკის მუშაობით ათვისებული საანგარიშო ძალა;
 N_c – გრძივი ძალა შეკუმშულ ელემენტში;
 N_f – გრძივი ძალა გაჭიმულ ელემენტში;
 N_{cal} – საანგარიშო გრძივი ძალა (ძალეა);
 N_{cr} – კრიტიკული ძალა;
 N_{bm} – სვეტის შტოში მომენტისგან გამოწვეული გრძივი ძალა;
 N_d – გრძივი ძალა ირიბანაში;
 N_r – გრძივი ძალა რგოლში;
 N_{inf} – გრძივი ძალა ქვედა სარტყელში;
 N_{sup} – გრძივი ძალა ზედა სარტყელში;
 N_s – ძალეა თამასებში;
 Q – განივი ძალა, ძერის ძალა;
 Q_{bh} – ერთი მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის ქვეშ ზედაპირის მიერ ათვისებული საანგარიშო ძალეა;
 Q_{cal} – საანგარიშო განივი ძალა;
 Q_{fc} – პირობითი განივი ძალა შემავრთებელი თამასებისთვის;
 Q_s – განივი ძალა მოსული ერთ სიბრტყეში განლაგებულ თამასების სისტემაზე;
 Q_{ω} – ქარის დატვირთვისგან გამოწვეული განივი ძალა;
 R – სიმრუდის რადიუსი;
 R_{ba} – საძირკვლის ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;
 R_{bh} – მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;

- R_{bp} – ჭანჭიკური შეერთების საანგარიშო წინაღობა თელვაზე;
 R_{bs} – ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე;
 R_{bt} – ჭანჭიკების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;
 R_{cd} – катков გლინულის საანგარიშო წინაღობა დიამეტრულ კუმშვაზე;
 R_{dh} – მაღალი სიმტკიცის მავთულის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე;
 R_{lp} – ცილინდრულ სახსრებში (პოტოჭიკი), მჭიდრო შეხებისას, საანგარიშო წინაღობა ადგილობრივ თელვაზე;
 R_p – ფოლადის საანგარიშო წინაღობა ტორსული ზედაპირის თელვაზე (მორგების შემთხვევაში);
 R_s – ფოლადის საანგარიშო წინაღობა ძერაზე;
 R_u – ფოლადის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე დროებითი წინაღობის მიხედვით;
 R_{wf} – კუთხური ნაკერის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე (პირობითზე), ნაკერის ლითონის გასწვრივ;
 R_{wu} – პირაპირის შენადული შეერთების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე დროებითი წინაღობის მიხედვით;
 R_{ws} – პირაპირის შენადული შეერთების საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე;
 R_{wy} – პირაპირის შენადული შეერთების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე დენადობის ზღვარის მიხედვით;
 R_{wz} – კუთხური ნაკერის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე (პირობითზე), ლითონის შედნობის საზღვრის გასწვრივ;
 R_y – ფოლადის და ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე დენადობის ზღვარის მიხედვით;
 R_{bun} – ჭანჭიკების ფოლადის ნორმატიული წინაღობა;
 R_{un} – ფოლადის დროებითი წინაღობა გაგლეჯაზე (გაწყვეტაზე);
 R_{oun} – ნაკერის ლითონის ნორმატიული წინაღობა დროებითი წინაღობის მიხედვით;
 R_{yn} – ფოლადის და ალუმინის შენადნობების დენადობის ზღვარი;
 S – ბრუტო კვეთის ძერადი ნაწილის სტატიკური მომენტ ნეიტრალური ღერძის მიმართ;
 S – თოვლის დატვირთვა;
 S – კამარის რკალის სიგრძე;
 S – ზესადებისა და თამასის გადამჭრელი ძალეა;
 S_{inf} – გუმბათის საყრდენი რგოლის სიგრძე;
 V – დროებითი დატვირთვა;
 V_f – შენადული ნაკერის მოცულობა;
 W – ქარის დატვირთვა;

W_x, W_y – ბრუტო კვეთის წინააღობის მომენტები შესაბამისად $x-x$ და $y-y$ ღერძების მიმართ;

W_{xn}, W_{yn} – ნეტო კვეთის წინააღობის მომენტები შესაბამისად $x-x$ და $y-y$ ღერძების მიმართ;

a – მანძილი, ზომა;

a_H – დარტყმითი სიბლანტის პირობითი სიდიდე;

$a_{\text{სფ}}$ – გუმბათის ქვედა საყრდენი რგოლის გასწვრივ წიბოებს შორის მანძილი;

$a_{\text{სფ}}$ – გუმბათის ზედა ცენტრალური რგოლის გასწვრივ წიბოებს შორის მანძილი;

b – სიგანე;

$b_{\text{სფ}}$ – საანგარიშო სიგანე;

b_f – თაროს სიგანე;

b_h – წიბოს გამოშვებული, კიდული ნაწილის სიგანე;

c, c_x, c_y – სიმტკიცეზე გაანგარიშების კოეფიციენტები (პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების გათვალისწინებით) ღუნვის დროს შესაბამისად $x-x$ და $y-y$ ღერძების მიმართ;

d – დიამეტრი;

e – ძალის ექსცენტრისიტეტი;

f – ჩაღუნვის ისარი;

g – მუდმივი განაწილებული დატვირთვა;

h – სიმაღლე;

$h_{\text{სფ}}$ – კედლის საანგარიშო სიმაღლე;

$h_{\text{სფ}}$ – სვეტის ქვედა ამწისქვეშა შტოს სიმაღლე;

$h_{\text{სფ}}$ – სვეტის ზედა ამწისზედა შტოს სიმაღლე;

$h_{\text{ოპ}}$ – კვეთის ოპტიმალური სიმაღლე;

$h_{\text{ოპ}}$ – კედლის სიმაღლე;

i – კვეთის ინერციის რადიუსი;

i – ზედაპირის ქანობი;

k – ლითონის ერთგვაროვნობის კოეფიციენტი;

k – საკუთარი მასის კოეფიციენტი;

k_f – კუთხური ნაკერის კათეტი;

k_c – დგარის წრფივი სიხისტე;

$k_{\text{ოპ}}$ – კამარის დრეკადი მოკუმშვის (მოჭიმვის) გამთვალისწინებული კოეფიციენტი;

$k_{\text{ოპ}}$ – ნაგებობის სიმაღლეზე დამოკიდებული, ქარის ჩქაროსნული დაწნევის ცვლილების გამათვალისწინებული კოეფიციენტი;

k_r – რიგელის წრფივი სიხისტე;

k_e – ბადისებრი კამარების გასაანგარიშებელი კოეფიციენტი;

l – მალის სიგრძე;

l_c – დგარის, სეკტის, განმბჯენის სიგრძე;
 l_{cd} – საგორავის სიგრძე;
 l_d – ირიბანას სიგრძე;
 l_m – ფერმის, თაღის და ა.შ. სარტყელის პანელის სიგრძე;
 l_s – თამასას სიგრძე;
 l_ω – შენადუდი ნაკერის სიგრძე;
 l_{ef} – პირობითი საანგარიშო სიგრძე;
 l_0 – საწყისი სიგრძე; ორ საყრდენს შორის მანძილი სინათლეში;
 m – ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი;
 m – საკუთარი მასა;
 m_{ef} – დაყვანილი ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი;
 n_b – ჭანჭიკების რაოდენობა შეერთებაში;
 n_s – ერთი ჭანჭიკის საანგარიშო ჭრების რაოდენობა;
 p – წნევა;
 q – განივი ძალა სიგრძის ან სიგანის ერთეულზე;
 q_{co} – წრფივი დატვირთვა მზიდ გეარლზე კიდულ და ვანტურ კონსტრუქციებში;
 q_{cal} – საანგარიშო წრფივი დატვირთვა;
 q_g, q_s, q_ω – წრფივი დატვირთვა, შესაბამისად საკუთარი მასისგან, თოვლისგან და ქარისგან;
 q_{st} – წრფივი დატვირთვა მასტაბილიზებელ გეარლზე კიდულ და ვანტურ კონსტრუქციებში;
 q_a – კუთხურად მოქმედი წრფივი დატვირთვა;
 r – რადიუსი;
 s – თოვლის განაწილებული დატვირთვა;
 t – ტემპერატურა;
 t – სისქე;
 t_f – თაროს (სარტყელის) სისქე;
 t_{pl} – საყრდენი ფილის სისქე;
 t_s – წიბოს სისქე;
 t_ω – კედლის სისქე;
 v – დროებითი განაწილებული დატვირთვა;
 w – ქარის განაწილებული დატვირთვა;
 α – კუთხე;
 α – მხები ძაბვების გაზრდის კოეფიციენტი კოჭის კედლის შესუსტების შემთხვევაში;
 β – კუთხე;
 β_f, β_s – კუთხური ნაკერის გაანგარიშების კოეფიციენტები შესაბამისად ნაკერის ლითონსა და ნაკერის ლითონის საზღვრზე;
 γ – მოცულობითი წონა;

- γ_b – შეერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;
 γ_c – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;
 $\gamma_z, \gamma_v, \gamma_s, \gamma_w$ – კოეფიციენტები, შესაბამისად მუდმივი, დროებითი, თოვლის და ქარის დატვირთვებისათვის;
 γ_n – საიმედოობის კოეფიციენტი დანიშნულების მიხედვით;
 γ_m – საიმედოობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით;
 γ_u – საიმედოობის კოეფიციენტი დროებითი წინაღობის მიხედვით;
 γ_{sf}, γ_{ms} – შენადული ნაკერის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;
 δ_y – ფარდობითი წაგრძელება;
 ε – ფარდობითი წრფივი დეფორმაცია;
 η – კვეთის ფორმის გავლენის კოეფიციენტი;
 η – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბაგირის გამწყვეტი ძაღვის შემცირებას მაეთულების ჯამურ გამწყვეტ ძაღვასთან მიმართებაში;
 θ – მობრუნების კუთხე, დახრის კუთხე;
 λ – მოქნილობა ($\lambda = l_{ef}/l$);
 $\bar{\lambda}$ – პირობითი მოქნილობა ($\lambda = \bar{\lambda}\sqrt{R_y/E}$);
 λ_{ef} – გამჭოლი კვეთის მქონე ღეროს დაყვანილი მოქნილობა;
 $\bar{\lambda}_{ef}$ – გამჭოლი კვეთის მქონე ღეროს პირობითი დაყვანილი მოქნილობა:
 $\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef}\sqrt{R_y/E}$;
 $\bar{\lambda}_w$ – კედლის პირობითი მოქნილობა ($\lambda_w = h\sqrt{R_y/E/t}$);
 $\lambda_x; \lambda_y$ – ელემენტების საანგარიშო მოქნილობები შესაბამისად x - x და y - y ღერძების პერპენდიკულარულ სიბრტყეებში;
 μ – შეკუმშული ღეროს დაყვანილი სიგრძის კოეფიციენტი;
 μ – ხახუნის კოეფიციენტი;
 ν – ფოლადის განივი დეფორმაციის კოეფიციენტი (პუასონის კოეფიციენტი);
 ξ – დინამიკურობის კოეფიციენტი;
 Φ_x, Φ_y – გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი;
 Φ_b – საანგარიშო წინაღობის შემცირების კოეფიციენტი მდგრადობის დაკარგვის ღუნვა-გრეხითი ფორმის შემთხვევაში;
 Φ_s – საანგარიშო წინაღობის შემცირების კოეფიციენტი არაცენტრალური კუმშვის შემთხვევაში;
 ξ – უგანზომილებო პარამეტრი;
 ρ – სიმრუდე;
 ρ – სიმკვრივე;
 σ_{adm} – დასაშვები ძაბვა;
 σ_x, σ_y – ნორმალური ძაბვები, შესაბამისად x - x და y - y ღერძების პარალელური;
 τ – მხები ძაბვა.

1. გ. მსხილაძე, ო. ფალავა. ლითონის კონსტრუქციები. სახელმძღვანელო. გამომცემლობა "განათლება", თბილისი, 1986. – 571 გვ.
2. გ. ფარცხალაძე, ი. მშენიერაძე. ლითონის კონსტრუქციები. სახელმძღვანელო. ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ბათუმი, 2009. – 322 გვ.
3. თ. ხმელიძე, რ. იმედაძე, ი. ხმელიძე. ღეროვან სისტემებში ძალების განსაზღვრის მაგალითები მაქსველ–კრემონას დიაგრამის გამოყენებით. მეთოდური მითითებები. თბილისი, 1992. – 57 გვ.
4. სამშენებლო განმარტებითი ლექსიკონი (შემდგენელი პროფ. თ. ხმელიძე). ონლაინ–ვერსია. თბილისი, 2016. – 2100 გვ.
5. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева и др.; под. ред. Ю.И. Кудишина. – 10-е изд. – М.: Издательский центр "Академия", 2007. – 688 с.
6. Металлические конструкции. Справочник проектировщика / Под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1998. – 1616 с.
7. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции. Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1983. – 215 с.
8. Файбишенко В.К. Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1984, – 336 стр.
9. Handbook of structural engineering / edited by Wai-Fah Chen, Eric M. Lui. – 2nd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Boca Raton, New York, 2005. – 1712 p.
- 10 The civil engineering handbook / edited by W.F. Chen and J.Y. Richard Liew. – 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, London New York Washington, D.C., 2003. – 2783 p.
11. СНиП II – 23-81 Стальные конструкции. Нормы проектирования – М. Стройиздат. 1982 (СП 16.13330.2011).

შ ე ს ა ვ ა ლ ი	3
-----------------	---

თავი 1. დაპროექტების საფუძვლები

1.1. მშენებლობაში გამოყენებული ლითონების დახასიათება	11
1.2. ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მექანიკური თვისებები	14
1.3. ფოლადისა და ალუმინის პროფილების სორტაჟენტი	21
1.4. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით	27
1.5. ელემენტების გაანგარიშება ცენტრალურ გაჭიმვაზე და კუმშვაზე	30
1.6. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება	33
1.7. ღერძულ ძალასა და ღუნვაზე მომუშავე ელემენტების გაანგარიშება	35

თავი 2. ლითონის კონსტრუქციების შეერთებები

2.1. საერთო ცნებები	38
2.2. შენადნული შეერთებები. შედუღების სახეები და მათი მოკლე დახასიათება	39
2.3. შენადნული შეერთების ტიპები და მათი გაანგარიშება	43
2.4. ტანჯიკური და მოჭლონური შეერთებები, მათი გაანგარიშება და კონსტრუირება	50

თავი 3. კოზები

3.1. კოჭების ტიპები და მათი სტატიკური სქემები	60
3.2. ნაგლინი და შედგენილი შენადნული კოჭების განივი კვეთის გაანგარიშება	67
3.3. ფოლადის კოჭების მდგრადობის ცნება. სიხისტის წიბოების კონსტრუქცია	73
3.4. ნაგლინი და შედგენილი კოჭის პირაპირები. კოჭის ჩამაგრების კვანძები	77

თავი 4. სვეტები

4.1. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები	83
4.2. არაცენტრალურად შეკუმშული სვეტები	91

4.3. ერთშტოიანი და ორშტოიანი სვეტის ბაზა	93
4.4. სვეტის სათაგის კონსტრუქციები, პირაპირები და დეტალები	98

თავი 5. წამყვები

5.1. ნივნიური გადახურვები. საერთო ცნებები	102
5.2. ნივნიური წამყვები, მოხაზულობა და გისოსის ტიპები	103
5.3. ნივნიური გადახურვის გაერთმთლიანება	109
5.4. გადახურვის ბურულის ელემენტები	112
5.5. ნივნიური წამყვების მუშაობის თავისებურებები და გაანგარიშება	117
5.6. წამყის კონსტრუირების საფუძელები. კვანძების გაანგარიშება	125
5.7. მსუბუქი წამყვების კონსტრუირება	127
5.8. მძიმე დიდმალიანი წამყვების კონსტრუირება	138
5.9. წინასწარ დაძაბული წამყვების კონსტრუქციული გადაწყვეტები	144

თავი 6. ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის კარკასები

6.1. კარკასების საერთო დახასიათება და მათი დაპროექტებისათვის წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები	152
6.2. საწარმოო შენობების კარკასების ელემენტები	156
6.3. განივი ჩარჩოს გაანგარიშება. საერთო ცნებები	162

თავი 7. მრავალსართულიანი შენობის კარკასი

7.1. კონსტრუქციული სქემები. სვეტების და კოჭების განივკვეთის ტიპები	164
7.2. მრავალსართულიანი შენობის კარკასის მუშაობა	170
7.3. შენობათა სისტემების გაერთმთლიანება. კოჭის სვეტთან შეერთების კვანძები	177
7.4. შეკიდულ სართულებიანი შენობების კონსტრუქციული სქემები	184
7.5. შეკიდულ სართულებიანი შენობის გაანგარიშება და კონსტრუირება	187

თავი 8. დიდმალიანი ჩარჩოვანი კონსტრუქციები

8.1. ჩარჩოების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები	190
8.2. ჩარჩოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება	199
8.3. ჩარჩოების კონსტრუირება	203

თავი 9. თაღოვანი კონსტრუქციები

9.1. თაღების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები	208
9.2. თაღოვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება	214
9.3. თაღების კონსტრუქცია	217

თავი 10. ბისოსოვანი ნაოჭები

10.1. ბისოსოვანი ნაოჭების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები	223
10.2. ბისოსოვანი ნაოჭების გაანგარიშება და კონსტრუქცია .	226

თავი 11. ბადისებრი კამარები

11.1. ბადისებრი კამარების სტატიკური და კონსტრუქციული სქემები	229
11.2. ბადისებრი კამარების გაანგარიშება და კონსტრუქცია	232

თავი 12. ორმაგი სიმრუდის გადახურვის კონსტრუქციები

12.1. გუმბათოვანი კონსტრუქციები. ძირითადი ტიპები და მათი დახასიათება	237
12.2. წიბოვანი და წიბოვან-რგოლური გუმბათების გაანგარიშება	242
12.3. ბადისებრი გარსების გაანგარიშება	243
12.4. ბადისებრი გარსების ტიპები და მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტები	247
12.5. დამრეცი ბადისებრი გარსების გაანგარიშება	249
12.6. ჰიპერბოლური პარაბოლოიდის (ჰიპარის) ფორმის ბადისებრი გარსების გაანგარიშება . . .	251
12.7. გუმბათებისა და ბადისებრი გარსების კონსტრუქცია	253

თავი 13. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციები

13.1. ზოგადი ცნობები. აგების პრინციპები	258
13.2. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების დაყრდნობის ვარიანტები	265
13.3. ჯვარედინ-ღეროვანი კონსტრუქციების გაანგარიშება	271
13.4. ელემენტებისა და კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები . .	277

თავი 14. კიბული გადახურვები

14.1. კიბული გადახურვების საერთო დახასიათება	284
14.2. ერთსართულიანი კიბული გადახურვები	288

14.3. ორსარტყელისანი წინასწარ დაძაბული გადახურვები	300
14.4. გეარლური წამწები	307
14.5. უნაგირისებრი გადახურვები	309
14.6. კომბინირებული სისტემები	315
14.7. მემბრანული გარსები	318
პირობითი აღნიშვნები	328
ლიტერატურა	334