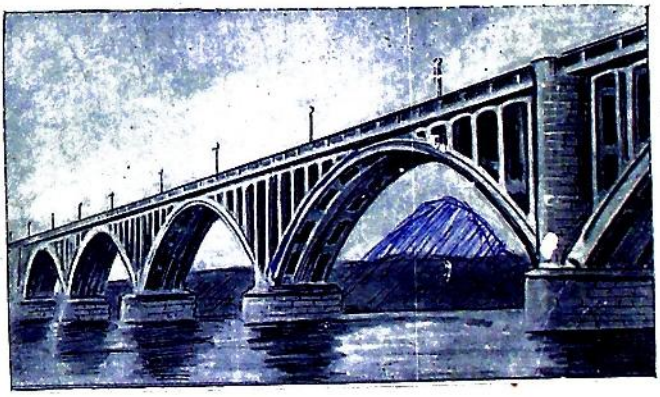
624.201.1
22

წ. წკრესიაძე, ზ. საბახელი

ხიდები



გვ. 2016 - 3908 10

დოც. გ. ჟარცივაძე, დოც. ზ. ცაგარელი

22

საკითხავი ბიბლიოთეკა

ხიდები

ნაწილი მეოთხე

(რკინაბეტონის ხიდები)

საქ. პოლიტექნიკური ინსტ-ტის

სასწავლო-პედაგოგიური ლიტერატურის
სახელმწიფო გამომცემლობა
„ც ო დ ნ ა"
თბილისი—1959

წიგნი წარმოადგენს ხიდების მთლიანი კურსის მეორე ნაწილს. მასში განხილულია რკინაბეტონის ხიდები.

წიგნი განკუთვნილია ხიდების სპეციალობის სტუდენტთა სახელმძღვანელოდ. იგი დახმარებას გაუწევს ინჟინერ-დამპროექტებლებს პრაქტიკულ მუშაობაში.

388/84

თ ა ვ ი I

ზოგადი ცნობები რკინაბეტონის ხიდების შესახებ

§ 1. რკინაბეტონის ხიდების ძირითადი თვისებები და გამოყენების სფერო

თანამედროვე მშენებლობაში რკინაბეტონს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს. თავისი დადებითი თვისებების გამო მან უკანასკნელ ხანებში დიდი გავრცელება მოიპოვა. შეიძლება თამამად ითქვას, რომ რკინაბეტონი საუკეთესო სამშენებლო მასალას წარმოადგენს უმრავლესი მზიდი კონსტრუქციების განსახორციელებლად. ამ მხრივ არც ხიდები შეადგენს გამონაკლისს: რკინაბეტონის გამოყენება მალის ნაშენებსა და საყრდენებში დიდ ეფექტს იძლევა როგორც ტექნიკური, ისე საწარმოო, ეკონომიური და საექსპლოატაციო თვალსაზრისით. ამიტომ დღესდღეობით ხიდების ერთ-ერთ ძირითად სახეობას რკინაბეტონის ხიდები წარმოადგენს. შემდეგში მათ გამოყენებას კიდევ მეტი პერსპექტივები აქვს.

ქვისა და ლითონის ხიდებთან ერთად რკინაბეტონის ხიდები მუდმივი, კაპიტალური ხიდების ჯგუფს შეადგენს. განვიხილოთ ამ ხიდების შედარებითი თვისებები, რომლებიც მათ გამოყენების სფეროს განსაზღვრავს.

რკინაბეტონის ხიდებს ახასიათებს მთელი რიგი დადებითი თვისებები. ტექნიკური თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი დადებითი თვისებაა მრავალფეროვანი კონსტრუქციული გადაწყვეტის მიღებისა და დიდი მალების გადახურვის შესაძლებლობა: რკინაბეტონისაგან შეიძლება განხორციელდეს როგორც კოჭური, ისე ჩარჩოვანი და თაღოვანი ხიდები, როგორც ზესავალელი, ისე ქვესავალელი; მალების სიდიდე დღესდღეობით 200—250 მ-ს აღწევს. ამ მხრივ რკინაბეტონის ხიდები გაცილებით უფრო კარგია, ვიდრე ქვის ხიდები, და ჩამოუვარდება მხოლოდ ლითონის ხიდებს. აღსანიშნავია, რომ რკინაბეტონის ხიდების მალის ნაშენები უფრო მსუბუქია, ვიდრე ქვის ხიდებისა და ამიტომ საყრდენებიც უფრო იოლად ეწყობა. დადებითი ტექნიკური თვისებაა ის გარემოებაც, რომ ბეტონის სიმტკიცე დროის განმავლობაში თანდათან მატულობს.

სამუშაოს წარმოების თვალსაზრისით რკინაბეტონის ხიდებს საშუალო ადგილი უჭირავს ქვისა და ლითონის ხიდებს შორის. რკინაბეტონის ხიდების აგების დროს ფართოდ შეიძლება გამოვიყენოთ მექანიზაცია, მშენებლობის ინდუსტრიული მეთოდები; ძირითადი სამუშაოები საკმარისად მარტივია და არ მოითხოვს მაღალი კვალიფიკაციის მუშახელს. მშენებლობის ინდუსტრიულობის მხრივ ლითონის ხიდებს, მართალია, დღესდღეობით მეტი

შესაძლებლობები აქვს, მაგრამ ნაკრები კონსტრუქციების გამოყენება რკინაბეტონის ხიდებისათვის დიდ პერსპექტივებს ქმნის ამ დარგში.

ექსპლოატაციის თვალსაზრისით რკინაბეტონის ხიდების დადებითი მხარეებია საკმარისი მედეგობა ატმოსფერული ზეგავლენის მიმართ, სამსახურის საკმარისი ხანგრძლივობა, მოძრავი შემადგენლობის სვლა ბალასტზე. საექსპლოატაციო ხარჯები რკინაბეტონის ხიდებისათვის თითქმის ისევე მცირეა, როგორც ქვის ხიდებისათვის. საერთოდ ექსპლოატაციის თვალსაზრისით რკინაბეტონის ხიდები ლითონის ხიდებზე უკეთესია და ცოტათი ჩამოუვარდება ქვის ხიდებს.

ასეთივე მდგომარეობაა ესთეტიკური მოთხოვნილებების მხრივ: რკინაბეტონის ხიდებს საკმარისად კარგი გარეგნობა აქვს—გაცილებით უკეთესი, ვიდრე ლითონის ხიდებს. მართალია, ქვის ხიდები უმეტესად უფრო ლამაზია, მაგრამ არსებობს მთელი რიგი რკინაბეტონის ხიდებისა, რომლებიც თავისი გარეგნობით შესანიშნავ არქიტექტურულ ნაგებობას წარმოადგენს.

გახსნილულ დადებით თვისებებთან ერთად რკინაბეტონის ხიდებს უარყოფითი თვისებებიც აქვს. ტექნიკური თვალსაზრისით მათგან ძირითადია ბზარების წარმოქმნის შესაძლებლობა და მალის ნაშენთა საკუთარი წონის სიდიდე. როგორც ცნობილია, რკინაბეტონის გაჭიმულ და ღუნვად ელემენტებში შეიძლება წარმოიშვას ბზარები, რაც არმატურის კოროზიას იწვევს და ხიდების სამსახურის ვადას ამცირებს. ამიტომ ბზარები მეტად არასასურველი მოვლენაა; მათი წარმოქმნის საწინააღმდეგოდ სხვადასხვა ტექნიკური საშუალებები არსებობს, რომელთა შორის ყველაზე რადიკალურია წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენება.

ზემოთ უკვე იყო აღნიშნული, რომ რკინაბეტონის ხიდები ქვის ხიდებზე უფრო მსუბუქია. მიუხედავად ამისა, რკინაბეტონის ხიდების მალის ნაშენთა საკუთარი წონა მაინც საკმარისად დიდია—იგი გაცილებით სჭარბობს ლითონის სათანადო მალის ნაშენების წონას. ეს გარემოება საგრძნობლად ამცირებს რკინაბეტონის ეფექტურობას, განსაკუთრებით კოშკური სისტემის დროს: კონსტრუქციული ელემენტების ტვირთმზიდობის ძირითადი ნაწილი იხარჯება საკუთარი წონის ასატანად. ამიტომ მალის ნაშენების საკუთარი წონის შემცირება რკინაბეტონის ხიდმშენებლობის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენება ამ მხრივაც დიდ ეფექტს იძლევა.

მნიშვნელოვანია რკინაბეტონის ხიდების ნაკლოვანებანი სამუშაოს წარმოების მხრივ: მშენებლობის დიდი ვადები (მეტი, ვიდრე ლითონის ხიდებისათვის), ხარაჩოების და ჭარგილების საჭიროება და ამასთან დაკავშირებით ხე-ტყის დიდი ხარჯი. ეს უარყოფითი მხარეები უმთავრესად ახასიათებს ჩვეულებრივ, მონოლითურ ხიდებს, რომელთა ელემენტები უშუალოდ ადგილზე ბეტონდება. ნაკრები კონსტრუქციების გამოყენებით საგრძნობლად მცირდება მშენებლობის ხანგრძლივობა და მინიმუმამდე დაიყვანება ხარაჩოების საჭიროება, ამიტომ ნაკრები რკინაბეტონის ხიდებისათვის ზემომოყვანილი ნაკლოვანებანი მნიშვნელოვნად შერბილებულია.

შევჩერდეთ რკინაბეტონის ხიდების ეკონომიკაზე. ამ მხრივ აღსანიშნავია, რომ საშენი მასალების ძირითად ნაწილს აქ შეადგენს ადგილობრივი, არადეფიციტური საშენი მასალები: ქვიშა, ხრეში ან ღორღი. მართალია რკინაბეტონის ხიდები მოითხოვს მეტ ცემენტს და ლითონს, ვიდრე ქვის

ხიდები, მაგრამ მათთვის ლითონის ხარჯი გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ფოლადის ხიდებში. აღსანიშნავია, რომ რკინაბეტონის ხიდებში უფრო მარტივი სახის, საარმატურო ფოლადი იხმარება; მისგან მზა არმატურის მიღება გაცილებით უფრო იოლი და იაფია, ვიდრე კონსტრუქციების დამზადება ფოლადის ხიდებისათვის. მშენებლობის პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ საბოლოო ჯამში რკინაბეტონის ხიდები საკმარისად ეკონომიურია: უმეტეს შემთხვევაში ისინი უფრო იაფი გამოდის, ვიდრე ქვისა და ფოლადის ხიდები.

ზემომოყვანილი თვისებებით განისაზღვრება რკინაბეტონის ხიდების გამოყენების სფერო. მრავალი დადებითი მხარეებისა და ეკონომიურობის გამო რკინაბეტონის ხმარება მიზანშეწონილია ყოველგვარი მალების დროს—უმცირესიდან დაწყებული უდიდეს ზომებამდე. დღესდღეობით განხორციელებული რკინაბეტონის მალების სიდიდე აღწევს 200—250 მეტრს და ეს, რასაკვირველია, ზღვარი არ არის. მცირე და საშუალო მალებისათვის (60—90 მ-მდე) რკინაბეტონის ხიდები უდავოდ საუკეთესოა. უფრო დიდი მალების დროს შეიძლება როგორც ფოლადის, ისე რკინაბეტონის ხიდები ვიხმაროთ, მაგრამ ბევრ შემთხვევაში ეს უკანასკნელნი აქაც უფრო მიზანშეწონილია.

უკანასკნელი წლების განმავლობაში ჩვენს ქვეყანაში, როგორც ცნობილია, აღებულია მკვეთრი გეზი მშენებლობის ეკონომიურობასა და ინდუსტრიულობაზე. კომუნისტური პარტიის ცენტრალური კომიტეტისა და საკავშირო მინისტრთა საბჭოს ცნობილმა დადგენილებებმა მშენებლობის საკითხზე ხაზი გაუსვა საერთოდ რკინაბეტონის და განსაკუთრებით ნაკრები რკინაბეტონის უპირატესობებს, ამოცანად დასახა მათი ფართო გამოყენება მშენებლობაში. ამ მხრივ, რასაკვირველია, არც ხიდები შეადგენს გამონაკლისს: უკანასკნელ ხანებში საგრძნობლად გაიზარდა რკინაბეტონის ხიდების გამოყენება, შეიქმნა ნაკრები და წინასწარდაძაბული ხიდების ახალი, პროგრესული კონსტრუქციები. მათ საფუძველზე თანდათან ისპობა რკინაბეტონის ხიდების ნაკლოვანებანი და ფართოვდება მათი გამოყენების სფერო.

§ 2. რკინაბეტონის ხიდების ძირითადი სახეები

საერთო წარმოდგენისათვის, სასურველია, დეტალურ შესწავლამდე წინასწარ მოკლედ გავეცნოთ რკინაბეტონის ხიდების ძირითად სახეებს. სტატიკური სქემის მიხედვით გვხვდება კოჭური, ჩარჩოვანი და კამაროვანი (თაღოვანი) ხიდები. ამ სისტემების ზოგადი დახასიათება მოყვანილი იყო წიგნის პირველ ნაწილში და მას აქ აღარ გავიმეორებთ. კოჭური ხიდები თავისთავად შეიძლება იყოს ჭრილი, უჭრი ან კონსოლურ-სახსროვანი. რკინაბეტონის კოჭური ხიდების მალი ამჟამად 100—120 მ-ს აღწევს. ისინი უმთავრესად კეთდება მთლიანკედლიანი კოჭების სახით; იშვიათად იხმარება რკინაბეტონის გამჭოლი კოჭური ფერმები.

ჩარჩოვან ხიდებს შედარებით ნაკლები გამოყენება აქვს. ძირითადად ისინი იხმარება გზამტარებისა და ესტაკადებისათვის.

ფართოდაა გავრცელებული კამაროვანი და თაღოვანი ხიდები. კამაროვანი ხიდები შეიძლება იყოს როგორც ზესავლელი, ისე შუასავლელი. კამაროვან ხიდებს მიეკუთვნება აგრეთვე კომბინირებული სისტემები, რომლებიც შედგება შემკვრელიანი კამარებისაგან. ისინი ქვედა სვლის დროს იხმარება. რკინაბეტონის კამაროვანი ხიდების მალი 200—250 მ-ს აღწევს.

რკინაბეტონის კიდული ხიდები არ იხმარება, ვინაიდან ასეთი სისტემის მალის ნაშენის ძირითადი მზიდი ელემენტია გაჭიმული ჯაჭვი, რომელიც უმჯობესია ლითონისგან გაკეთდეს. ასეთ ხიდებში რკინაბეტონი შეიძლება ვიხმაროთ მხოლოდ სავალ ნაწილში, ან იშვიათად სიხისტის კოჭებში.

დამზადების წესის მიხედვით განირჩევა რკინაბეტონის ხიდების ორი ჯგუფი: მონოლითური და ნაკრები ხიდები. მონოლითური ხიდების მალის ნაშენები და საყრდენები უშუალოდ მშენებლობის ადგილზე ბეტონდება, რისთვისაც საგანგებო ხარაჩოები, ქარგილები და ყალიბები კეთდება. ნაკრები ხიდების ელემენტები—მალის ნაშენები, საყრდენების ტანი—დაყოფილია ცალკეულ ნაწილებად—სამონტაჟო ბლოკებად, რომლებიც წინასწარ მზადდება ქარხნული ან პოლიგონური წესით. ისინი გადმოიტანება მშენებლობის ადგილზე და აქ ხდება მათი აკრეფა საგანგებო სამონტაჟო მექანიზმების საშუალებით. მშენებლობის ასეთი წესი გაცილებით უფრო ინდუსტრიულია; ის საშუალებას გვაძლევს შევამოკლოთ ხიდის აგების ვადები, საგრძნობლად შევამციროთ დროებითი ნაგებობებისათვის საჭირო მასალა და ფულადი სახსრები; უმჯობესდება ელემენტების დამზადების ხარისხიც, ამიტომ ნაკრები ხიდები წარმოადგენს რკინაბეტონის ხიდების ყველაზე პროგრესულ სახეობას. იხმარება აგრეთვე ნაკრებ-მონოლითური კონსტრუქციებიც; მათი ზოგიერთი ელემენტი წინასწარ მზადდება და გადმოტანის შემდეგ აიკრიბება, დანარჩენი კი ადგილზე ბეტონდება.

რკინაბეტონის ხიდები შეიძლება განვასხვაოთ არმატურის სახეობის მიხედვით. უმეტეს შემთხვევაში იხმარება ჩვეულებრივი მრგვალი, გლუვი ან პერიოდული პროფილის არმატურის ცალკე ღეროები. ზოგჯერ ეს ღეროები წინასწარ ერთიანდება შედუღების საშუალებით მთლიანი კარკასის სახით. კარკასულ არმატურიან ხიდებს გარკვეული უპირატესობა აქვს როგორც ტექნიკური, ისე საწარმოო თვალსაზრისით. არმატურის კარკასს შეიძლება ისეთი კონსტრუქცია ჰქონდეს, რომ მან შესძლოს ყალიბებისა და ბეტონის წონის ზიდვა დაბეტონების პროცესში. მაშინ საგანგებო ხარაჩოები ყალიბების დასაჭერად საჭირო აღარ იქნება. ასეთ ხიდებს ხისტარმატურიანი ანუ თვითმზიდარმატურიანი ხიდები ჰქვია. ისინი გამოიყენება ნაკრები კონსტრუქციების ბმარების შეუძლებლობისა და ქარგილების მოწყობის სიძნელის შემთხვევაში.

განსაკუთრებულ სახეობას წარმოადგენს წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ხიდები. არმატურის წინასწარი დაძაბვა საშუალებას გვაძლევს თავიდან ავიცილოთ ბზარები ბეტონში, გავზარდოთ ელემენტების ზიდვის უნარი მაღალხარისხოვანი არმატურის და ბეტონის გამოყენების საფუძველზე. წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების გამოყენება ხიდებში დიდ ეფექტს იძლევა და მეტად პროგრესულ გადაწყვეტას წარმოადგენს.

§ 3. რკინაბეტონის ხიდების მასალა

რკინაბეტონის ხიდების ნორმალური მუშაობა დიდად არის დამოკიდებული მათ განსახორციელებლად ხმარებული მასალების—ბეტონისა და რკინის ხარისხზე. მაღალი ხარისხის მასალების ხმარება მით უფრო აუცილებელია, რომ ხიდებს, როგორც ვიცით, მძიმე პირობებში უხდება მუშაობა: ისინი ძლავრი დინამიკური დატვირთვის ზეგავლენას განიცდიან და ამასთან მათი

კონსტრუქციები დაცული არ არის გარეგანი ატმოსფერული ზეგავლენისაგან.

ატმოსფერული ზეგავლენის ასატანად აუცილებელია, რომ ხიდებში ხმარებულ ბეტონს მაღალი ყინვამედეგობა ახასიათებდეს. სამშენებლო ნორმებისა და წესების თანახმად I კლასის ხიდების ბეტონმა დაუზიანებლად უნდა აიტანოს 100-ჯერადი გაყინვა-გალღობა —17° ტემპერატურამდე. II და III კლასის ხიდებისათვის იგივე ნორმა მოითხოვება, მაგრამ ხელსაყრელი პირობების შემთხვევაში შეიძლება დასაშვებად იქნას მიჩნეული დაუზიანებელი მუშაობა 50-ჯერადი გაყინვა-გალღობის დროს.

რკინაბეტონის ხიდების მზიდი კონსტრუქციების დასამზადებლად იხმარება ჩვეულებრივი (მძიმე) ბეტონი, რომლის მარკა შეიძლება იყოს 150, 200, 300, 400, 500 და 600 (მოცულობითი წონა 2200 კგ/მ³). ბეტონის მარკის ამორჩევა ტექნიკურ-ეკონომიური და საექსპლოატაციო პირობების მიხედვით ხდება. 150 მარკის ბეტონი ჩვეულებრივ ბურჯებში იხმარება, 200—300 მარკისა კი მალის ნაშენებში; რკინიგზის ხიდების დაპროექტების ნორმები [58] მოითხოვს, რომ მალის ნაშენის ელემენტებში, სვეტებსა და ხიმინჯებში ბეტონის მარკა 300 იყოს. 400 მარკის ბეტონი დიდმალიანი ხიდების მალის ნაშენებში იხმარება. რაც შეეხება დიდი სიმტკიცის ბეტონებს (მარკით 500 და 600), მათი გამოყენების ძირითად სფეროს წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები შეადგენს; აქ მათი გამოყენება გამართლებულია ტექნიკურად და ეკონომიურად.

ხიდების ნაკლებად დაძაბულ ნაწილებში (უბეების შევსება, ჭების ამოვსება და სხვა) დასაშვებია მსუბუქი ბეტონის გამოყენებაც. აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელ ხანებში არსებობს ცდები მსუბუქი რკინაბეტონის გამოყენებისა ხიდების მზიდი ელემენტების შესასრულებლად [48,49]. ამ მხრივ კარგი შედეგი შეიძლება მოგვცეს მაღალი სიმტკიცის მსუბუქმა ბეტონებმა (მარკით 200—250 ან 300). ასეთი ბეტონი შეიძლება დამზადდეს როგორც ბუნებრივი მსუბუქი შემავსებლების გამოყენებით (მაგ. ტუფი), ისე ხელოვნური მასალების საფუძველზე; ამ უკანასკნელთა შორის ჩვენში გამოიყენება ხელოვნური შემავსებელი, დამზადებული თიხის გამოწვით—კერამზიტი.

ძირითად გავლენას ბეტონის თვისებებზე, როგორც ვიცით, ცემენტის ხარისხი ახდენს. ხიდებში ხმარებული რკინაბეტონისათვის ძირითადად გამოიყენება პორტლანდცემენტი, რომელსაც მაღალი მექანიკური თვისებები ახასიათებს. ზოგიერთი კონსტრუქცია აგრესიული გარემოს, მაგალითად, აგრესიული გრუნტის წყლების ზეგავლენას განიცდის (სულფატური წყლები). ასეთ შემთხვევებში ბეტონისათვის უნდა ვიხმაროთ საგანგებო ცემენტები: სულფატმედეგი პორტლანდცემენტი, თიხამიწური ცემენტი. შესაძლებელია პუცოლანური პორტლანდცემენტის გამოყენებაც, მაგრამ ეს უკანასკნელი, როგორც ცნობილია, ცუდად ეწინააღმდეგება ცვალებად ტენიანობა-გაშრობას და გაყინვა-გალღობას. ამიტომ ნორმების თანახმად ის უნდა ვიხმაროთ მხოლოდ საძირკვლებში, წყლის დონისა და გრუნტის გაყინვის ზონის ქვევით. ასეთ პირობებში შესაძლებელია აგრეთვე წიდაპორტლანდცემენტის გამოყენებაც.

ცემენტის მარკა (აქტივობა) შეიძლება იყოს, როგორც ცნობილია, 200—600. უფრო დაბალი მარკის ცემენტი ხიდებში არ იხმარება. მზიდი კონსტრუქციების გასახორციელებლად უნდა ვიხმაროთ მაღალი მარკის ცემენტი, რაც მისი ეკონომიის საშუალებას იძლევა.

ხიდების ინდუსტრიული მშენებლობის დროს დიდ პერსპექტივებს იძლევა სწრაფმაგრებადი ცემენტის გამოყენება. ასეთ ცემენტზე შეჭიდული ბეტონი სწრაფად იღებს სიმტკიცეს, რაც საშუალებას გვაძლევს დავაჩქაროთ ნაკრები ელემენტების დამზადება და მონტაჟი. ნაკრები კონსტრუქციების კვანძების გამონოლითების დროს სასარგებლოა უშეკლებო და ვრცობადი ცემენტების გამოყენება.

რკინაბეტონის ხიდების ეფექტურობაზე დიდ გავლენას ახდენს არმატურის სახეობა და ხარისხი. თანამედროვე ხიდებში სხვადასხვა საბის საარმატურო ფოლადი იხმარება. ერთ-ერთი ძირითადი სახეობაა არმატურა მრგვალი გლუვი ღეროებისაგან, რომლებიც Ст—3 მარკის ფოლადისაგან მზადდება (ნახშირბადოვანი ცხელად-ნაგლინი მარტენული ფოლადი); ეს ფოლადი უნდა აკმაყოფილებდეს საგანგებო მოთხოვნებს შედუღების თვალსაზრისით. ღეროების დიამეტრი 40 მმ-მდე მიიღება. მიუხედავად დიდი გავრცელებისა, ასეთი არმატურა არ არის ხელსაყრელი: ფოლადის ხარჯის შემცირების თვალსაზრისით გაცილებით უფრო ეფექტურია მაღალხარისხოვანი ფოლადისაგან დამზადებული არმატურის გამოყენება. ასეთია პერიოდული პროფილის ღეროები Ст—5 მარკის ფოლადისაგან ან დაბალ-ლეგირებული 25ГС მარკის ფოლადისაგან. ამ ფოლადებს უფრო მაღალი წინაღობა ახასიათებს; ამასთან, პერიოდული პროფილი, როგორც ვიცით, აუმჯობესებს ღეროების შეჭიდულობას ბეტონთან და რკინაბეტონის მუშაობის პირობებს, განსაკუთრებით ბზარების წარმოქმნის მხრივ. პერიოდული პროფილის ღეროების დიამეტრიც 40 მმ-მდე მიიღება.

ხიდების ელემენტების არმატურა შეიძლება განხორციელდეს როგორც ცალკეული ღეროების, ისე შედუღებული ბადეების და კარკასების სახით. უკანასკნელ პერიოდამდე ძირითადად გავრცელებული იყო არმირება ცალკეული ღეროებით, რომლებიც ერთმანეთთან იკვრებოდა სანასკვი წვრილი მავთულით. ინდუსტრიული მშენებლობის თვალსაზრისით გაცილებით უფრო ხელსაყრელია წინასწარდამზადებული ბადეების ან კარკასების გამოყენება. არმატურის ბადეები ფილებში იხმარება; ისინი წერტილოვანი შედუღების საშუალებით კეთდება და მთლიანი სახით ეწყობა ფილების ყალიბებში. არმატურის კარკასები გამოიყენება კოჭების ან კამარების დასაარმირებლად. მათი ღეროები შეერთებულია რკალური შედუღების საშუალებით. კარკასების კონსტრუქცია ქვემოთ იქნება გაშუქებული (იხ. § 13). კარკასების და ბადეების გამოყენება აჩქარებს საარმატურო სამუშაოების შესრულებას და აუმჯობესებს ბეტონისა და არმატურის ერთობლივი მუშაობის პირობებს.

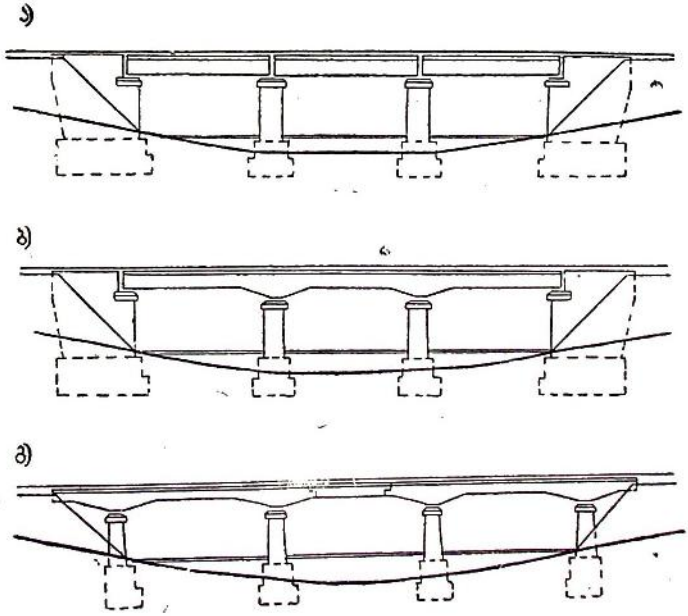
წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებში საგანგებო სახის არმატურა გამოიყენება. ეს საკითხი 28-ე პარაგრაფშია განხილული.

თ ა ვ ი II

მონოლითური რკინაბეტონის კოჭური ხიდების კონსტრუქციები

§ 4. ზოგადი ცნობები

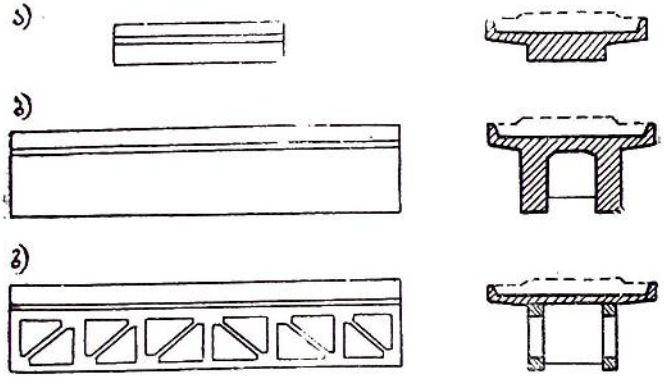
როგორც ცნობილია, კოჭური ხიდები ისეთ ხიდებს ეწოდება, რომელთა მალის ნაშენები კოჭური სისტემისაა: შეეული დატვირთვების მოქმედებისას ისინი მხოლოდ შეეულ რეაქციებს წარმოქმნის, ე. ი. განმბრჯენს არ იძ-



ნახ 1. რკინაბეტონის კოჭური ხიდების სქემები: ა—ჭრილი; ბ—უჭრი; გ—სახსროვან-კონსოლური.

ლევა. თანამედროვე ხიდმშენებლობაში სხვადასხვა სახის კოჭური ხიდები იხმარება. სტატიკური სქემის თვალსაზრისით არსებობს ჭრილი, უჭრი და კონსოლურ-სახსროვანი კოჭური ხიდები (ნახ. 1). კონსტრუქციული აგებულების თვალსაზრისით შეიძლება გავარჩიოთ ფილოვანი, წიბოვანი, ან ფერმებიანი

მალის ნაშენები (ნახ. 2). პირველ შემთხვევაში მალის ნაშენის მზიდ კონსტრუქციას წარმოადგენს რკინაბეტონის ფილა, მეორე შემთხვევაში—კოჭები (წიბოები), მესამე შემთხვევაში კი—რკინაბეტონის გაჯოლი ფერმები; ეს უკანასკნელი ტიპი შედარებით იშვიათად იხმარება. აგების წესის მიხედვით, როგორც ვიცით, შეიძლება გვქონდეს მონოლითური (ადგილზე დაბეტონებული) ან ნაკრები კოჭური ხიდები. კოჭურ ხიდებში ფართოდ გამოიყენება წინასწარდაძაბული კონსტრუქციებიც.



ნახ. 2. რკინაბეტონის კოჭური მალის ნაშენების კონსტრუქციული სქემები: ა—ფილოვანი მალის ნაშენი; ბ—წიბოვანი; გ—ფერმებიანი.

კოჭური ხიდები რკინაბეტონის ხიდების ერთ-ერთ ძირითად სახეობას წარმოადგენს. უგანმბრჯენობის გამო კოჭური ხიდების საყრდენების მუშაობის პირობები უკეთესია, ვიდრე თაღოვანი ხიდების საყრდენებისა, ამიტომ ისინი უფრო მსუბუქი გამოდის. რაც შეეხება მალის ნაშენებს, აღსანიშნავია, რომ კოჭური მალის ნაშენების აგებულება თაღოვანზე ან კამაროვანზე უფრო მარტივია. მაგრამ მეორე მხრივ, კოჭური მალის ნაშენები უფრო მძიმე გამოდის, ამიტომ მათი მალების სიდიდე შეზღუდულია. თანამედროვე რკინიგზის ხიდებში ჩვეულებრივი კონსტრუქციის კოჭური მალების სიდიდე 30—35 მ-ს აღწევს, ავტოგზის ხიდებში კი 60—70 მ-ს. მხოლოდ წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების გამოყენება გვაძლევს საშუალებას გავზარდოთ კოჭური ხიდების მალები 100—120 მ-მდე. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ რკინაბეტონის თაღოვან ხიდებში დიდი მალების განხორციელება გაცილებით ნაკლებ სიძნელეს წარმოადგენს—მათი მალი აღწევს 150—250 მ-ს. აქედან ცხადია, რომ კოჭური სისტემა ძირითადად გამოიყენება მცირე და საშუალო მალის ხიდებში, თაღოვანი და კამაროვანი კი—საშუალო და დიდმალიან ხიდებში.

კოჭური მალის ნაშენებისა და საყრდენების კონსტრუქციის სიმარტივე საშუალებას გვაძლევს ჩავატაროთ მათი სრული სტანდარტიზაცია და უნიფიკაცია. თანამედროვე კოჭური მალის ნაშენები ძირითადად სტანდარტული კონსტრუქციის კეთდება, ტიპობრივი პროექტების საფუძველზე.

სიმარტივის შედეგად ადვილდება ნაკრები კონსტრუქციების და მშენებლობის ინდუსტრიული მეთოდების გამოყენებაც. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ თანამედროვე პირობებში, ფოლადის ეკონომიური ხარჯვის თვალსაზრისით

იდგმება საკიდები, დიამეტრით 6—8 მმ. საკიდებს მეორე დანიშნულებაც აქვთ: გამანაწილებელ არმატურასთან ერთად ისინი უზრუნველყოფენ არმატურის კარკასის უცვლადობას დაბეტონების დროს.

ცხრილი 1

რკინიგზის ერთლიანდაგიანი ფილოვანი მალის ნაშენების ძირითადი მონაცემები. დროებითი დატვირთვის კლასი *H*8

(ლენტრანსმოსტპროექტის ტიპობრივი პროექტების მიხედვით. 1942 წ).

კონსოლების ტიპი	სინათლეში მალი l_0	საანგარიშო მალი l	მთლიანი სიგრძე L	მალის ნაშენის სიგანე ზედა ნაწილში	ფილის სისქე მალის შუაში H	სამშენებლო სიმაღლე რელსის ქუსლიდან		მალის ნაშენის წონა		რკინაბეტონის მოცულობა	არმატურის მთლიანი წონა	ბეტონის მარკა
						კონსტრუქციის ძირამდე მალში	საყრდენ ბაქნამდე	ბალასტით და გზის ნაწილებით	უბალასტოდ			
	მ	მ	მ	მ	მ	მ	მ	ტ	ტ	მ³	კგ	კგ/სმ²
მოკლე	2,0	2,3	2,6	4,0	0,26	0,68	0,68	14,5	6,3	2,42	541	250
მოკლე	2,13	2,43	2,73	4,0	0,26	0,69	0,69	15,4	6,8	2,62	572	„
მოკლე	3,0	3,3	3,6	4,0	0,32	0,75	0,75	21,7	10,7	4,1	868	„
გრძელი	4,0	4,35	4,7	4,9	0,42	0,85	0,85	37,2	20,0	7,7	1419	„
მოკლე	4,0	4,35	4,7	4,0	0,42	0,85	0,85	31,9	18,0	6,9	1370	„
გრძელი	4,27	4,64	5,0	4,9	0,45	0,88	0,88	40,7	22,3	8,56	1542	„
მოკლე	4,27	4,64	5,0	4,0	0,45	0,88	0,88	35,0	19,8	7,6	1493	„

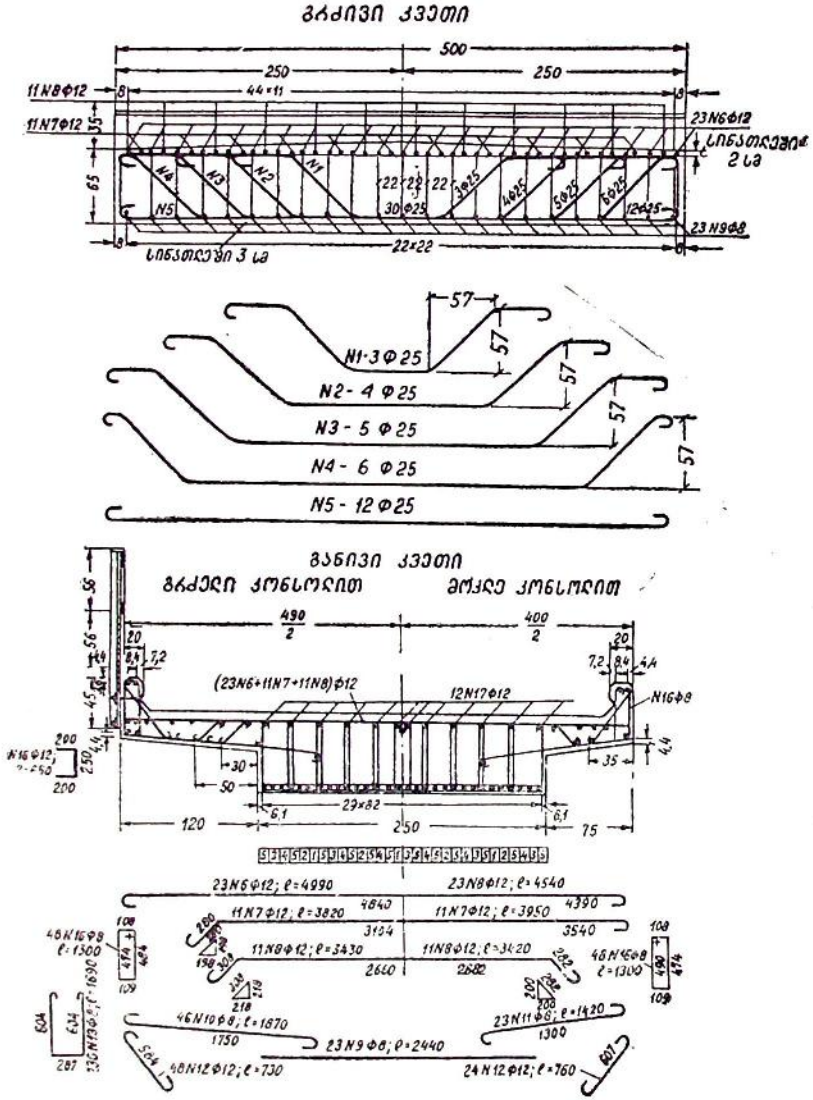
მაგალითის სახით ნახ. 4-ზე მოყვანილია ფილოვანი მალის ნაშენის არმირება (სინათლეში მალი 4,27 მ). როგორც ნახაზიდან ჩანს, ფილის მუშა არმატურა შედგება 30 ღეროსაგან, დიამეტრით 25 მმ. ზოგი მათგანი (№ 5) სწორია, დანარჩენები (№ 1, № 2, № 3 და № 4) კი აღუნული. მუშა ღეროების ზევიდან დალაგებულია გამანაწილებელი არმატურა (№ 9) დიამეტრით 8 მმ. ყოველ 22 სმ-ზე ეწყობა საკიდები (№ 13) დიამეტრით 8 მმ, თითოეული საკიდი შემოვლებულია ოთხ მუშა არმატურაზე და დამაგრებულია ზედა სამონტაჟო ღეროებზე (№ 17).

ფილის კონსოლები არმირებულია 12 მმ სამი სახის (№ 6, №7 და №8) ღეროებით; ისინი ლაგდება კონსოლების ზემოთა შრეში. გრძივი მიმართულების ღეროები კონსოლის არმატურისათვის გამანაწილებელი იქნება.

ფერდითი (ბორტის) კედლები არმირებულია გრძივი ღეროებით, საკიდებით № 16 და დახრილი ღეროებით № 12.

საბალასტო გობის ფერდითი კედლები მზიდავ ფილასთან ერთობლივი მუშაობიდან გამორთულია, მალის შუა ნაწილებში 2—3 სმ ნაკერების დატოვებით.

გადავიდეთ ფილოვანი მალის ნაშენების საერთო დახასიათებაზე. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მათ კონსტრუქციას დიდი სიმარტივე ახასიათებს, რაც, ცხადია, დადებითი მხარეა; მაგრამ მეორე მხრივ, ფილის განიკვეთის მნიშვნელოვანი ზომების გამო ბეტონის ხარჯი და კონსტრუქციის საკუთარი წონა დიდი გამოდის—მალის ნაშენი მძიმეა. როგორც ვიცით, ფილის სიმაღლე იზრდება მალის ზრდასთან ერთად, ამიტომ ეს ნაკლოვანება განსაკუთრებით



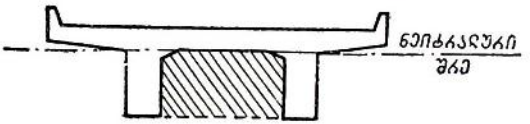
ნახ. 4. ფილოვანი მალის ნაშენის არმირება.

საგრძნობი ხდება შედარებით დიდი მალების დროს. ამის გამო რკინიგზის ხიდებში ფილოვანი მალის ნაშენები იხმარება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მათი მალი არ აღემატება 5 მ-ს. უფრო დიდი მალების დროს უნდა ვიხმაროთ შემსუბუქებული კონსტრუქციები, როგორიცაა წიბოვანი მალის ნაშენები. მათი კონსტრუქცია განხილულია შემდეგ პარაგრაფში.

§ 6. ᲠᲙᲘᲜᲘᲡ ᲬᲘᲑᲝᲕᲐᲜᲘ ᲛᲐᲚᲘᲡ ᲜᲐᲨᲔᲜᲔᲑᲘᲡ ᲙᲝᲜᲡᲢᲠᲣᲥᲪᲘᲐ

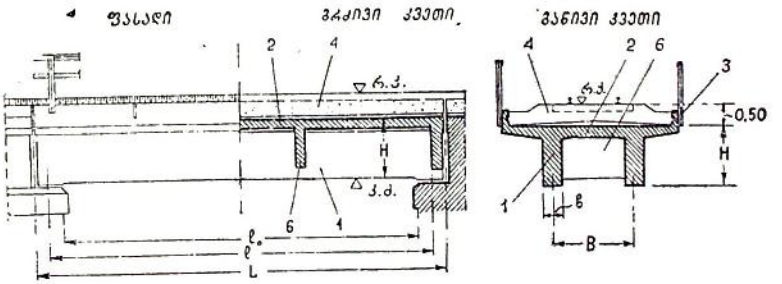
1. წიბოვანი მალის ნაშენები მართკუთხა წიბოებით

წიბოვანი მალის ნაშენის იდეა შემდეგში მდგომარეობს (ნახ. 5). როგორც წინა პარაგრაფში აღვნიშნეთ, დიდი მალების დროს ფილოვანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია მძიმე გამოდის. წონის შესამცირებლად საჭიროა ბეტონის ხარჯის შემცირება. ამისათვის შეიძლება ასე მოვიქცეთ: ვინაიდან ნეიტრალუ-



ნახ. 5. ფილოვანი მალის ნაშენიდან წიბოვანი მალის ნაშენზე გადასვლის სქემა.

რი შრის ქვევით ფილის კვეთში გამჭიმავი ძაბვები წარმოიშვება, ბეტონი მუშაობაში მონაწილეობას არ იღებს და ფაქტიურად ზედმეტ, მკვდარ ტვირთს

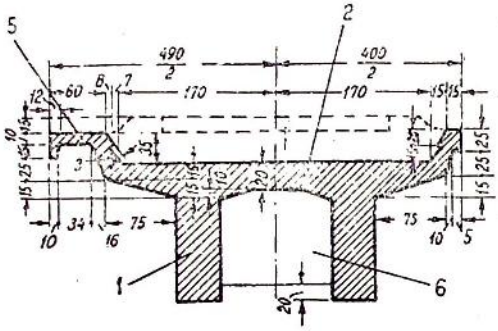


ნახ. 6. წიბოვანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია მართკუთხა წიბოებით.

წარმოადგენს. ცხადია, შესაძლებელია მუშა არმატურა ფილის ქვედა ზონის გარკვეულ უბნებზე შევაჯგუფოთ და გაჭიმული ბეტონის დანარჩენი ნაწილი ამოვაგდოთ (ნახ. 5-ზე ეს ნაწილი დაშტრიხულია). მაშინ მალის ნაშენის განივკვეთში მართკუთხოვანი ფილის ნაცვლად მივიღებთ წიბოვან კონსტრუქციას; ამგვარად იქმნება წიბოვანი მალის ნაშენის სქემა.

ფილოვან მალის ნაშენთან შედარებით წიბოვანი მალის ნაშენი ბეტონის ნაკლები ხარჯით ხასიათდება და უფრო მსუბუქი გამოდის. ამიტომ შესაძლებელია მისი გამოყენება უფრო დიდი სიგრძის მალებში. ამასთანავე, უნდა აღვნიშნოთ, რომ წიბოვან კონსტრუქციაზე გადასვლა ართულებს მალის ნაშენის კონსტრუქციას და მის მუშაობის პირობებს. რკინიგზის ხიდების წიბოვანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია მართკუთხა წიბოებით ნაჩვენებია ნახ. 6-ზე. მალის ნაშენის ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია მართკუთხა ფორმის წიბოები ანუ მთავარი კოჭებია 1. მუშაობის თვალსაზრისით ისინი წარმოადგენენ T-სებრი განივკვეთის კოჭებს, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე ხიდის გრძივი მიმართულებით. წიბოების ზედა ნაწილში მოთავსებულია საბალასტო გობის ფილა 2. იგი მთავარ კოჭებს ეყრდნობა და ბორტის კედლებთან ერთად 3

ქმნის საბალასტო გობს 4. ფილის მუშაობა ორი სახისაა: ერთი მხრივ ფილა მთავარი კოჭების შეკუმშული ზონის ნაწილს წარმოადგენს და განიცდის კუმშვას ხიდის გასწვრივ. მეორე მხრივ იგი მუშაობს ღუნვაზე ხიდის განივად, შუა ნაწილი (წიბოებს შორის) როგორც ორმხრივ ჩამაგრებული კოჭი, განაპირა ნაწილები კი როგორც კონსოლები. აღსანიშნავია, რომ ხშირად ფილას



ნახ. 7. წიბოვანი მალის ნაშენის განივი კვეთი ტეხილი ფორმის კონსოლებით.

უფრო რთული მოხაზულობა ეძლევა (ნახ. 7): კონსოლების განაპირა უბნები ამაღლებულია და ქმნის ტროტუარის ფილას 5; ამით მცირდება ბალასტის მოცულობა. საბალასტო გობის ფილის კონსოლები, ისე როგორც ფილოვანი მალის ნაშენში, შეიძლება იყოს მოკლე და გრძელი (ნახ. 7). მოაჯირები კეთდება ჩვეულებრივი სახის.

მთავარი წიბოები ერთმანეთთან შეერთებულია განივი ვერტიკალური ფილებით—დიაფრაგმებით 6 (ნახ. 6 და 7). მათი დანიშნულებაა წიბოების დაკავშირება და ერთობლივი მუშაობის უზრუნველყოფა. გარდა ამისა, დიაფრაგმები თანაბრად ანაწილებენ დატვირთვას ორივე წიბოს შორის, ლიანდაგის შემთხვევითი არაცენტრალური მდებარეობის დროს. დიაფრაგმებს შორის მანძილი 4—6 მ-ს ტოლია. შუალედი დიაფრაგმების სიმაღლე დაახლოებით მთავარი კოჭების სიმაღლის 3/4-ს ტოლია, სისქე კი 0,15—0,25 მ. საყრდენი დიაფრაგმები უფრო მძლავრი უნდა იყოს, სისქით 0,30—0,40 მ.

საბალასტო გობიდან ატმოსფერული წყლის გადაყვანა წიბოვანი კონსტრუქციის დროს უფრო რთულია, ვიდრე ფილოვან მალის ნაშენებში. დიდი სიგრძის გამო აქ წყლის გადაყვანა ბოლოებისაკენ, მალის ნაშენის გარეთ, შეუძლებელი ხდება, მით უფრო მრავალმალიანი ხიდების დროს. ამიტომ ასეთ ხერხს მიმართავენ: სავალი ნაწილის ფილაში გარკვეულ ადგილებზე ჩატანებულია შეეული წყალსარინი მილები, რომლებსაც წყალი გამოჰყავს ფილის ქვევით. საიზოლაციო ფენის ქვეშ კეთდება მჭლე ბეტონის მომზადება, რომლის ზედაპირს ეძლევა ქანობი წყალსარინი მილებისაკენ. ნახ. 8-ზე მოყვანილია წიბოვანი მალის ნაშენის გეგმა, სადაც ნაჩვენებია წყალსარინი მილების მდებარეობა და ქანობების მიმართულება. წყალსარინი მილების დეტალები მოყვანილი იქნება § 35-ში.

წიბოვანი კონსტრუქციის არმირება უფრო რთულია, ვიდრე ფილოვანი მალის ნაშენებისა. მთავარი კოჭების ძირითადი მუშა არმატურა საკმაოდ

ჩარჩოების ტოლფასობანი წიბოვანი მალიხ ნაშენების ძირითადი პარამეტრები

(მართკუთხა წიბოებით, დრეკებით და ტემპერთვის კლასი $H8$, ლენტრანსმისტატორების ტიპობრივი პროექტების მიხედვით. 1942 წ.)

საბალასტო გრების კონსოლების ტიპი	სიმაღლე h_0		სიგანე l		მთლიანი სიგრძე L		მთლიანი ნაშენის სიგრძე		ფიზიკური სიგანე H		ნაშენის მთლიანი მოცულობა B		საშენებლო სამუშაოების მოცულობა		მალის ნაშენის წონა			ნაშენის მთლიანი ღირებულება		ნაშენის ღირებულება 1 მ³-ზე	
	ბ	ა	ბ	ა	ბ	ა	ბ	ა	ბ	ა	ბ	ა	ბ	ა	ბ	ა	ბ	ა	ბ	ა	ბ
გრძელი და მოკლე	6,0	6,0	6,7	7,3	7,3	4,9	4,45	1,15	1,15	0,5	0,5	1,7	1,7	1,65	1,65	1,69	1,69	62,4	37.2	15.5	2236
გრძელი და მოკლე	6,0	6,0	6,7	7,3	7,3	4,9	4,45	1,15	1,2	0,5	0,5	1,7	1,7	1,65	1,7	1,69	1,74	61,2	36.0	15.0	2211
გრძელი და მოკლე	6,4	7,1	7,8	4,9	4,45	1,2	1,2	0,5	0,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,74	1,74	67,6	40,5	16,9	2399
გრძელი და მოკლე	6,4	7,1	7,8	4,9	4,45	1,2	1,2	0,5	0,5	1,7	1,7	1,9	1,9	1,7	1,7	1,74	1,74	66,6	39,6	16,5	2374
გრძელი და მოკლე	8,0	8,7	9,3	4,9	4,45	1,4	1,4	0,5	0,5	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,94	1,94	86,7	52,8	22,0	3289
გრძელი და მოკლე	8,0	8,7	9,3	4,9	4,45	1,4	1,4	0,5	0,5	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,94	1,94	85,5	51,5	20,5	3254
გრძელი და მოკლე	8,53	9,3	10,0	4,9	4,45	1,4	1,4	0,53	0,53	1,67	1,67	1,9	1,9	1,9	1,9	1,94	1,94	92,9	58,3	24,3	3902
გრძელი და მოკლე	8,53	9,3	10,0	4,9	4,45	1,4	1,4	0,53	0,53	1,67	1,67	1,9	1,9	1,9	1,9	1,94	1,94	91,5	56,8	23,7	3872
გრძელი და მოკლე	10,0	10,8	11,5	4,9	4,45	1,55	1,55	0,53	0,53	1,67	1,67	1,9	1,9	1,94	1,94	1,94	1,94	112,0	72,0	30,0	4984
გრძელი და მოკლე	10,0	10,8	11,5	4,9	4,45	1,55	1,55	0,53	0,53	1,67	1,67	1,9	1,9	1,94	1,94	1,94	1,94	110,0	70,5	29,4	4948
გრძელი და მოკლე	10,67	11,5	12,2	4,9	4,45	1,6	1,6	0,53	0,53	1,67	1,67	2,1	2,1	2,14	2,14	2,14	2,14	120,0	78,0	32,5	5489
გრძელი და მოკლე	10,67	11,5	12,2	4,9	4,45	1,6	1,6	0,53	0,53	1,67	1,67	2,1	2,1	2,14	2,14	2,14	2,14	119,0	76,0	31,8	5451
გრძელი და მოკლე	12,0	12,8	13,5	4,9	4,45	1,8	1,8	0,6	0,6	1,6	1,6	2,3	2,3	2,44	2,44	2,44	2,44	148,0	100,0	41,7	6271
გრძელი და მოკლე	12,0	12,8	13,5	4,9	4,45	1,8	1,8	0,6	0,6	1,6	1,6	2,3	2,3	2,44	2,44	2,44	2,44	146,0	96,5	40,2	6228
გრძელი და მოკლე	12,8	13,6	14,3	4,9	4,45	1,85	1,85	0,6	0,6	1,6	1,6	2,35	2,35	2,49	2,49	2,49	2,49	158,0	111,0	45,0	7018
გრძელი და მოკლე	12,8	13,6	14,3	4,9	4,45	1,85	1,85	0,6	0,6	1,6	1,6	2,35	2,35	2,49	2,49	2,49	2,49	156,0	104,0	43,4	6972
გრძელი და მოკლე	15,0	15,85	16,5	4,9	4,45	2,15	2,15	0,6	0,6	1,6	1,6	2,65	2,65	2,82	2,82	2,82	2,82	210,0	140,0	58,3	9326
გრძელი და მოკლე	15,0	15,85	16,5	4,9	4,45	2,15	2,15	0,6	0,6	1,6	1,6	2,65	2,65	2,82	2,82	2,82	2,82	208,0	135,0	56,4	9274

170 კგ/სმ²

დანიშნულება შემდეგში მდგომარეობს: როგორც ვიცით, გამაგრების დროს ბეტონი შეკლებას განიცდის, ე. ი. მისი ზომები მცირდება; მალის ნაშენის გასწვრივ თავისუფალ შეკლებას აბრკოლებს ხახუნის ძალები საყრდენ ნაწილებში. ამიტომ კოჭის გასწვრივ წარმოიშვება გამჭიმავი ძაბვები, რომლებსაც შეუძლიათ ზედაპირული ბზარები გამოიწვიონ; ამის საწინააღმდეგოდ იდგმება ზემოხსენებული არმატურა. ტექნიკური პირობების თანახმად შეკლების საწინააღმდეგო არმატურა იდგმება კოჭებში, თუკი მათი სიმაღლე აღემატება 1 მ-ს. დაბეტონების დროს კარკასის უცვლელობის შესანარჩუნებლად წიბოებში იდგმება სამონტაჟო თარაზული საკიდები (№ 25, ნახ. 9).

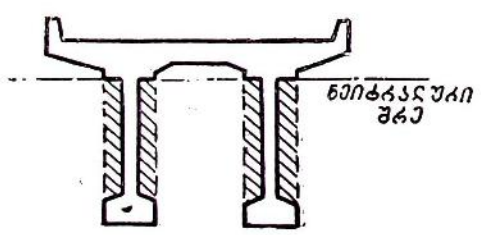
საბალასტო გობის ფილის არმირება ჩვეულებრივი წესით წარმოებს; იგი მოყვანილია ნახ. 9-ზე.

რკინიგზის ხიდებში წიბოვანი მალის ნაშენები მართკუთხა წიბოებით იხმარება 6—15 მ მალების დროს.

რკინიგზის წიბოვანი მალის ნაშენების ძირითადი მონაცემები მოყვანილია მე-2 ცხრილში, ლენტრანსმოსტპროექტის ტიპობრივი პროექტების მიხედვით.

2. წიბოვანი მალის ნაშენები ორტესებრი წიბოებით

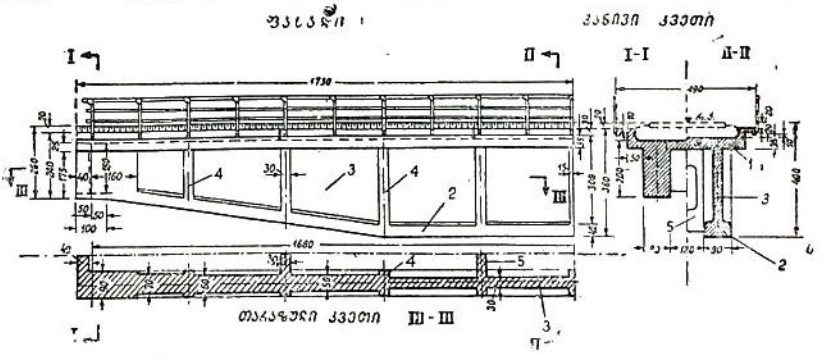
15 მ-ზე მეტი მალების დროს წიბოვანი მალის ნაშენების გამოყენება მართკუთხა წიბოებით არახელსაყრელია: საგრძნობლად იზრდება ბეტონის ხარჯი და მალის ნაშენის საკუთარი წონა. ეს ძირითადად გამოწვეულია წიბოების განივკვეთის დიდი ზომებით. ამიტომ ბეტონის ხარჯისა და საკუთარი წონის შესამცირებლად საჭიროა მალის ნაშენის განივკვეთის ზომების შემდგომი შემცირება. ამისათვის შემდეგი ხერხი იხმარება (ნახ. 11): წიბოების ზედა ნაწი-



ნახ. 11. მართკუთხა წიბოებიდან ორტესებრ წიბოებზე გადასვლის სქემა.

ლი საბალასტო გობის ფილასთან ერთად მთავარი კოჭების შეკუმშულ ზონას შეადგენს და მისი შემცირება არახელსაყრელია; წიბოების ქვედა ნაწილში მუშა არმატურაა განლაგებული და სიგანის შემცირება აქ შეუძლებელია; რაც შეეხება წიბოს შუა ნაწილს, აქ ბეტონი გაჭიმულ ზონაში ხვდება და მუშაობაში მონაწილეობას არ იღებს. ამიტომ მიზანშეწონილია ამ ფარგლებში წიბოს სიგანის მინიმუმამდე დაყვანა, ბეტონის ნაწილის მოშორებით (ნახ. 11-ზე ეს ნაწილი დაშტრიხულია). ამგვარად მიიღება წიბოვანი მალის ნაშენი ორტესებრი ფორმის წიბოებით ანუ მთავარი კოჭებით. წიბოს კედლის სისქის სიმცირის გამო ასეთ კონსტრუქციას ხშირად თხელკედლიანი მალის ნაშენი ეწოდება.

მალის ნაშენის კონსტრუქცია ორტესებრი კოჭებით ნაჩვენებია ნახ. 12-ზე. ძირითად მზიდ კონსტრუქციას აქ წიბოები, ანუ მთავარი კოჭები წარმოადგენს. ისინი სამი ნაწილისაგან შედგება: 1—ბალასტის გობის ფილა, რომელიც კოჭის შეკუმშულ სარტყელს წარმოადგენს; 2—ქვედა გაგანიერებული ნაწილი, რომელშიც მუშა არმატურაა მოთავსებული; იგი კოჭის გაჭიმულ (ქვედა) სარტყელს წარმოადგენს. 3—კედელი, რომელიც აერთებს სარტყ-



ნახ. 12. მალის ნაშენის კონსტრუქცია ორტესებრი მთავარი კოჭებით.

ლებს ერთმანეთთან. იგი ძირითადად მუშაობს მთავარ ირიბ ძაბვებზე. ვინაიდან ამ უკანასკნელთა სიდიდე თანდათან მცირდება მალის შუისაკენ (გადამჭრელი ძალის შემცირების გამო), ამიტომ კოჭის კედლის სისქეც ცვლადი კეთდება—იგი თანდათან მცირდება საყრდენიდან მალის შუისაკენ (იხ. ნახ. 12, თარაზული კვეთი). სიგანის შემცირება ხდება საფეხურისებურად. კედლის მინიმალური სისქე მონოლითურ მალის ნაშენებში 0,20—0,15 მ კეთდება. თხელი კედლის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად მას უკეთდება სიხისტის წიბოები 4. მთავარი კოჭები ერთმანეთთან შეერთებულია დიაფრაგმებით 5.

მალის ნაშენის განხილული კონსტრუქცია მნიშვნელოვნად ამცირებს ბეტონის ხარჯს და საკუთარ წონას. ამიტომ იზრდება გადასახურავი მალების სიდიდეც. რკინიგზის ხიდებში იგი 30—35 მ-ს აღწევს. მეორე მხრივ ორტესებრწიბოებიან კონსტრუქციას მთელი რიგი უარყოფითი თვისებებიც აქვს; მთავარია კონსტრუქციის სირთულე: გართულებულია ყალიბების მოწყობა, მალის ნაშენის არმირება; ძნელია მისი დაბეტონებაც. ამიტომ ასეთი კონსტრუქციის გამოყენება შეიძლება გამართლებული იყოს მხოლოდ შედარებით დიდი მალების დროს, როდესაც მართკუთხა წიბოები მეტად მძიმე გადაწყვეტას იძლევა. უკანასკნელ დრომდე მონოლითური მალის ნაშენები ორტესებრი წიბოებით იხმარებოდა 15—35 მ მალებისთვის. დღესდღეობით, ინდუსტრიული კონსტრუქციების განვითარებასთან დაკავშირებით, ისინი თანდათან გამოდიან ხმარებიდან: მალების აღნიშნულ დიაპაზონში უმჯობესია ვიხმაროთ წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები.

ძირითადი მონაცემები დაპროექტებული და განხორციელებული მალის ნაშენებისა ორტესებრი და მართკუთხა თხელკედლიანი კოჭებით მოცემულია მე-3 ცხრილში.

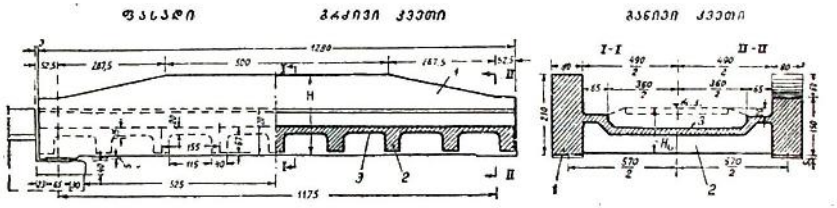
რკინიგზის ერთლიანდაგიანი წიბოვანი მალის ნაშენების ძირითადი მონაცემები

(ორტესებრი და მართკუთხა წიბოებით. დატვირთვის კლასი *H*8)

პროექტის სახელწოდება	დაპროექტების წელი	საანგარიშო მალი *l*	მთლიანი სიგრძე *L*	მალის ნაშენის წიბოს სიმაღლე *H*	$\frac{H}{l}$	საშენებლო სიმაღლე	წიბოს სიგანე	წიბოების რაოდენობა	მალის ნაშენის მთლიანი სიგანე	ბეტონის მარკა	რკინაბეტონის მოცულობა	არმატურის წონა (ფოლადი 3)	დანარჩენი ლითონის წონა	ლითონის მთლიანი რაოდენობა	შეფიცვრის ფართობი	იზოლაციის ფართობი	არმატურის ხარჯი ბეტონის 1 მ³-ზე	არმირების %
		მ	მ	მ	—	მ	მ	—	მ	კგ/სმ²	მ³	ტ	ტ	ტ	მ²	მ²	კგ	—
1. ორწიბოიანი კოჭი მართკუთხა წიბოებით . . .	1939	18,0	18,8	2,65	$\frac{1}{6,8}$	3,15	0,92	2	2,7	170	111,3	14,03	2,29	16,32	347	92	126	1,61
2. „ „ „	1940	23,0	23,7	2,50	$\frac{1}{9,2}$	3,00	0,70 0,30 0,50	2	2,7	300	92,2	26,15	2,80	28,95	425	100	283	3,61
3. ორწიბოიანი კოჭი ორტესებრი წიბოებით .	1940	33,6	34,02	3,50	$\frac{1}{9,6}$	4,00	0,85 0,20 0,45	2	3,05	300	155,4	44,95	2,93	48,45	—	1,28	289	3,69
4. „ „ „	1940	27,0	28,0	3,60	$\frac{1}{7,5}$	4,1	0,4 1,0	2	2,7	170	170,0	25,40	—	—	642	275	150	1,91
5. „ „ „	1940	23,0	24,0	3,00	$\frac{1}{7,7}$	3,5	0,4	2	2,7	170	127,8	19,98	—	—	486	235	151	2,0
6. „ „ „	1941	23,0	24,0	2,7	$\frac{1}{8,5}$	3,2	—	2	—	250	78,9	22,7	—	—	—	—	291	3,7
7. „ „ „	1941	33,6	34,6	4,2	$\frac{1}{8}$	4,7	—	2	—	250	215,0	42,8	—	—	—	—	199	2,5

3. ქვესავლელი წიბოვანი მალის ნაშენები

ზემომოყვანილი მასალა ეხებოდა ზესავლელ წიბოვან ხიდებს. ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება გამოყენებული იყოს ქვესავლელი წიბოვანი კოჭური ხიდებიც. ასეთი ხიდის კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 13-ზე. მალის ნაშენის ძირითად მზიდ კონსტრუქციას აქაც წარმოადგენს მთავარი კოჭები 1. სავალი ნაწილი ეწყობა მათ ქვედა ნაწილთან. გაბარიტული სიგანის დასაცა-



ნახ. 13. ქვესავლელი წიბოვანი კოჭური ხიდის კონსტრუქცია.

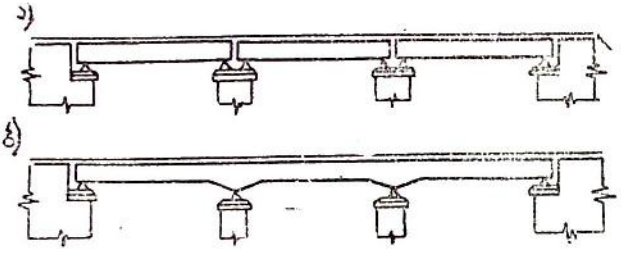
ვად მთავარი კოჭები უნდა განლაგდეს ერთმანეთისაგან 4,90 მ-ს მანძილზე, ამიტომ სავალი ნაწილის კონსტრუქცია რთულდება. მის შემადგენლობაში საჭირო ხდება ვიხმაროთ ახალი კონსტრუქციული ელემენტები—განივი კოჭები 2. ისინი განლაგებულია ერთმანეთისაგან 1,5—2,0 მ-ს მანძილზე და ეყრდნობა მთავარ კოჭებს. განივი კოჭები მუშაობს ღუნვაზე ხიდის განივი მიმართულებით. ისინი წარმოადგენენ საყრდენებს საბალასტო გობის ფილისათვის 3. ეს უკანასკნელი ამ შემთხვევაში მუშაობს ღუნვაზე ხიდის გასწვრივ, როგორც უჩრი კოჭი.

ეკონომიური თვალსაზრისით ქვესავლელი მალის ნაშენი გაცილებით ჩამოუვარდება ზესავლელს. მართლაც აქ სავალი ნაწილი გამძიმებულია განივი კოჭების არსებობით. ამის გამო მატულობს დატვირთვა მთავარ კოჭებზე. ამასთან ერთად ეს უკანასკნელნი არიან არა ტესებრი კვეთის (როგორც ეს ზესავლელ მალის ნაშენებში იყო), არამედ მართკუთხა კვეთისა, რაც აუარესებს მათი მუშაობის პირობებს. ბეტონის და არმატურის ხარჯი ასეთ მალის ნაშენებში გაცილებით მეტია და კონსტრუქციაც უფრო რთულია ზესავლელ მალის ნაშენებთან შედარებით. ქვესავლელი მალის ნაშენის ერთადერთი უპირატესობაა მცირე სამშენებლო სიმაღლე (მანძილი რელსის ქუსლიდან კონსტრუქციის ძირამდე $H_ს$ მთავარი კოჭის H სიმაღლეზე ნაკლებია). ამიტომ ქვესავლელი მალის ნაშენები წინათ გამოიყენებოდა შეზღუდული სიმაღლის პირობებში. არაეკონომიურობის გამო ახლა ისინი თითქმის აღარ იხმარება.

§ 7. უჯრი მალის ნაშენების კონსტრუქცია

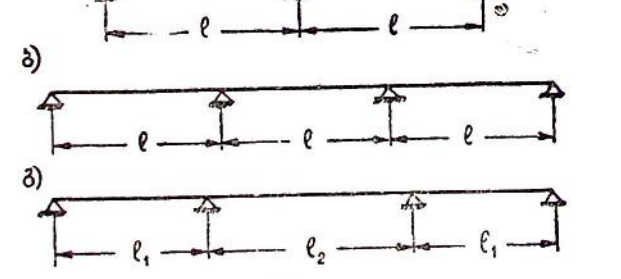
ასეთი ტიპის მალის ნაშენებში ძირითად მზიდ კონსტრუქციას უჯრი კოჭის სქემა აქვს: იგი უწყვეტად გადახურავს რამდენიმე მალს და ორზე მეტ საყრდენს ეყრდნობა (ნახ. 14,ბ). ასეთი კონსტრუქციის ძირითადი უპირატესობაა მალის მომენტების შემცირება საყრდენი მომენტების არსებობის ხარჯზე. ამის გამო შეიძლება შემცირდეს მალის ნაშენის საკუთარი წონა, მთავარი კოჭის სიმაღლე, ბეტონისა და არმატურის ხარჯი. ნაწილობრივ

უმჯობესდება ბურჯების მუშაობის პირობებიც: შუალედ ბურჯებზე მხოლოდ თითო საყრდენი ნაწილი ეყრდნობა და მალის ნაშენის დაწოლა ბურჯს მუდამ ცენტრალურად გადაეცემა (ნახ. 14, ბ). ამიტომ შუალედი ბურჯების ზომებიც ხიდის ღერძის გასწვრივ შეიძლება ცოტათი შემცირდეს. ამგვარად, უჭრი მალის ნაშენების გამოყენება ამცირებს სამუშაოთა მოცულობას და მასალების ხარჯს. მაგრამ, მეორე მხრივ, მათი განხორციელება შედარებით



ნახ. 14. ჭრილი და უჭრი მალის ნაშენების შედარებითი სქემა.

უფრო რთულია, ვიდრე ჭრილი კონსტრუქციის: რთულდება მთავარი კოჭების არმირება, დაბეტონების პროცესი და სხვა. ამიტომ უჭრი მალის ნაშენების გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ საშუალო და დიდი მალების დროს, როდესაც მასალების ეკონომია საკმარისად დიდია და ჰფარავს წარმოების სირთულეს. ჩვეულებრივ ითვლება, რომ უჭრი მალის ნაშენები შეიძლება ვიხ-

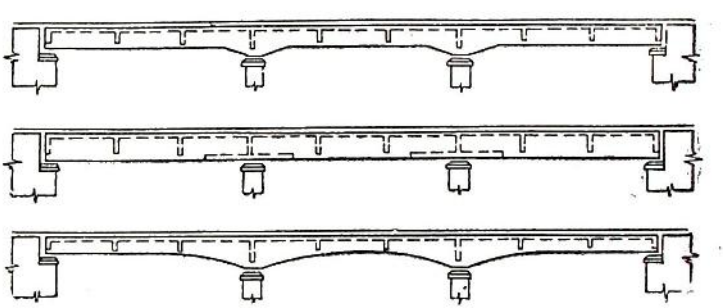


ნახ. 15. უჭრი მალის ნაშენების სქემა.

მაროთ 15—20 მ-ს მალების ზევით; მაგრამ დღესდღეობით, ინდუსტრიული ტიპის ჭრილი კონსტრუქციების გავრცელების გამო, უჭრი მალის ნაშენების გამოყენების სფერო ამოიწურება 30—40 მ-ს და მეტი სიდიდის მალებით.

აღსანიშნავია კიდევ ერთი გარემოება: უჭრი მალის ნაშენი, როგორც სტატიკურად ურკვევი სისტემა, მეტად მგრძნობიარეა საყრდენების დაჯდომის მიმართ: მათი არათანაბარი დაჯდომა იწვევს მთავარ კოჭებში დამატებით ძალვებს, ქმნის ბზარებისა და ნგრევის საშიშროებას. ამიტომ უჭრი მალის ნაშენების გამოყენება გამართლებულია მხოლოდ მტკიცე გრუნტებისა და ბურჯების საიმედო ფუძეების დროს.

უჭრი მალის ნაშენების სქემა, როგორც წესი, ორმალიანი ან სამმალიანი მიიღება (ნახ. 15). მალების მეტი რაოდენობის გაერთიანება უჭრ კონსტრუქციად უკვე არახელსაყრელია სირთულისა და ტემპერატურული დეფორმაციების გამო. ამიტომ მრავალმალიანი ხიდები ხორციელდება რამდენიმე ორ-ან სამმალიანი უჭრი მალის ნაშენების გამოყენებით. ორმალიანი სქემის შემთხვევაში მალების სიდიდე, ცხადია, უმჯობესია თანატოლი იყოს (ნახ. 15, ა). თანაბარი მალების გამოყენება შეიძლება სამმალიანი სქემის დროსაც (ნახ. 15, ბ),



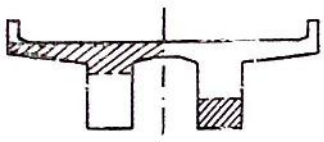
ნახ. 16. უჭრი მალის ნაშენების მთავარი კოჭების მოხაზულობის ტიპები.

მაგრამ აქ ხშირად სასარგებლოა არათანაბარი მალების გამოყენებაც. ამის მიზეზი შემდეგია: თანაბარი მალების დროს განაპირა მალებში მალის მომენტის სიდიდე მეტია, ვიდრე შუა მალში; ამიტომ მალის მომენტების გათანაბრების თვალსაზრისით უმჯობესია გავზარდოთ შუა მალი განაპირა მალების ხარჯზე (ნახ. 15, გ). აღსანიშნავია, რომ შუა მალის სიდიდის გაზრდა გამართლებულია აგრეთვე სანაოსნო პირობების თვალსაზრისით და ესთეტიკური მოსაზრებებით. ჩვეულებრივ მალების თანაფარდობა მიიღება ასეთ ფარგლებში: $l_1 = (0{,}60 \div 0{,}80) l_2$.

კონსტრუქციის თვალსაზრისით უჭრი მალის ნაშენები ყოველთვის წიბოვანი კეთდება (დიდი მალების გამო ფილოვანი კონსტრუქციის გამოყენება აქ ცხადია შეუძლებელია). წიბოები შეიძლება იყოს როგორც მართკუთხა ფორმის (მცირე მალების დროს), ისე ორტესებრი (დიდი მალების დროს). მალის ნაშენის კონსტრუქცია ხიდის განივკვეთში ისეთივეა, როგორც ჭრილი ხიდების დროს, ამიტომ ჩვენ ის აქ აღარ მოგვყავს. რაც შეეხება მთავარი კოჭების (წიბოების) მოხაზულობას ხიდის ფასადის სიბრტყეში, ის შეიძლება სხვადასხვაგვარი იყოს (ნახ. 16). საშუალო მალებისათვის ყველაზე უფრო გავრცელებულია კოჭების სწორხაზობრივი მოხაზულობა ვუტებით (ნახ. 16, ა). ვუტი ეწოდება მთავარი კოჭის დახრილ უბნებს საყრდენების მახლობლად. მათი მიზანია მთავარი კოჭის სიმაღლის გაზრდა საყრდენ კვეთში. ეს შემდეგი მიზეზებითაა გამოწვეული: როგორც ცნობილია, უჭრ კოჭში საყრდენებზე მომენტი ჩვეულებრივ მეტია, ვიდრე მალში. ამასთანავე, საყრდენი კვეთის მუშაობის პირობები უარესია, ვიდრე მალის კვეთისა: მალში მომენტი დადებითია, კუმშვას ზედა ბოჭკოები განიცდის და შეკუმშული ზონის შემადგენლობაში შედის საბალასტო გობის ფილა, რომელიც აძლიერებს მას; საყრდენ კვეთში მომენტი უარყოფითია, იჭიმება ზედა ბოჭკოები და შეკუმშული ზონა შედარებით სუსტი გამოდის (ნახ. 17.) აღნიშნული მიზეზების საკომპენ-

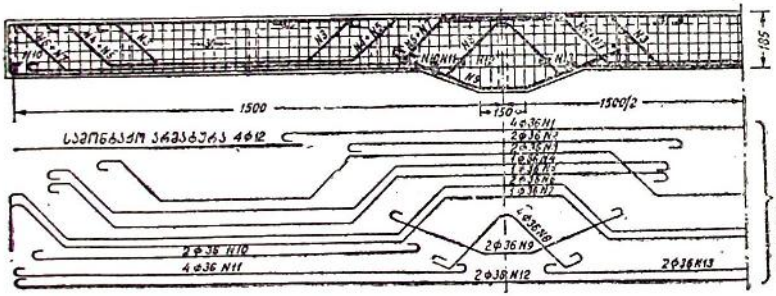
საციოდ საჭიროა კოჭის საყრდენი კვეთის სიმაღლის გაზრდა, რაც ვუტის საშუალებით ხდება. ვუტის ქვედა წიბოს ქანობი მიიღება არა უმეტესი, ვიდრე 1 : 3. ადვილი გასაგებია, რომ განაპირა საყრდენებზე, სადაც მომენტი ნულია, ვუტები საჭირო არ არის. მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევაში, არქიტექტურული მოსაზრებებით, აქაც შეიძლება გაკეთდეს დეკორაციული ვუტები.

შეიძლება გვქონდეს ისეთი შემთხვევა, როდესაც ვუტის მოწყობა არასასურველია არქიტექტურული თვალსაზრისით; მაშინ შეიძლება გაკეთდეს მუდმივი სიმაღლის მთავარი კოჭები (ნახ. 16, ბ). ასეთ შემთხვევაში საყრდენი უბნის ფარგლებში კეთდება საგანგებო ქვედა ფილა, რომელიც აძლიერებს კოჭის შეკუმშულ ზონას. მათ ხშირად თარაზული ვუტები ეწოდება. ასეთი გადაწყვეტა არაეკონომიურია და იშვიათად იხმარება.



ნახ. 17. მთავარი კოჭის შეკუმშული ზონის მოხაზულობა მალში და საყრდენზე.

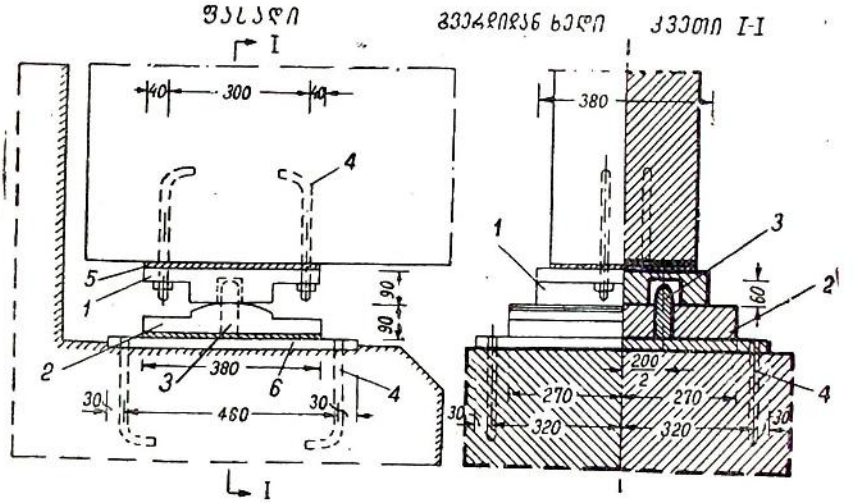
დიდი მალების დროს გამოიყენება მთავარი კოჭების ქვედა წახნაგის მრუდხაზოვანი მოხაზულობა (ნახ. 16, გ). იგი საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ კოჭის სიმაღლე მალში, საყრდენი კვეთის სიმაღლის გაზრდის ხარჯზე. მთავარი კოჭის ცვალებადი სიმაღლე ამცირებს მალის მომენტებს და ზრდის საყრდენ მომენტებს. მალის ნაშენის მასები გადაადგილებულია საყრდენებისაკენ, რაც სასარგებლოა მომენტების შემცირების თვალსაზრისით. ამიტომ მალის ნაშენი უფრო მსუბუქი და ეკონომიური გამოდის, ვიდრე მუდმივი სიმაღლის დროს. მიუხედავად ყალიბების მოწყობის და არმირების სირთულისა, ასეთი კონსტრუქციის გამოყენება მიზანშეწონილია დიდი მალების დროს (40—50 მ).



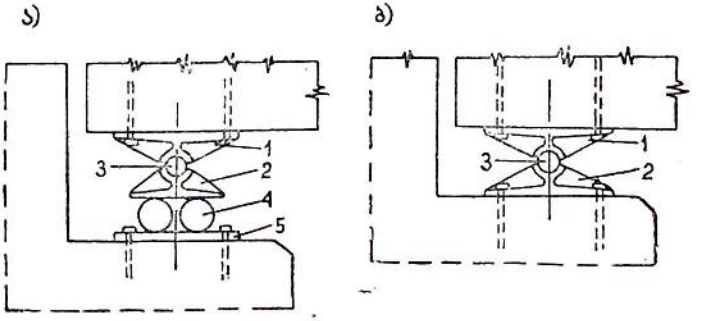
ნახ. 18. უჯრი მალის ნაშენის მთავარი კოჭების არმირების მაგალითი.

უჯრი მალის ნაშენების არმირება ისევე ხდება, როგორც ეს წინა პარაგრაფებში იყო აღწერილი ჭრილი კონსტრუქციისათვის. თავისებურია მხოლოდ მთავარი კოჭების საყრდენი უბნების არმირება. აქ ძირითადი მუშა არმატურა თავსდება კოჭის ზედა წიბოსთან. მის შესაქმნელად მალის არმატურის ღეროები გადაიყვანება ზევით აღუნვის საშუალებით. დამატებით იდგმება ირიბი და სწორი ღეროები. უჯრი მალის ნაშენის მთავარი კოჭების არმირების მაგალითი მოყვანილია ნახ. 18-ზე.

რაქს მომრგვალებული თავი აქვს, ისე, რომ იგი ბალიშების ურთიერთმობრუნებას ხელს არ უშლის. მოძრავ საყრდენ ნაწილში კორაქის ბუდე მოგრძო კეთდება, რათა ზედა ბალიშს ჰქონდეს კოჭის გასწვრივ გადაადგილების საშუალება. ბალიში მაგრდება კოჭზე ანკერული ღეროებით 4. ბალიშსა და კოჭის ქვედა წახნაგს შორის დატანებულია აზბესტის შუასადები, დაწოლის გასათა-



ნახ. 26. ტანგენციალური საყრდენი ნაწილი.

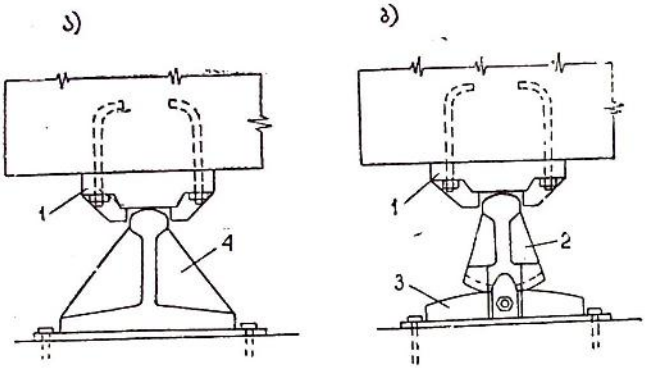


ნახ. 27. საგორავებიანი საყრდენი ნაწილის სქემა: ა—მოძრავი; ბ—უძრავი საყრდენი ნაწილი

ნაბრებლად. ქვედა ბალიში დადუღებულია ლითონის ფურცელზე 6, ეს უკანასკნელი კი ჩამაგრებულია ბურჯში ასევე ანკერული ღეროებით.

ტანგენციალური საყრდენი ნაწილი აკმაყოფილებს საყრდენი კვეთის დაუბრკოლებელ მობრუნების პირობას, მაგრამ კოჭის თავისუფალი ბოლოს გადაადგილება აქ გაძნელებულია ხახუნის გამო. ამიტომ ტექნიკური პირობების თანახმად 18 მ-ზე მეტი მალებისათვის უნდა ვიხმაროთ საყრდენი ნაწილების უფრო სრულყოფილი ტიპები, სადაც ხახუნის გავლენა შემცირებულია. ხმარებაშია რამდენიმე ასეთი კონსტრუქცია. ერთ-ერთ მათგანს წარ-

მოადგენს საგორავებიანი საყრდენი ნაწილი, რომლის სქემა მოცემულია ნახ. 27, ა-ზე. მის შემადგენლობაში შედის ზედა 1 და ქვედა 2 ბალანსირები. ისინი ჩამოსხმულია ფოლადისაგან. მათ შორის მოთავსებულია ცილინდრული სახსარი 3, რომელიც ბალანსირების წრიულ ბუდეებში ზის და საყრდენი კვეთის დაუბრკოლებელ მობრუნებას უზრუნველყოფს. ქვედა ბალანსირი ეყრდნობა ცილინდრულ საგორავებს 4, ეს უკანასკნელნი კი—საყრდენ ფილას 5. სახსარი და საგორავები მაღალხარისხოვანი ნაჭედი ფოლადი-



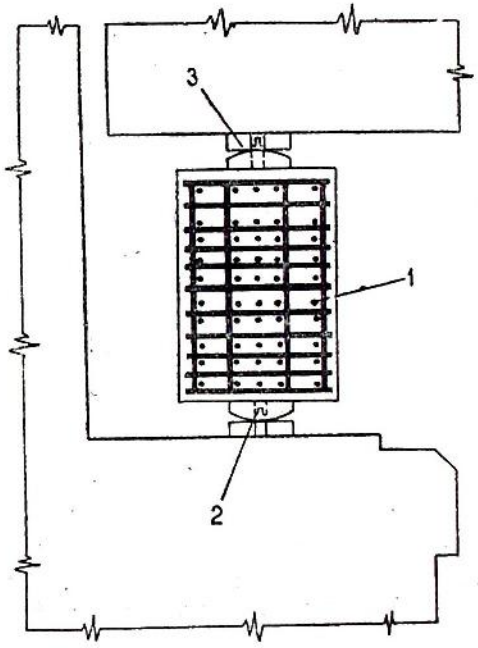
ნახ. 28. სექტორული საყრდენი ნაწილის სქემა: ა—უძრავი; ბ—მოძრავი.

საგან კეთდება, ფილა კი სხმული ფოლადისაგან. საგორავები უზრუნველყოფს კოჭის თავისუფალი ბოლოს დაუბრკოლებელ გადაადგილებას, ხახუნის მინიმალური წინააღმდეგობით. უძრავი საყრდენი ნაწილისთვის საგორავები და საყრდენი ფილა საჭირო არ არის, აქ ქვედა ბალანსირი უშუალოდ ბურჯის ზედაპირს ეყრდნობა (ნახ. 27, ბ).

მეორე სახეობას წარმოადგენს სექტორული საყრდენი ნაწილი (ნახ. 28). მის ძირითად ელემენტებს შეადგენს ზედა ბალანსირი 1, სექტორი 2 და საყრდენი ფილა 3 (ნახ. 28, ბ). სექტორის ზედა მომრგვალებული ბოლო შედის ბალანსირის ბუდეში და ქმნის საყრდენი კვეთის მობრუნების საშუალებას. გადაადგილება კოჭის გასწვრივ ხორციელდება თვით სექტორის მობრუნებით საყრდენი ფილის მიმართ. უძრავ საყრდენ ნაწილში სექტორისა და საყრდენი ფილის მაგივრად იდგმება წიბოვანი სხმული ბალანსირი მომრგვალებული თავით 4 (ნახ. 28, ა).

საგორავებიან და სექტორულ საყრდენ ნაწილებს საერთო უარყოფითი მხარე აქვს: მათი დამზადება დაკავშირებულია ლითონის ელემენტების რთულ დამუშავებასთან და შეიძლება მოხდეს მხოლოდ ქარხნული წესით. ამიტომ ასეთი საყრდენი ნაწილები ძირითადად იხმარება ფოლადის ხიდებისათვის, რომელთა მალის ნაშენები მთლიანად ქარხნებში მზადდება. რკინაბეტონის ხიდებისათვის უფრო გამოსადეგია ისეთი საყრდენი ნაწილები, რომლებიც შეიძლება დამზადდეს მშენებლობის ძალებით. ასეთია ლილვაკისებური საყრდენი ნაწილები. მათი კონსტრუქცია მოყვანილია ნახ. 29-ზე. საყრდენი ნაწილის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს ლილვაკი 1. ეს არის რკინაბეტონის პრიზმატული ფორმის ტანი, რომელიც ეყრდნობა ბურჯის ზედაპირს ტანგენციალური ბალიშების 2 საშუალებით. ასეთივე ბალიშებია ლილ-

ვაკის ზედაპირზე 3. მათი საშუალებით მალის ნაშენის მთავარი კოჭი ეყრდნობა ლილვაკზე. საყრდენი კვეთის დაუბრკოლებელი მობრუნება უზრუნველყოფილია ტანგენციალური ბალიშების ზედა წყვილით. თავისუფალი ბოლოს გადაადგილების დროს ხდება ლილვაკის გადახრა შვეული მდგომარეობიდან ერთ ან მეორე მხარეს. ტანგენციალური ბალიშების გამო ლილვაკის ორივე (ზედა და ქვედა) ბოლოში სახსრები გვაქვს, ამიტომ მის გადახრას არაფერი არ აბრკოლებს. უძრავი საყრდენი ნაწილისათვის ლილვაკი საჭირო არ არის და იგი ხორციელდება ტანგენციალური ბალიშების ერთი წყვილის სახით, ქვედა ბალიში აქ უშუალოდ ბურჯის ზედაპირს ეყრდნობა.



ნახ. 29. ლილვაკისებური საყრდენი ნაწილი.

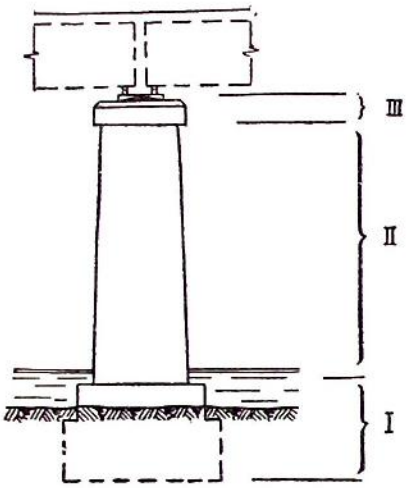
ლილვაკის ტანის არმირება მისი მუშაობის პირობებიდან გამომდინარეობს. როგორც ნახ. 29-დან ჩანს, ტანგენციალური ბალიშები გადასცემს დაწოლას ლილვაკის სიგანის ნაწილზე. ამის გამო კუმშვასთან ერთად წარმოიშვება თარაზული გამჭიმავი ძაბვები და ლილვაკის გაპობის საშიშროება იქმნება. ამიტომ ძირითადი მუშა არმატურა უნდა დალაგდეს თარაზული ღეროების სახით კოჭის გასწვრივ. მის მართობულად, და აგრეთვე შვეულად, დადგმულია სამონტაჟო ღეროები (ნახ. 29).

ლილვაკისებური საყრდენი ნაწილები აკმაყოფილებს ყველა მოთხოვნას და შეიძლება გაკეთდეს საკმარისი სიმძლავრის. დამზადების სიმარტივის გამო ისინი ფართოდ გამოიყენება რკინაბეტონის ხიდებში.

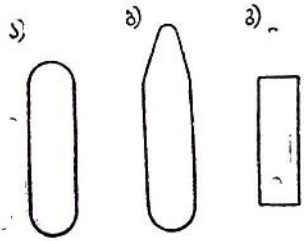
§ 10. კოჭური ხიდების შუალედი ბურჯების კონსტრუქციები

როგორც ვიცით, ხიდებს ორგვარი ბურჯები აქვს—შუალედი და სანაპირო. პირველ რიგში განვიხილოთ შუალედი ბურჯები. კოჭური ხიდის შუალედი ბურჯის ჩვეულებრივი სახე ნაჩვენებია ნახ. 30-ზე. ბურჯი სამი ნაწილისაგან შედგება: ქვედა ნაწილი, მოთავსებული დაბალი წყლის დონის ქვეშ, საძირკველს წარმოადგენს; მისი კონსტრუქცია ფუძე-საძირკვლების კურსში შეისწავლება. საძირკვლის შვერილის ზევით მოთავსებულია ბურჯის ტანი, რომელიც ზევიდან ბურჯის თავით გვირგვინდება. რკინაბეტონის ხიდების ბურჯების ტანი შეიძლება გაკეთდეს როგორც ბეტონისაგან, ისე ყორე ბეტონისაგან. ტექნიკური პირობების თანახმად ბეტონის მარკა 150-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს. ბურჯის ტანის ფორმა გეგმაში მიიღება ისეთივე, როგორც

ქვის ხიდებში (ნახ. 31). თუ ბურჯი მოთავსებულია მდინარის ფარგლებში, მისი კვეთის ფორმა უნდა უზრუნველყოფდეს ნაკადის მიერ ბურჯის ნორმალური შემოდინების პირობებს. წინააღმდეგ შემთხვევაში ბურჯის გარშემო ნაკადის დინება რთულდება და ადგილობრივი წარეცხვის სიღრმე მატულობს. ამის საწინააღმდეგოდ იხმარება ბურჯის ფორმა მომრგვალებული ბოლოებით (ნახ. 31, ა) და ერთი წაწვეტებული და მეორე მომრგვალებული ბოლოთი (ნახ. 31, ბ). მშრალ ადგილზე ბურჯის ტანს შეიძლება მართკუთხა ფორმა ჰქონდეს (ნახ. 31, გ). ჩრდილოეთის მდინარეებზე ადგილი აქვს მძლავრ



ნახ. 30. შუალედი ბურჯის კონსტრუქცია. I—საძირკველი; II—ბურჯის ტანი; III—ბურჯის თავი.



ნახ. 31. შუალედი ბურჯის ტანის კვეთი გეგმაში.

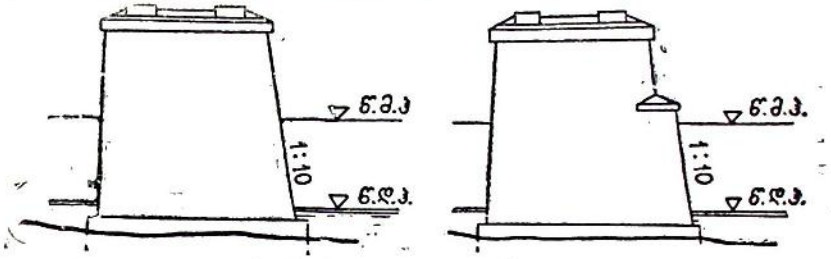
ყინულსვლას. მის საწინააღმდეგოდ ბურჯს უკეთდება საგანგებო მ ჭ რ ე ლ ი წ ი ბ ო, მთელ სიმაღლეზე ან მხოლოდ ყინულსვლის დონის ფარგლებში[1] (ნახ. 32). მჭრელ წიბოს ეძლევა ქანობი 1 : 10 ან 1:8. გეგმაში იგი წაწვეტებულია და თავდება მომრგვალებული ნაწილით, რადიუსით არა ნაკლებ 0,3 მ-სა. წიგნის პირველ ნაწილში უკვე აღნიშნული იყო, რომ დამრეცი ყინულმჭრელები, წიბოს ქანობით 1:1-მდე, თანამედროვე პრაქტიკაში აღარ იხმარება. აღსანიშნავია, რომ სუსტი ყინულსვლის დროს საკმარისია ჩვეულებრივი მომრგვალებული ფორმით დავკმაყოფილდეთ.

ბურჯის ტანის გვერდითი ზედაპირი შეიძლება გაკეთდეს ან შვეული, ან დახრილი, ქანობით 1 : 20÷1 : 30.

აღსანიშნავია, რომ დიდი სიმაღლის ბურჯები შეიძლება ცვალებადი კვეთის გაკეთდეს: ქვედა ნაწილი, მაღალი წყლის დონის ფარგლებში კეთდება მომრგვალებული ფორმის, დახრილი წიბოებით; ზედა ნაწილს კი, რომელიც ნაკადის ზემოქმედებას არ განიცდის, მართკუთხა ფორმა ეძლევა და შვეული წიბოები უკეთდება (ნახ. 33, ა). ასეთი კონსტრუქცია წყობის ეკონომიას იძლევა. ამავე მიზნით შესაძლებელია ბურჯის წყალზედა ნაწილი გაკეთდეს გამსუბუქებული კონსტრუქციის, ცალკეული სვეტების სახით, რომლებიც ზევით გაერთიანებულია მთლიანი შემკვრელი თავით (ნახ. 33, ბ), შეიძ-

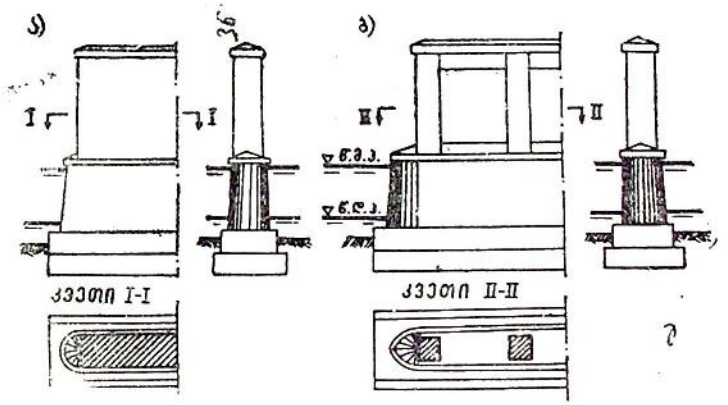
[1] ტექნიკური პირობების თანახმად მჭრელი წიბო უნდა ასცილდეს ყინულსვლის მაღალ ჰორიზონტს არა ნაკლებ, ვიდრე ერთი მეტრით.

ლება ვიხმაროთ ღრუტანიანი, კოლოფისებური კვეთის წყალზედა ნაწილიც. ადვილი გასაგებია, რომ აღნიშნული კონსტრუქციების ხმარება მიზანშეწონილია მხოლოდ ბურჯის დიდი სიმაღლის დროს.



ნახ. 32. შუალედი ბურჯები მჭრელი წიბოებით ყინულსვლიან მდინარეებზე.

განვიხილოთ ბურჯის თავის კონსტრუქცია. მისი დანიშნულებაა საყრდენი ნაწილების მიერ გადმოცემული შეყურსული დაწოლის განაწილება ბურჯის ტანის ზედაპირზე. ამიტომ თავი კეთდება რკინაბეტონის სქელი ფილის სახით (ნახ. 34). ფილის სისქე მიიღება არანაკლები 0, 4 მ-სა. ბეტონის მარკა უნდა იყოს 200 ან მეტი. ფილა დაარმირებულია თარაზული ბადეებით (ნახ. 34, გ). საყრდენი ნაწილების დასადგმელად ბურჯის თავზე კეთ-

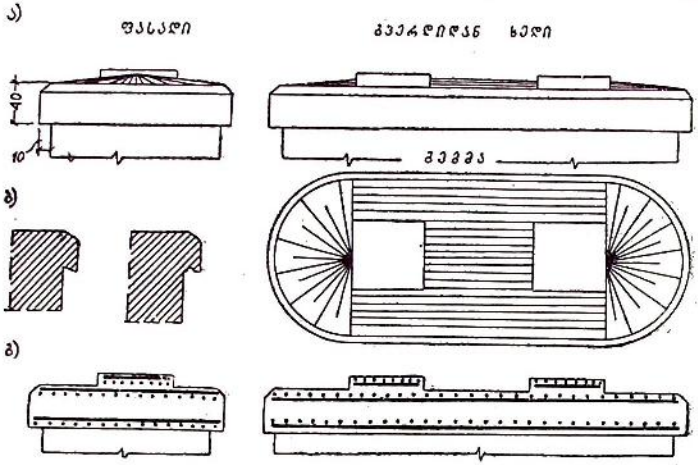


ნახ. 33. მაღალი შუალედი ბურჯების ტიპები: ა—ცვალებადი ფორმის ბურჯი; ბ—ბურჯი გამსუბუქებული წყალზედა ნაწილით.

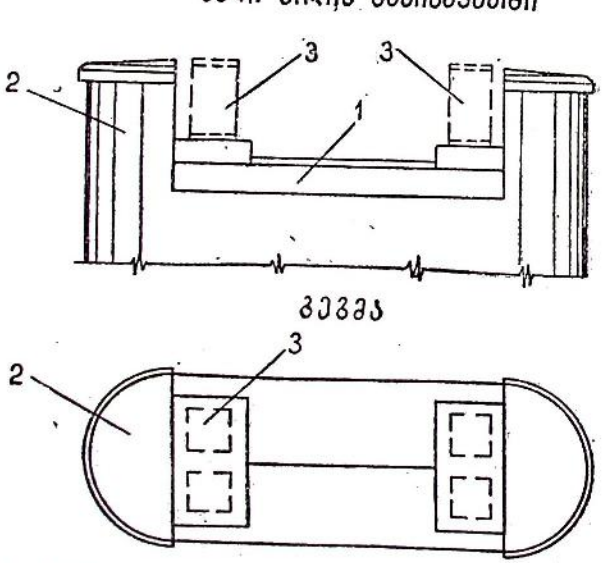
დება საგანგებო ბაქანი; ზედაპირის დანარჩენ ნაწილს წყლის გადასაყვანად ორმხრივი ქანობი ეძლევა. აღსანიშნავია, რომ ბურჯის თავი ამავე დროს ლავგარდანის როლს ასრულებს, ამიტომ ფილა გადმოშვერილია ბურჯის ტანის გარეთ არა ნაკლებ 10 სმ-სა. შვერილის ქვედა წახნაგს ეძლევა შებრუნებული ქანობი (არა ნაკლებ 1/10) ან უკეთდება საცრემლე ღარი (ნახ. 34, ბ); ამ ღონისძიებების მიზანია ლავგარდანიდან ბურჯის ზედაპირზე წყლის ჩამოდინების თავიდან აცილება.

ბურჯის ტანის ზემოაღწერილი კონსტრუქცია იხმარება ყველა ტიპის საყრდენი ნაწილების დროს. აღსანიშნავია მხოლოდ, რომ ლილვაკისებური

საყრდენი ნაწილები, რომლებიც, როგორც ვიცით, დიდი სიმაღლისაა, გარეგნული შეხედულებით არასასიამოვნო შთაბეჭდილებას სტოვებს. ამიტომ უმჯობესია მათი დამალვა ბურჯის ტანში. ამ მიზნით ხშირად ასეთ კონსტრუქციას



ნახ. 34. შუალედი ბურჯის თავის კონსტრუქცია.



ნახ. 35. ბურჯის თავის კონსტრუქცია დაფარული საყრდენი ნაწილების დროს.
1—საყრდენი ფილა; 2—დეკორაციული ზედნაშენი; 3—ლილვაკისებური საყრდენი ნაწილები.

მიმართავენ (ნახ. 35): საყრდენი ფილის ზევით, ბურჯის ტანის მომრგვალებულ ბოლოებში, კეთდება ამაღლებული ნაწილები 2 ლავგარდანით, რომ-

კრდენ ნაწილებს; გარეგნულად ბურჯს ჩვეულებრივი მოხა-

მასიური
ხიდის მალი სინ
ლში ზედაპირი ატმოსფერული მოვლენების, მდინარის ნაკადის
ემოქმედებას განიცდის. ამიტომ ზედაპირი დაცული უნდა
ო მოპირკეთებით. მოპირკეთება შეიძლება გაკეთდეს ბუნებ-
კარადის სიმან რაიმე ხელოვნური ფენით—ძირითადად მაღალი მარკის ბეტო-
ანასკნელი არმირდება რკინის ღეროების ბადით; იხმარება აგრეთვე
მიწაყრილ ედაპირის დაფარვა ტორკრეტ-ბეტონის ფენით. სამხრეთ რაიონებში
ა საყრდენებს შეიძლება საგანგებო მოპირკეთება არ ჰქონდეს.
ბურ უნებრივი ქვის გამოყენება მოპირკეთების ყველაზე უფრო გავრცელე-
საშუალებას წარმოადგენს. მოპირკეთებისათვის უნდა გამოვიყენოთ ყინ-
კედეგი,[1] მაგარი ქვის ჯიშები, სიმტკიცით არა ნაკლებ 400 კგ/სმ²-სა. სამუ-
ათა წარმოების მიხედვით არსებობს ორი სახის მოპირკეთება: მასიური
მოპირკეთება, რომელიც გულისხმობს მოპირკეთების ქვების წყობას ბურჯის
ტანის ამოყვანის პროცესში, და შეკიდული მოპირკეთება; ეს უკანასკნელი
მაგრდება უკვე ამოყვანილი ბურჯის ტანზე რკინის ანკერების საშუალებით.
ული მოპირკეთება თუმცა ნაკლებად მტკიცეა, მაგრამ სამაგიეროდ ძალ-
სტრუ ავილებს ბურჯის ამოყვანის პროცესს.
წარმო ამოთ მოგვყავს ცხრილი 4, რომელშიც მოცემულია მცირემალიანი
გემაში (
ცხრილი 4
სიგანე, რ
დაგიანი რკინიგზის შუალედი ბურჯის ტანის ზომები ლენტრანსმოსტპროექტის
უკანა ნაწ პროექტირებით. 1938 წ. დატვირთვა *H*8
ამგვარად,
ნაწილში, (
ბურჯებში,
ფილები.

მიწაყრილის სიმაღლე H	საძირკვლის სიღრმე h_2	h_1	h	b_1	b_2	d_1	d_2
2,5	2,0—3,0	1,3	1,4	1,3	1,3	3,7	3,7
3,0		1,3	1,9	1,3	1,3	3,7	3,7
4,0		1,3	2,9	1,3	1,4	3,7	3,8
5,0		1,3	3,9	1,3	1,5	3,7	3,9
6,0		1,3	4,9	1,3	1,6	3,7	4,0
3,0	2,0—3,0	1,74	1,36	1,4	1,4	3,8	3,8
4,0		1,74	2,36	1,4	1,4	3,8	4,0
6,0		1,74	4,36	1,4	1,7	3,8	4,1
8,0		1,74	6,36	1,4	1,9	3,8	4,3
3,0	2,0—3,0	1,94	1,16	1,4	1,4	3,8	3,8
4,0		1,94	2,16	1,4	1,4	3,8	3,8
5,0		1,94	3,16	1,4	1,6	3,8	4,0
7,0		1,94	4,16	1,4	1,75	3,8	4,15
8,0		1,94	6,16	1,4	1,80	3,8	4,2
4,0	2,0—3,0	2,24	1,86	1,6	1,6	4,0	4,0
5,0		2,24	2,86	1,6	1,7	4,0	4,1
6,0		2,24	3,86	1,6	1,8	4,0	4,2
8,0		2,24	5,86	1,6	2,0	4,0	4,4
4,0	2,0—3,0	2,64	1,46	1,6	1,6	4,0	4,0
5,0		2,64	2,46	1,6	1,7	4,0	4,1
6,0		2,64	3,46	1,6	1,8	4,0	4,2
8,0		2,64	5,46	1,6	2,0	4.0	4,4
4,0	2,0—3,0	3,0	1,10	1,6	1,6	4,0	4,0
5,0		3,0	2,10	1,6	1,7	4,0	4,1
6,0		3,0	3,10	1,6	1,8	4,0	4,2
8,0		3,0	5,10	1,6	2,0	4.0	4,4

10.0

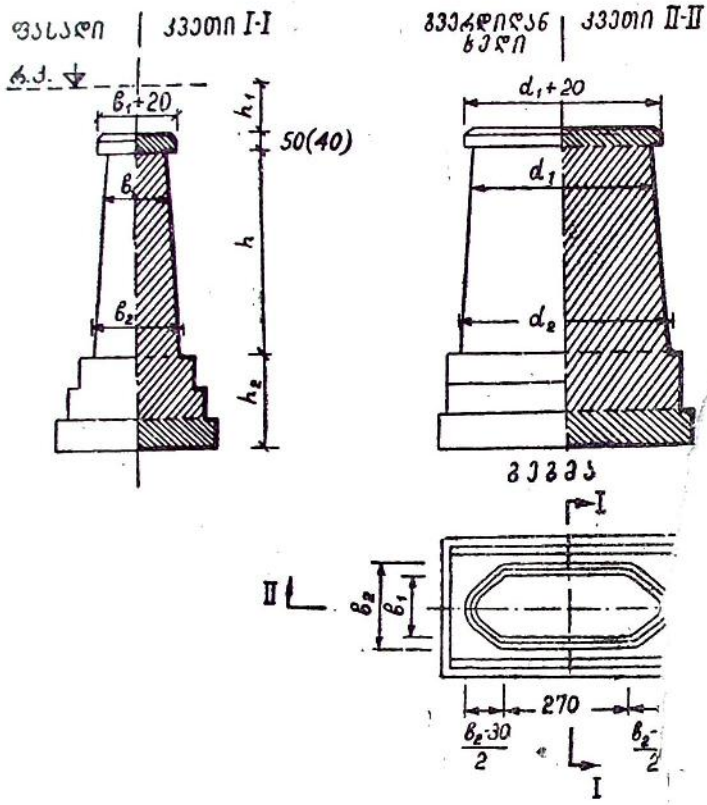
12.0

15.0

ბურჯის
განის შემცი
საყრდენი ფ
აუარესებს ყ
მდგრადობის
უკეთეს გადა
ტესებრი
ცულობ
ბურჯ
ბით
შების
რომ
წილ
(ნახ
ორ
)(

[1] ყინვამედეგობის საჭირო ხარისხი, დამოკიდებული ხიდის კლასზე, წიგნის პირველ ნაწილში იყო მოცემული (დანართი 1).

კოჭური ხიდების შუალედი ბურჯების ტანის ძირითადი ზომები ლენტრანს-მოსტპროექტის ტიპობრივი პროექტების მიხედვით. ბურჯების სახე და ზომების აღნიშვნა მოცემულია ნახ. 36-ზე.



ნახ. 36. მცირემალიანი კოჭური ხიდების შუალედი ბურჯების ტიპობრივი

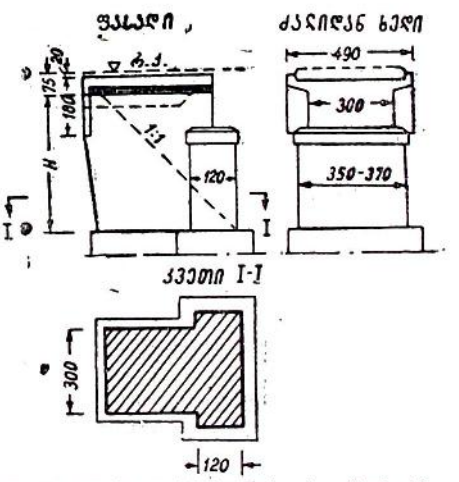
§ 11. კოჭური ხიდების სანაპირო ბურჯების კონსტრუქ

სანაპირო ბურჯებს, როგორც ვიცით, შუალედი ბურჯებისაგან ვებით, დამატებითი ფუნქცია აკისრია; ეს არის ხიდის შეუღლება მისაყრილთან: სანაპირო ბურჯის ფარგლებში განლაგებულია ყრილის კონრომლითაც მისასვლელი ყრილი თავდება. რკინაბეტონის კოჭური ხიდების სანაპირო ბურჯების მოხაზულობა ხიდის ფასადში ისეთივეა, როგორც ქვის ხიდების ბურჯებისა, რომლებიც წიგნის პირველ ნაწილში იყო განხილული. მხოლოდ თაღების დასაყრდენი დახრილი საქუსლე შეცვლილია თარაზულ საყრდენი ბაქნით (ნახ. 37). ბურჯის ყრილთან შეუღლების პირობები მოყვანილი იყო წიგნის პირველ ნაწილში. აქ ჩვენ გავიმეორებთ მათ, რადგან ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად ამ საკითხში ცოტაოდენი ცვლილებები შეტანილი.

მასიური ხანაპირო ბურჯების ტანის მთავარი ზომები

ხიდის მალი სინათლეში	l_0	8.0					10.0					12.0					15.0				
კარადის სიმაღლე	h	1.94					2.24					2.64					3.00				
მიწაყრილის სიმაღლე	H	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8
ბურჯის ზედა ნაწილის სიგრძე	a_1	4,07	5,07	6,07	7,32	8,57	3,97	4,97	5,97	7,22	8,47	3,97	4,97	5,97	7,22	8,47	3,97	4,97	5,97	7,22	8,47
ბურჯის სიგრძე საძირკვლის პირველ შეურილზე	a_2	4,30	5,15	6,00	7,05	8,15	4,30	5,15	6,00	7,05	8,15	4,30	5,15	6,00	7,05	8,15	4,30	5,15	6,00	7,05	8,15

წყობის მოცულობის შესამცირებლად საჭიროა შემსუბუქებული კონსტრუქციის გამოყენება. ერთ-ერთ ასეთ კონსტრუქციას ტესებრი ბურჯი წარმოადგენს (ნახ. 40). მასიური ბურჯისაგან განსხვავებით, აქ ბურჯის ტანს გეგმაში ტესებრი ფორმა ეძლევა: ბურჯის წინა ნაწილში შენარჩუნებულია სიგანე, რომელიც საჭიროა მალის ნაშენის დასაყრდნობად (3,50—3,70 მ); უკანა ნაწილი კი, რომელიც ყრილში შედის, შევიწროებულია 2,5—3,0 მ-მდე, ამგვარად, ბურჯის ტანის მოცულობა შემცირებულია. უკანა წახნაგის ზედა ნაწილში, ისე როგორც მასიურ ბურჯებში, კეთდება მისაყრდენი ფილები.

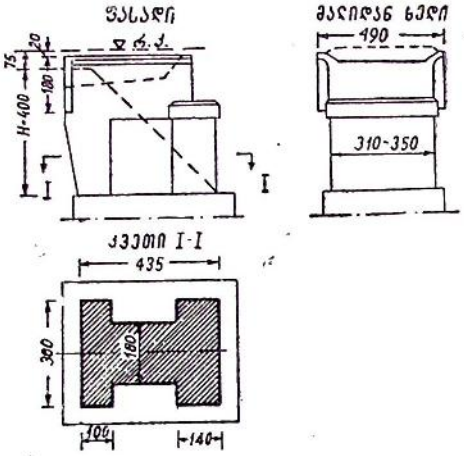


ნახ. 40. ტესებრი სანაპირო ბურჯის კონსტრუქცია.

ბურჯის უკანა ნაწილის სიგანის შემცირება, მიუხედავად მისაყრდენი ფილების არსებობისა, აუარესებს ყრილის და კონუსის მდგრადობის პირობებს. ამიტომ უკეთეს გადაწყვეტას იძლევა ორტესებრი ბურჯები. აქ მოცულობის ეკონომია მიღწეულია ბურჯის ტანის სიგანის შემცირებით მხოლოდ შუა ნაწილში, ნიშების გამოჭრის საშუალებით, ისე რომ ყრილში შემავალი უკანა ნაწილი ნორმალური სიგანის რჩება (ნახ. 41). ბურჯის ტანს გეგმაში ორტესებრი ფორმა აქვს, საიდანაც წარმოდგება მისი სახელწოდება. ტანის წყობის შვერილი, რომელიც ნიშებს გადახურავს, არმირებულია. როგორც ტესებრი, ისე ორტესებრი ბურჯები იხმარება ყრილის სიმაღლის დროს $H=4$—8 მ-ს ფარგლებში.

ტესებრი და ორტესებრი ფორმის ბურჯებში წყობის მოცულობის შემცირება ხდება ბურჯის ტანის გარეთა ნაწილის მოშორებით. ამავე მიზნით შეიძლება ვიხმაროთ სხვა ხერხიც—შევამციროთ წყობა ტანის შუა ნაწილში.

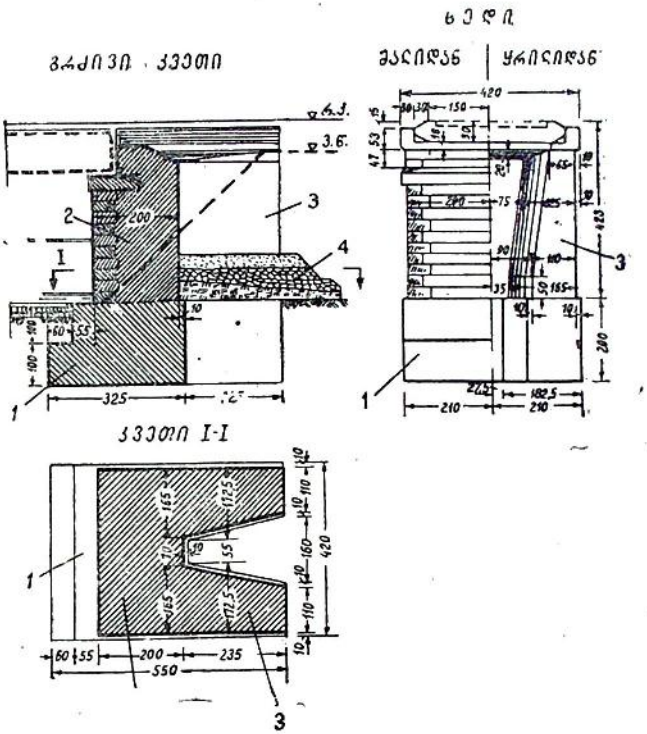
ამგვარად მივიღებთ კონსტრუქციას, რომელსაც ეწოდება სანაპირო ბურჯი შებრუნებული კედლებით. ქვის ხიდებისათვის ასეთი ბურჯი აღწერილი იყო წივნის პარველ ნაწილში. რკინაბეტონის კოჭური ხიდის



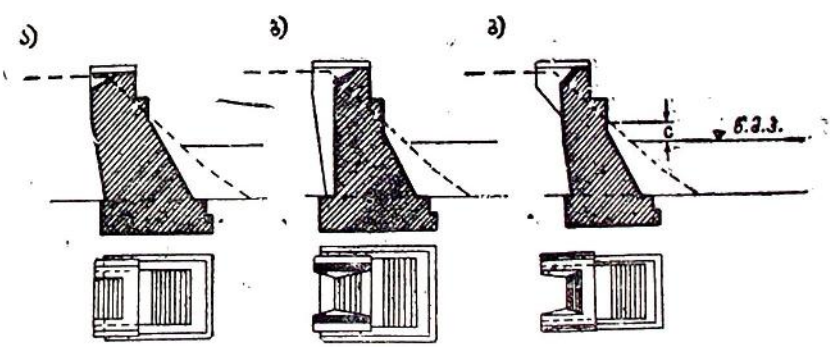
ნახ. 41. ორტესებრი სანაპირო ბურჯის კონსტრუქცია.

სანაპირო ბურჯი შებრუნებული კედლებით ნაჩვენებია ნახ. 42-ზე. აქ 1 ბურჯის საძირკველია, 2—წინა კედელი, 3—შებრუნებული კედლები. მათ შორის დარჩენილი არე ამოივსება წყალგამტარი გრუნტით, რაც წყობის ეკონომიას იძლევა. წყლის გამოსაყვანად ბურჯის შიგა ნაწილიდან კეთდება საგანგებო დრენაჟი 4. აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელ ხანებში ბურჯები შებრუნებული კედლებით ნაკლებად იხმარება. ამის მიზეზი ის არის, რომ ზოგიერთ განხორციელებულ ბურჯში აღმოჩნდა ბზარები. ისინი გამოწვეულია შებრუნებულ კედლებს შორის მოთავსებული გრუნტის განმბრჯენით, რომელიც მატულობს მატარებლის შეეული დაწოლის გამო.

რკინაბეტონის ხიდებისათვის შეიძლება ვიხმაროთ შემოყრილი ბურჯებიც. ისინი განსაკუთრებით ხელსაყრელია ყრილის დიდი სიმაღლის დროს ($H=8-10$ მ ან მეტი). შემოყრილი ბურჯის სქემები ნაჩვენებია ნახ. 43-ზე. ნახ. 43, ა წარმოადგენს მასიურ შემოყრილ ბურჯს. აქ წყობის მოცულობა შედარებით დიდია. მის შესამცირებლად შემოყრილ ბურჯს მცირე ზომის შებრუნებული კედლები უკეთდება (ნახ. 43, ბ); ნახ. 43,გ-ზე ნაჩვენებია შემოყრილი ბურჯი ფრთებით. ბურჯის ზედა ნაწილში კეთდება რკინაბეტონის ფრთები, რომლებიც შეეულ ფილებს წარმოადგენენ; ისინი აკავშირებენ ბურჯის ტანს მისასვლელ ყრილთან, რომელიც ფრთებს შორის შედის და მათ მიერ შექმნილ არეს ავსებს. აღსანიშნავია, რომ წინათ ხმარებაში იყო დიდი ზომის ფრთები; მაგრამ როგორც პრაქტიკამ დაგვანახა, გრუნტის მასივი, რომელიც ფრთებს შორისაა მოთავსებული, ხშირად იჭედება შიგ და გადასცემს ფრთებს შეეულ ძალებს, როგორც საკუთარი წონისაგან, ისე მატარებლების თვლების დაწოლისაგან. ამის გამო ფრთებში ხშირად წარმოიშვებოდა ბზარები და ნაპრალები. ამიტომ დიდი ზომის ფრთები ახლა აღარ იხმარება. ამავე მოსაზრებით ფრთებს შორის არ უნდა გაკეთდეს შემაერთებელი გან-



ნახ. 42. შებრუნებულკედლებიანი სანაპირო ბურჯის კონსტრუქცია.



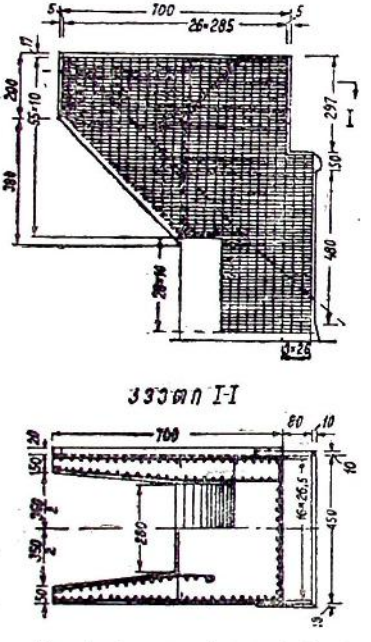
ნახ. 43. შემოყრილი სანაპირო ბურჯის სქემები.

მბრჯენები. მანძილი ფრთებს შორის უნდა აღოიცოს ფხვიერი წყალჟონადი გრუნტით. ფრთების არმირების მაგალითი ნაჩვენებია ნახ. 44-ზე.

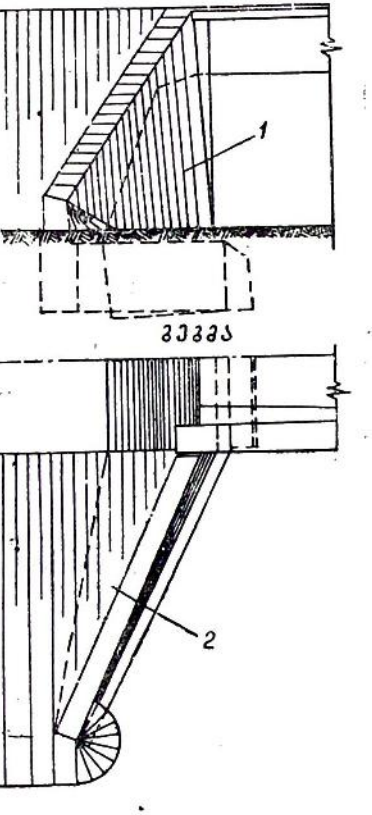
ქვის ხიდების კურსში აღნიშნული იყო, რომ შემოყრილი ბურჯების დროს ყრილის კონუსი მალის ფარგლებში ხვდება და ცუდად ეწინააღმდეგება

ნაკადის მოქმედებას. ამიტომ შემოყრილი ბურჯები უნდა ვიხმაროთ მშრალ ადგილას, ან რიყეებზე, მდინარის მდოვრე დინების შემთხვევაში. მძლავრი დინების პირობებში საჭიროა კონუსის ფერდების სათანადო გამაგრება. კონუსის მდგრადობის გასაზრდელად, ტექნიკური პირობების თანახმად, შემოყრილი ბურჯების დროს კონუსის შუბლური ფერდობის ქანობი არ უნდა იყოს 1:1,5-ზე ნაკლები, სიმაღლის მიუხედავად. მოითხოვება აგრეთვე, რომ მანძილი კონუსის ფერდობისა და ბურჯის წინა წახნაგის გადაკვეთის წერტილიდან მაღალი წყლის საანგარიშო დონემდე (ნახ. 43, გ, მანძილი *c*) იყოს არა ნაკლებ 0,5 მ-სა.

სანაპირო ბურჯის გადაწყვეტა შეიძლება კიდევ ერთი წესით. ეს არის



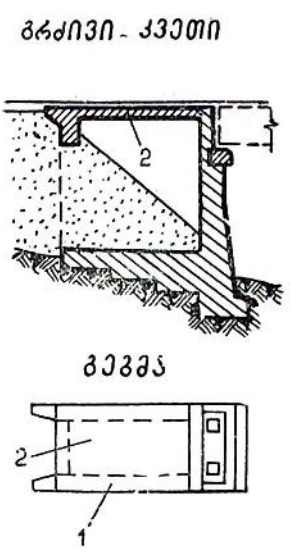
ნახ. 44. ფრთიანი სანაპირო ბურჯის ფრთების არმირება.



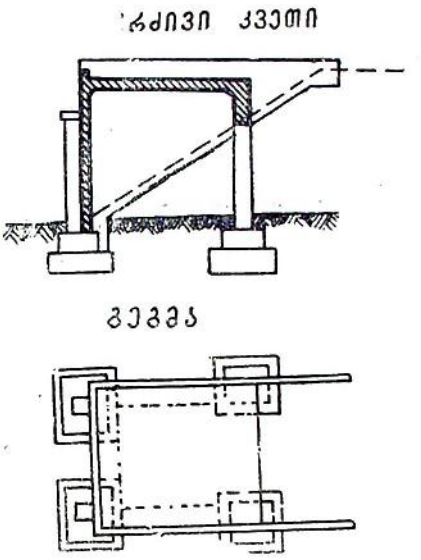
ნახ. 45. სანაპირო ბურჯი დახრილფერდებიანი კედლებით.

ბურჯი დახრილფერდებიანი კედლებით, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 45-ზე. თვით ბურჯი 1 აქ კეთდება მცირე ზომის მასივის სახით, ყრილის შესაკავებლად კი ეწყობა საგანგებო დახრილფერდებიანი კედლები 2. კონუსის შუბლური ფერდობის გაკეთება საჭირო აღარ არის, რაც ძლიერ ამცირებს ბურჯის სიგრძეს ხიდის ფასადში. ასეთი ბურჯების გამოყენება განსაკუთრებით სასარგებლოა გზამტარებისათვის. მაღალი ყრილის დროს ბურჯი არაეკონომიური გამოდის.

სანაპირო ბურჯების აქამდე განხილული ტიპები ძირითადად ბეტონის წყობისაგან სრულდებოდა. ბურჯებში წყობის მოცულობის მნიშვნელოვან



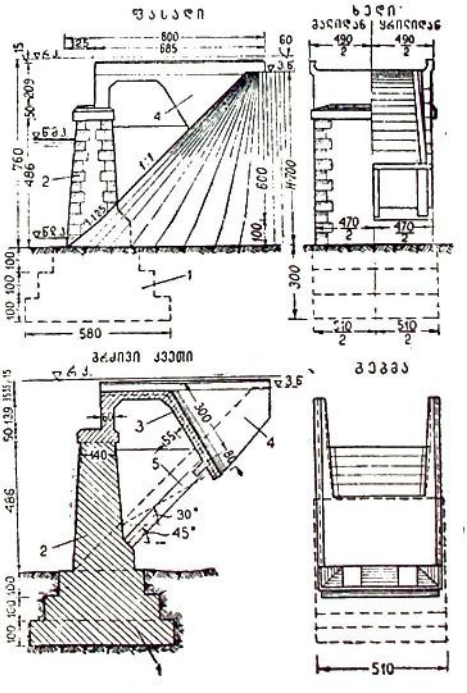
ნახ. 46.



ნახ. 47.

შემცირებას იძლევა რკინაბეტონის გამოყენება. სხვადასხვა დროს წამოყენებული იყო რკინაბეტონის ბურჯების მრავალნაირი კონსტრუქცია. მაგალითისათვის მოგვყავს რამდენიმე ასეთი გადაწყვეტა. ნახ. 46-ზე მოყვანილ ბურჯს აქვს გვერდითი კედლები 1, გადახურული რკინაბეტონის ფილით 2. ყრილი შედის ბურჯის ტანში და ბოლოვდება კონუსით. ჩარჩოვანი ტიპის სანაპირო ბურჯი წარმოდგენილია ნახ. 47-ზე.

სანაპირო ბურჯებში რკინაბეტონის ნაწილობრივ გამოყენების მაგალითს წარმოადგენს აგრეთვე დოც. ზ. ცაგარელის კონსტრუქციის სანაპირო ბურჯი [45]. ამ ბურჯის სახე მოცემულია ნახ. 48-ზე. საძირკველს 1 ეყრდნობა წინა მასივი 2, რომელიც ყორე წუობისაგან ან ყორებეტონისაგან კეთდება და მთავრდება რკინაბეტონის 50 სმ სისქის ფილით. მასზე



ნახ. 48. ზ. ვ. ცაგარელის კონსტრუქციის სანაპირო ბურჯი.

თავსდება საყრდენი ნაწილები მალის ნაშენებისათვის. ბურჯის უკანა ნაწილს წარმოადგენს ტეხილი ფორმის რკინაბეტონის ფილა 3, რკინაბეტონისავე ფრთებით 4. ფილის ქვედა ნაწილი დაყრდნობილია ბურჯის მასივზე დახრილი ჩარჩოს საშუალებით 5. ამგვარი კონსტრუქცია ათავისუფლებს ბურჯის მასივს მიწაყრილის გვერდითი დაწოლისაგან და აუმჯობესებს ბურჯის მუშაობის პირობებს. ასეთ კონსტრუქციას შეიძლება ვუწოდოთ ბურჯი მიწაყრილის შემცირებული დაწოლით.

ნახ. 48-ზე მოყვანილი კონსტრუქცია იხმარება მცირე და საშუალო სიმაღლის დროს $-H=5\div9$-მდე. მიწაყრილის მეტი სიმაღლის შემთხვევებში ბურჯის მასივი საჭიროებს გაგანიერებას მალისაკენ და ბურჯის წინა წიბო ტეხილი სახის გამოდის.

თ ა ვ ი III

ნაკრები რკინაბეტონის კოჭური ხიდების კონსტრუქციები

§ 12. ზოგადი ცნობები ნაკრები კონსტრუქციის კოჭური ხიდების შესახებ

წინა პარაგრაფებში ჩვენ გავეცანით მონოლითური კონსტრუქციის კოჭური მალის ნაშენების და ბურჯების ძირითად ტიპებს. ახლა ჩვენი მიზანია განვიხილოთ ამავე კონსტრუქციების გადაწყვეტა ნ ა კ რ ე ბ ი რ კ ი ნ ა ბ ე ტ ო ნ ი ს გამოყენებით.

როგორც ცნობილია, ნაკრები ეწოდება ისეთ კონსტრუქციას, რომელიც ცალკეული ნაწილებისაგან—ს ა მ ო ნ ტ აჟ ო ბ ლ ო კ ე ბ ი ს ა გ ა ნ შედგება; ბლოკები წინასწარ მზადდება ინდუსტრიული წესით—საგანგებო ქარხნებში ან ცენტრალიზებულ პოლიგონებზე; შემდეგ ისინი სატრანსპორტო საშუალებებით გადმოიტანება მშენებლობის ადგილზე და სამონტაჟო მექანიზმების (ამწეების) საშუალებით აიკრიბება მთლიან კონსტრუქციად.

ხიდების მშენებლობა ნაკრები კონსტრუქციების გამოყენებით ხასიათდება მთელი რიგი მეტად მნიშვნელოვანი უპირატესობებით. ბლოკების ქარხნული (ან პოლიგონური) წესით დამზადების დროს გამოიყენება წარმოების მოწინავე ტექნოლოგია, სრული მექანიზაცია და ინდუსტრიული მეთოდები. ამიტომ დამზადებული ელემენტების ხარისხი უმჯობესდება, თვით დამზადების პროცესის შრომატევადობა კი მცირდება. მშენებლობაზე საჭირო აღარ არის ხარაჩოებისა და ქარგილების მოწყობა, ამიტომ მკვეთრად მცირდება ხის მასალის ხარჯი და დროებითი ნაგებობების ღირებულება. ნაკრები ელემენტების წინასწარი დამზადების გამო მნიშვნელოვნად მცირდება მშენებლობის ვადები. ამასთან ერთად ნაკრები კონსტრუქციები გვაძლევს ცემენტისა და საარმატურო რკინის ხარჯის შემცირებას. მშენებლობის სწორი ორგანიზაციის დროს მცირდება ნაგებობის ღირებულებაც.

აღნიშნული უპირატესობების გამო ნაკრები კონსტრუქციები რკინაბეტონის ყველაზე უფრო ეფექტურ და პროგრესულ სახეობას წარმოადგენს. საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის ცენტრალური კომიტეტისა და სსრ კავშირის მინისტრთა საბჭოს 1954 წლის დადგენილებაში ხაზი გაესვა ამ გარემოებას და დაისახა მშენებლობაში ნაკრები კონსტრუქციების ფართო დანერგვის ამოცანა. ამ საფუძველზე უკანასკნელ ხანებში მნიშვნელოვნად გაფართოვდა ნაკრები კონსტრუქციების გამოყენების სფერო მშენებლობაში, და კერძოდ, ხიდმშენებლობაში. დღესდღეობით ხმარებაშია ნაკრები მალის ნაშენებისა და ბურჯების ბევრი სხვადასხვა კონსტრუქცია. აქ ჩვენ განვიხილავთ ნაკრები კონსტრუქციების სპეციფიკურ თავისებურებებს, მათი გადაწყვეტის

საერთო პრინციპებს და გამოყენების პირობებს. ნაკრები კონსტრუქციის კოჭური მალის ნაშენების და ბურჯების ძირითადი ტიპები განხილული იქნება შემდეგ პარაგრაფებში.

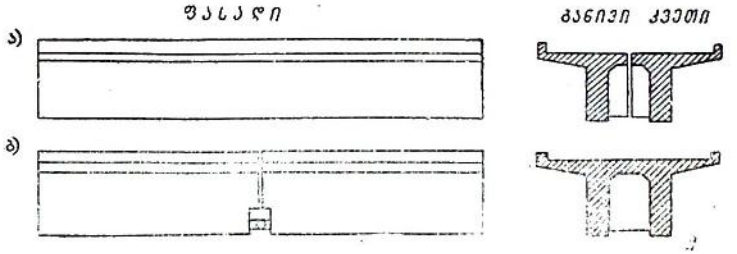
ნაკრები მალის ნაშენების ან ბურჯების კონსტრუქციული გადაწყვეტის ძირითად საკითხს წარმოადგენს მათი დაყოფა სამონტაჟო ბლოკებად. დაყოფის წესის ამორჩევის დროს რამდენიმე ძირითადი პირობა უნდა გავითვალისწინოთ. როგორც ვიცით, ცალკეული სამონტაჟო ბლოკებისაგან საბოლოოდ მალის ნაშენი (ან ბურჯი) უნდა შედგეს. დატვირთვის ქვეშ მუშაობისათვის მას მთლიანობა, ყველა ნაწილის ერთობლივი წინაღობა მოეთხოვება. ამიტომ აწყობის პროცესში საჭიროა სამონტაჟო ბლოკების ერთმანეთთან შეუღლება, დაპირაპირება, მთელი კონსტრუქციის გამონოლითება. ბლოკების შეუღლების და გამონოლითების ხერხებს ქვემოთ შევისწავლით; აქ საკმარისია აღვნიშნოთ, რომ ბლოკების შეუღლება საკმარისად რთული და შრომატევადი სამუშაოა; ცხადია, რაც უფრო ნაკლებია სამონტაჟო ბლოკების რიცხვი, მით ნაკლები იქნება პირაპირების რაოდენობა და გამონოლითებისათვის საჭირო სამუშაოების მოცულობა. ამიტომ ამ თვალსაზრისით მიზანშეწონილია რაც შეიძლება უფრო მსხვილი ბლოკების გამოყენება და მათი რაოდენობის შემცირება. მაგრამ ამ საკითხს მეორე მხარეც აქვს: რაც უფრო დიდია სამონტაჟო ბლოკი, მით უფრო ძნელია მისი ადგილზე გადატანა და მით უფრო მეტი ტვირთამწეობა უნდა ჰქონდეს სატრანსპორტო და სამონტაჟო მექანიზმებს. აქედან ცხადია, რომ კონსტრუქციის ბლოკებად დაყოფა უნდა შეესაბამებოდეს არსებული ტრანსპორტისა და სამონტაჟო მექანიზმების ტვირთამწეობას.

რკინიგზის ხიდების მშენებლობის დროს სამონტაჟო ბლოკების ადგილზე მიწოდება შეიძლება როგორც რკინიგზის, ისე ავტოგზის ტრანსპორტის საშუალებით. ეს გზის მშენებლობის წესზეა დამოკიდებული. ზოგიერთ შემთხვევაში ხელოვნურ ნაგებობათა მშენებლობა თანმიმდევრობით წარმოებს; ნაგებობის ბლოკები შეიძლება შემოვხიდოთ უკვე დაგებული რკინიგზის საშუალებით. სხვა შემთხვევებში ყველა ხელოვნური ნაგებობის მშენებლობა ხდება პარალელურად (ერთდროულად); ასეთ შემთხვევაში რკინიგზის ლიანდაგი მთელ სიგრძეზე ჯერ არ არის დაგებული და საჭირო ხდება სამონტაჟო ბლოკების მოზიდვა გვერდიდან, ავტოტრანსპორტის საშუალებით. პირველ შემთხვევაში ნაგებობის მონტაჟისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ამწეები სარკინიგზო სვლით. მათ დიდი სიმძლავრე აქვს: თანამედროვე ხიდმშენებლობაში იხმარება ისრული ამწეები ტვირთამწეობით 50—75 ტ-მდე და კონსოლური ამწეები 130 ტ-მდე. ამიტომ ასეთ შემთხვევაში შეიძლება დიდი ზომის ბლოკები ვიხმაროთ. დღესდღეობით ხმარებაშია სამონტაჟო ბლოკები წონით 100—110 ტ-მდე. მეორე შემთხვევაში, როდესაც ბლოკების მოზიდვა ავტოტრანსპორტის საშუალებით ხდება, მათი მონტაჟიც საავტომობილო ან მუხლუხიანი ამწეებით უნდა ჩატარდეს. მათი ტვირთამწეობა გაცილებით ნაკლებია და 15—25 ტ-ს არ აღემატება. თვით ავტომანქანების ტვირთამწეობაც მცირეა—15—25 ტ-მდე. ამიტომ ასეთ შემთხვევაში სამონტაჟო ბლოკების მაქსიმალური წონა ჩვეულებრივ არ აღემატება 15 ტ-ს.

ამგვარად, სამონტაჟო ბლოკების წონა ზემოაღნიშნული პირობებით განისაზღვრება. გადაზიდვის პირობები ბლოკის განივ ზომებსაც განსაზღვრავს.

რკინიგზით გადაზიდვის დროს ბლოკის მოხაზულობა მოძრავი შემადგენლობის გაბარიტის ფარგლებიდან არ უნდა გამოვიდეს. ამიტომ ბლოკების სიგანე 3,20 მ-ს არ უნდა აღემატებოდეს. ავტოტრანსპორტით გადაზიდვის დროს ბლოკების ზომებს მანქანების გაბარიტები განსაზღვრავს.

კოჭური მალის ნაშენების დაყოფა სამონტაჟო ბლოკებად შესაძლებელია ორი ძირითადი წესით: 1. გრძივი დაყოფა, როდესაც ბლოკებს შორის ნაკერი მიმართულია მალის ნაშენის გასწვრივ (ნახ. 49, ა); 2. განივი დაყოფა, როდესაც ნაკერებს მალის ნაშენის განივი მიმართულება აქვს (ნახ. 49, ბ). ადვილი გასაგებია, რომ ყველა უპირატესობა გრძივი



ნახ. 49. კოჭური მალის ნაშენის ბლოკებად დაყოფის სქემები: ა—გრძივი დაყოფა; ბ—განივი დაყოფა.

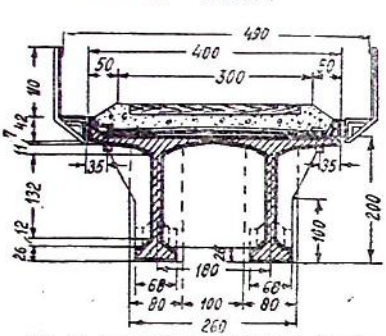
დაყოფის მხარეზეა. მართლაც, განივი დაყოფის დროს მთავარი კოჭების ძირითადი მუშა არმატურა გადაიჭრება და მისი დაპირაპირება ძალიან რთულია; გრძივი დაყოფის დროს საჭირო ხდება მხოლოდ სავალი ნაწილის ფილისა და დიაფრაგმების გამონოლითება, რაც გაცილებით ადვილია; როგორც ქვემოთ დავინახავთ, ამ შემთხვევაში საგანგებო პირაპირების მოწყობა ზოგჯერ სულ არ არის საჭირო. გარდა ამისა, გრძივი დაყოფის დროს ყოველი სამონტაჟო ბლოკი მთელ მალს გადახურავს და შეიძლება დამოუკიდებლად დაიდგას ბურჯებზე, განივი დაყოფის დროს კი ბლოკების მონტაჟისათვის საჭიროა დროებითი შუალედი საყრდენების მოწყობა. ამ მიზეზების გამო კოჭური ხიდების თანამედროვე კონსტრუქციებში, როგორც წესი, იხმარება მალის ნაშენების გრძივი დაყოფა ბლოკებად.

რკინიგზის კოჭური ხიდების ნაკრები მალის ნაშენების თანამედროვე ტიპები მოყვანილია შემდეგ პარაგრაფში.

§ 13. კოჭური ხიდების ნაკრები მალის ნაშენების კონსტრუქციები

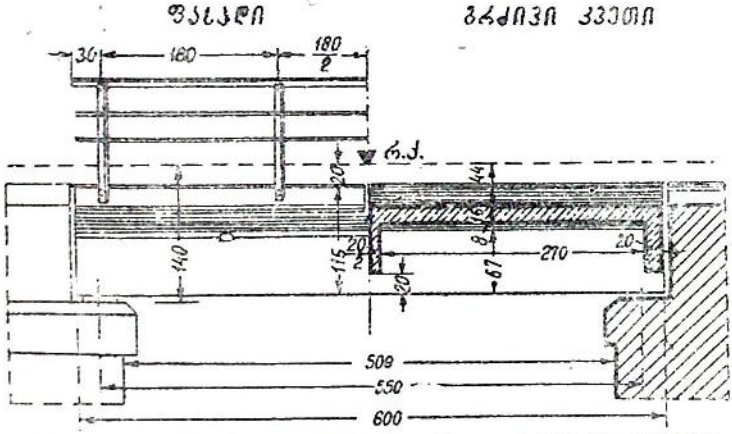
ნაკრები რკინაბეტონის კოჭური ხიდების მალის ნაშენები შეიძლება როგორც ფილოვანი, ისე წიბოვანი კონსტრუქციის გაკეთდეს. სამუშაოს წარმოების თვალსაზრისით ყველაზე მარტივია ისეთი კონსტრუქცია, როდესაც მალის ნაშენი ერთ მთლიან სამონტაჟო ერთეულს წარმოადგენს, ბლოკებად დაყოფის გარეშე. მცირე მალების დროს ასეთი გადაწყვეტა შესაძლებელია, რადგან მალის ნაშენის კონსტრუქციის მთლიანი წონა მძლავრი კონსოლური ამწეების ტვირთამწეობის ფარგლებში გამოდის. საჭიროა მხოლოდ საგანგებო ზომების მიღება, რომ შევამციროთ მალის ნაშენის სიგანე გადატანის დროს, მოძრავი შემადგენლობის გაბარიტამდე. ასეთ კონსტრუქციას მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენები ეწოდება.

გადატანის პერიოდში მალის ნაშენის სიგანის შესამცირებლად შეიძლება ვიხმაროთ ასეთი ხერხი: საბალასტო ფილის კონსოლები კეთდება მცირე ზომის, უტროტუარობოდ. ტროტუარები ეწყობა მალის ნაშენის ადგილზე დადგმის შემდეგ; ამისათვის რკინაბეტონის კონსოლზე მაგრდება ლითონის კრონშტეინები და ლაგდება ფიცრები (ნახ. 50). ამგვარი კონსტრუქცია აადვილებს მალის ნაშენის ბლოკის გადაზიდვას, მაგრამ ლითონის ზედმეტ ხარჯს მოითხოვს და ექსპლოატაციის მხრივაც არაა სავსებით დამაკმაყოფილებელი. უფრო გავრცელებულია მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენის მეორე კონსტრუქცია, დამუშავებული ინჟინერ ე. ა. არტამონოვის მიერ.



ნახ. 50. მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენი მისადგმელი ტროტუარებით.

ინჟ. არტამონოვის სისტემის მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 51-ზე. აქ საბალასტო გობის ფილის კონსოლები მოწყობილია დროებითი სახსრებით (ნახ. 51, ბ). სახსრის კონსტრუქცია მოყვანილია ნახ. 52-ზე. იგი წარმოადგენს მრგვალ ღეროს დიამეტრით 25 მმ, რომელიც არმატურის მარყუჟებშია მოთავსებული. სახსრის კონსტრუქცია საშუალებას გვაძლევს მოვაბრუნოთ კონსოლი საბალასტო ფილის მიმართ. მალის ნაშენის გადატანის დროს კონსოლი მობრუნებულია და მაგრდება შვეულ მდგომარეობაში, ისე რომ ის მოძრავი

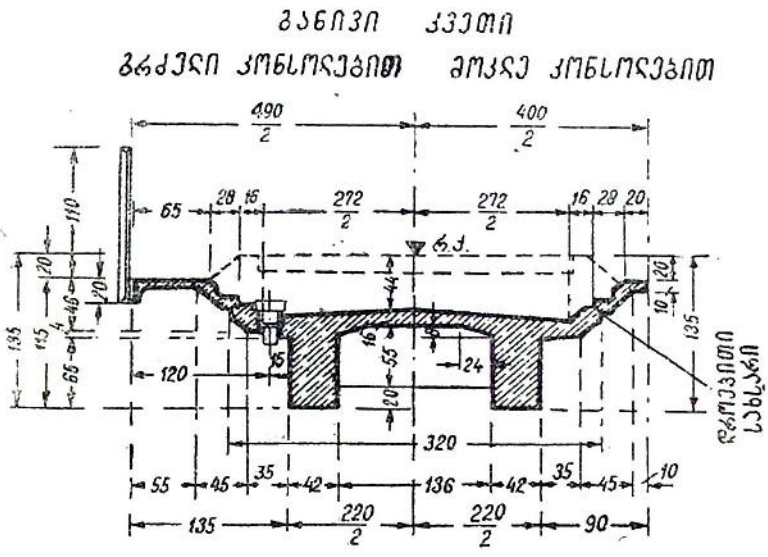


ნახ. 51, ა. ინჟ. არტამონოვის სისტემის მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია.

შემადგენლობის გაბარიტის ფარგლებიდან არ გამოდის (ნახ. 53, ა). ადგილზე დაყენების შემდეგ კონსოლი ბრუნდება ნორმალურ თარაზულ მდგომარეობაში, სახსრის ნაკერები ამოივსება ცემენტის ხსნარით და სახსარი უქმდება (ნახ. 53, ბ).

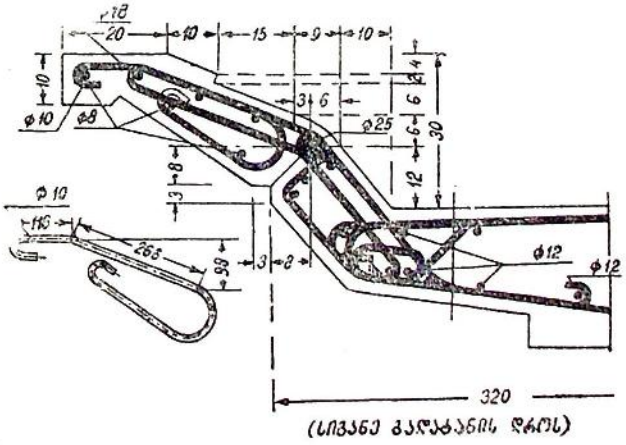
მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენები გადასახსნელი კონსოლებით შეიძლება ვიხმაროთ როგორც ფილოვანი, ისე წიბოვანი კონსტრუქციისა. მე-6

ცხრილში მოყვანილია ასეთი კონსტრუქციის ტიპობრივი მალის ნაშენების ძირითადი მონაცემები, ლენტრანსმოსტპროექტის 1952 წლის ტიპობრივი პროექ-



ნახ. 51, ბ. ინჟ. არტამონოვის სისტემის მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია.

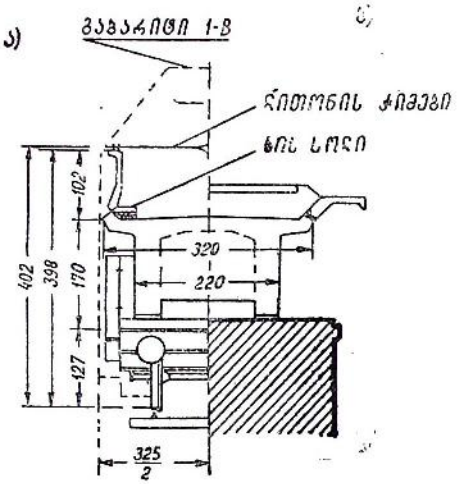
ტების მიხედვით (საანგარიშო დროებითი დატვირთვა $H8$). აღსანიშნავია, რომ წიბოვან მალის ნაშენებში მცირე მალების დროს მთავარი წიბოები



ნახ. 52. ფილის კონსოლის სახსროვანი დამაგრების კონსტრუქცია.

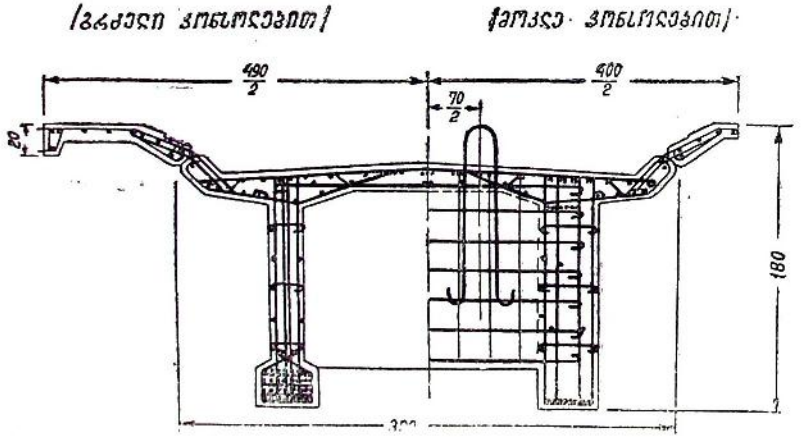
მართკუთხა ფორმის კეთდება (ნახ. 51), დიდი მალების დროს კი—ორტესებრი ფორმისა, კედლის ცვალებადი სისქით. ამ უკანასკნელი სახის მალის ნაშენის კონსტრუქცია მოყვანილია ნახ. 54-ზე. ეს ნახაზი წარმოდგენას იძლევა

აგრეთვე კონსტრუქციის არმირებაზე. მალის ნაშენის ასაწევად საყრდენ დიაფრაგმებში დატანებულია 32 მმ დიამეტრის მარყუჟები (ნახ. 54). მთავარი კო-



ნახ. 53. ინჟ. არტამონოვის სისტემის მალის ნაშენი:
ა—გადახიდვის დროს; ბ—ადგილზე დაყენების შემდეგ.

ჭების ძირითადი მუშა არმატურა კეთდება Ст-5 მარკის პერიოდული პროფილის ფოლადისაგან, დანარჩენი არმატურა კი (ფილის ღეროები, მთავარი



ნახ. 54. ინჟ. არტამონოვის სისტემის მალის ნაშენის არმირება (სავაგარიშო მალი 10,80 მ).

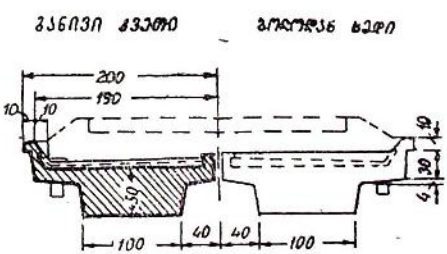
კოჭების სამონტაჟო ღეროები, საკიდები, დიაფრაგმების არმატურა)—Ст-3 მარკის გლუვი მრგვალი კვეთის ფოლადისაგან. მალის ნაშენების ბეტონის მარკაა 300 კგ/სმ².

ძირითადი მონაცემები

ინჟ. არტამონოვის სისტემის მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენების შესახებ

მალის სიმაღლეში	საანგარიშო მალი	სრული სიგრძე	სამშენებლო სიმაღლე: მალში	სამშენებლო სიმაღლე: საყრდენზე	ფილების ან კოჭების სიმაღლის მალთან შეფარდება	რკინაბეტონის მოცულობა (მ³): გრძელი კონსოლების დროს	რკინაბეტონის მოცულობა (მ³): მოკლე კონსოლების დროს	არმატურის ხარჯი (კგ): პერიოდული არმატურა	არმატურის ხარჯი (კგ): გლუვი მრგვალი არმატურა: მოკლე კონსოლებით	არმატურის ხარჯი (კგ): გლუვი მრგვალი არმატურა: გრძელი კონსოლებით	ბლოკის წონა (ტ): მოკლე კონსოლებით	ბლოკის წონა (ტ): გრძელი კონსოლებით
ფილოვანი მალის ნაშენები												
2,0	2,40	2,80	0,90	—	1/7	—	3,3	228	205	—	9,3	—
3,0	3,40	3,80	0,90	—	1/8,5	—	4,5	441	388	—	12,6	—
4,0	4,50	5,00	1,00	—	1/9	7,5	7,0	716	537	634	19,8	21,0
წიბოვანი მალის ნაშენები												
4,0	4,50	5,00	1,25	1,30	1/6	6,7	6,3	678	664	767	17,5	18,5
5,0	5,50	6,00	1,35	1,40	1/6,5	8,5	8,0	936	805	916	22,2	23,5
6,0	6,70	7,30	1,55	1,60	1/6,4	11,4	10,7	1260	962	1114	29,0	30,8
8,0	8,70	9,30	1,80	2,00	1/6,7	16,0	15,1	2038	1319	1490	41,2	43,5
10,0	10,80	11,50	2,00	2,20	1/7,2	20,1	19,1	2888	2112	2315	51,3	53,8
12,0	12,80	13,50	2,20	2,40	1/7,5	—	21,1	3973	—	2607	—	57,0
15,0	15,80	16,50	2,28	2,50	1/8,9	—	28,5	6619	—	3132	—	77,0

მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენები ფრიად ხელსაყრელია მონტაჟის სიმარტივის თვალსაზრისით, მაგრამ მათი წონა შედარებით დიდი გამოდის და მძლავრ სამონტაჟო ამწეებს მოითხოვს, რაც მშენებლობაზე ყოველთვის არ არის. ამიტომ საჭირო ხდება ბლოკებად დაყოფილი მალის ნაშენების გა-



ნახ. 55. ფილოვანი კონსტრუქციის ორბლოკიანი მალის ნაშენის სქემა.

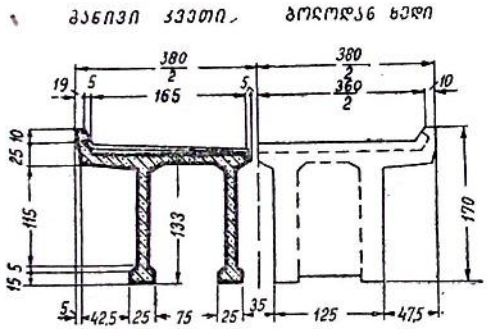
მოყენება. რკინიგზის ხიდებისათვის ყველაზე უფრო გავრცელებულია ორბლოკიანი (ორსექციური) მალის ნაშენები. ისინი შეიძლება იყოს როგორც ფილოვანი, ისე კოჭოვანი კონსტრუქციის.

ფილოვანი კონსტრუქციის ორბლოკიანი მალის ნაშენის სქემა მოცემულია ნახ. 55-ზე. როგორც ვხედავთ, კონსტრუქცია შედგება გრძივად დაყოფილი ორი სამონტაჟო ბლოკისაგან; ერთმანეთთან მიდ-

გმის შემდეგ ისინი ქმნიან მთლიან მალის ნაშენს. წყლის გადაყვანა ყოველი ბლოკიდან დამოუკიდებლად ხდება, რისთვისაც საბალასტო გობის ზედაპირს ეძლევა ქანობი გარეთა კონსოლებისაკენ, სადაც წყალსარინი მილები იდგმება.

ფილოვანი მალის ნაშენები შეიძლება ვიხმაროთ 3—4 მ-ან მალებამდე. მეტი ზომის მალებისათვის იხმარება წიბოვანი კონსტრუქციის ორბლოკიანი მალის ნაშენები. ასეთი მალის ნაშენის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 56-ზე. ყოველ ბლოკს აქ ორი წიბო (მთავარი კოჭი) აქვს. ბლოკები მიდგმულია ერთმანეთთან საბალასტო გობის მოკლე კონსოლებით, ისე რომ არავითარი საგანგებო პირაპირის მოწყობა და გამონოლითება საჭირო არ არის. წყლის გადაყვანა შეიძლება მოხდეს იმავე წესით, როგორც ზემოთ იყო მოყვანილი ფილოვანი კონსტრუქციისათვის. იხმარება მეორე ხერხიც: საბალასტო გობის ფილას ეძლევა ქანობი ბლოკებშორისი ნაკერისაკენ და წყალი ჩადის ნაკერის ხვრელში; სწორედ ასეთი ხერხია ნაჩვენები ნახ. 56-ზე.

ორბლოკიანი მალის ნაშენების, ისე როგორც საერთოდ ყველა ნაკრები კონსტრუქციის ეფექტურობისათვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ბლოკე-



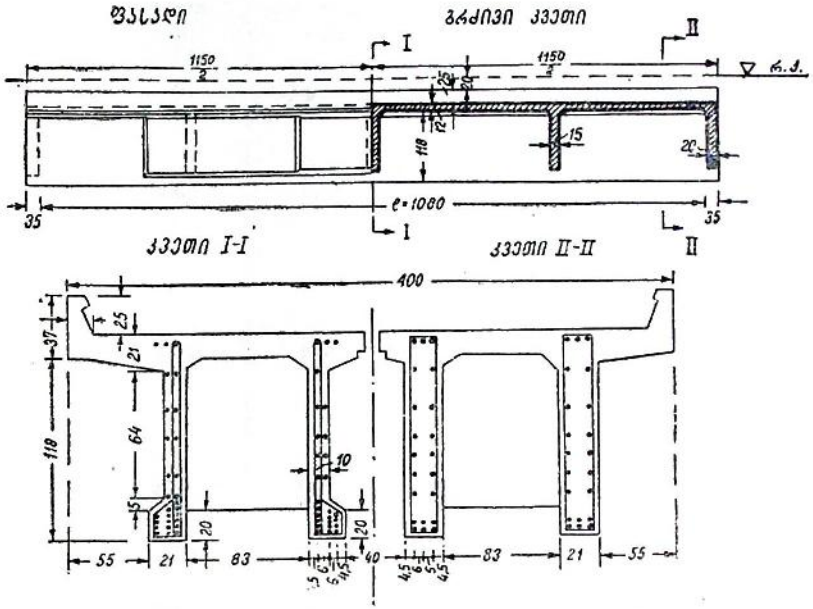
ნახ. 56. წიბოვანი კონსტრუქციის ორბლოკიანი მალის ნაშენის სქემა.

ბის საკუთარი წონის შემცირებას. ამ მიზნით ბლოკების მთავარი კოჭები კეთდება ორტესებრი ფორმის, ცვალებადი სისქის კედლით. ძირითადი მონაცემები ასეთი ტიპის მალის ნაშენების შესახებ მოცემულია მე-7 ცხრილში (გლავმოსტოსტროის ცენტრალური საკონსტრუქტორო ბიუროს 1947 წლის ტიპობრივი პროექტების მიხედვით).

საკუთარი წონის შემდგომი შემცირება მიღწეულია ინჟინერ ი. ა. მატაროვის მიერ შედგენილ ორბლოკიანი მალის ნაშენების პროექტებში. ამ კონსტრუქციის დამახასიათებელია მაღალი მარკის ბეტონის გამოყენება, რაც საშუალებას გვაძლევს მინიმუმამდე დავიყვანოთ მთავარი კოჭების კედლის სისქე. მატაროვის პროექტებში იგი იცვლება 10 სმ-დან (მალის შუაში) 22—28 სმ-მდე (საყრდენთან). მაგალითისათვის ნახ. 57-ზე ნაჩვენებია ი. ა. მატაროვის კონსტრუქციის ორბლოკიანი წიბოვანი მალის ნაშენის საერთო ხედი. როგორც ვხედავთ, აქ საყრდენის ფარგლებში წიბოებს მართკუთხა ფორმა აქვს, მალში კი — ორტესებრი. კედლის მინიმალური სისქეა 10 სმ.

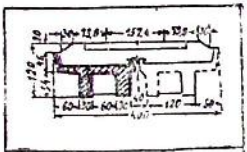
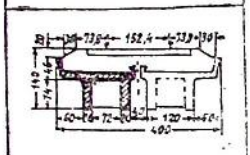
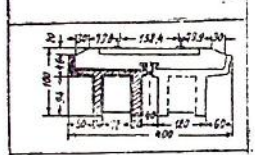
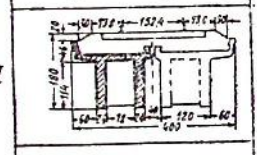
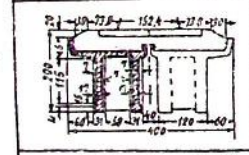
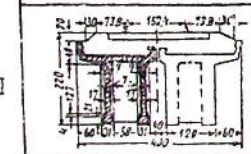
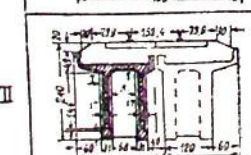
მალის ნაშენს რკინაბეტონის ტროტუარის კონსოლები არა აქვს. საჰიროების დროს ტროტუარები კეთდება ლითონის კრონშტეინებზე, როგორც ეს ზემოთ იყო აღწერილი.

მატაროვის კონსტრუქციის ძირითად თავისებურებას მისი მთავარი კოჭების არმირება წარმოადგენს, კოჭების მუშა არმატურა განხორციელებულია



ნახ. 57. ი. ა. მატაროვის კონსტრუქციის ორბლოკიანი წიბოვანი მალის ნაშენი.

არა ცალკეული ღეროების, არამედ მთლიანი არმატურული კარკასების სახით. ყოველი კარკასი შედგება სწორი და ირიბი ღეროებისაგან, რომლებიც განლაგებულია უხარვეზოდ და ერთმანეთთან შეერთებულია შედუღების საშუალებით. კარკასის საერთო სახე და მისი კვანძების დეტალები მოყვანილია ნახ. 58-ზე. აღსანიშნავია, რომ ღეროების მჭიდრო განლაგება ამცირებს მათთან ბეტონის შეხების ფართობს და ბეტონისა და არმატურის შეჭიდულობის ძალას; მაგრამ ეს საშიში არ არის, რადგან ბეტონისა და არმატურის ერთობლივი მუშაობა უზრუნველყოფილია კარკასის ირიბი ღეროების ჩაანკერებით ბეტონში. მალის ნაშენის მთავარ კოჭებში რამდენიმე ბრტყელი კარკასი იდგმება. კარკასების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს უფრო მჭიდროდ განვალაგოთ მუშა არმატურა წიბოს ქვედა ნაწილში და შევამციროთ ამ უკანასკნელის ზომები. მატაროვის სისტემის მალის ნაწილებში, როგორც აღვნიშნეთ, ერთდროულად გამოიყენება მაღალი სიმტკიცის ბეტონი, ამიტომ შეიძლება გავზარდოთ მუშა არმატურის ფართობი და კვეთის ზიდვის უნარი, რაც თავის მხრივ კოჭის სიმაღლის შემცირების შესაძლებლობას ქმნის. შედუღებული არმატურის კარკასები პირველად წამოყენებული იყო ინჟ. მატაროვის მიერ და იხმარება არა მარტო ნაკრებ, არამედ მონოლითურ მალის ნაშენებშიც.

№№	განივი კვეთები		მალი სინათლეში	საანგარიშო მალი	მთლიანი სიგრძე	სამშენებლო კოჭის ძირამდე
	მალში	საყრდენზე	მ	მ	მ	სმ
I			4,00 4,25	4,50 4,80	5,00 5,30	120 120
II			5,00	5,50	6,00	140
III			6,00 6,40	6,70 7,10	7,30 7,70	160 160
IV			8,00 8,53	8,70 9,30	9,30 10,00	180 180
V			10,00 10,67	10,80 11,50	11,50 12,20	200 200
VI			12,00 12,80	12,80 13,60	13,50 14,30	220 220
VII			15,0	15,80	16,50	240

ცხრილი 7

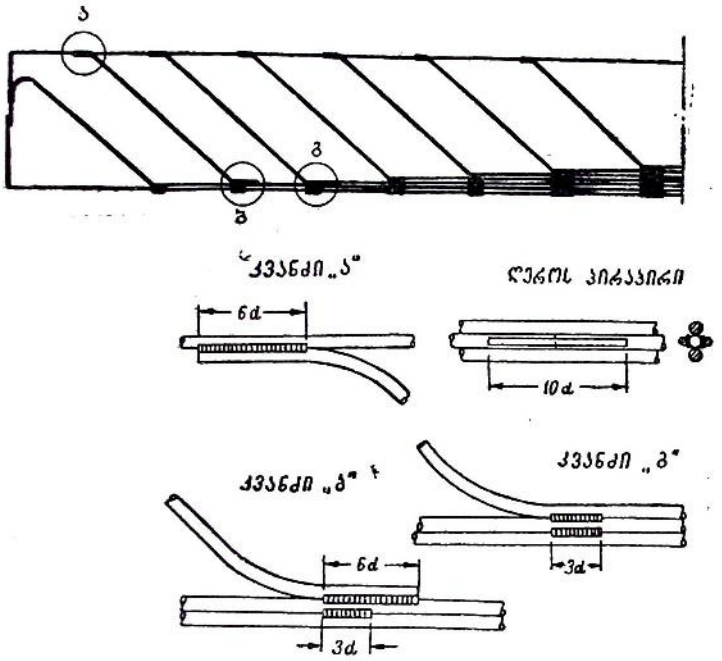
ორბლოკიანი ტიპობრივი მალის ნაშენების შესახებ

ტრუქტორო ბიუროს პროექტების მიხედვით)

სიმაღლე საყრდენ მოედნამდე	წიბოების ღერძებს შორის მანძილი	ბეტონის მარკა	რკინაბეტონის მოცულობა	არმატურის წონა	მუშა არმატურის დიამეტრი
სმ	სმ	კგ/სმ²	მ³	კგ	მმ
129,2	90+70+90	170	6,74	1625	20
129,2	90+70+90	170	17,5	1709	20
149,2	96+64+96	200	8,83	2193	20
169,2	96+64+96	200	12,20	2677	20
169,2	96+64+96	200	13,07	2865	20
198,6	96+64+96	200	17,58	4145	20
198,6	96+64+96	200	18,75	4071	20
218,6	89+71+89	200	24,0	6395	20
218,6	89+71+89	200	25,40	6933	20
238,6	89+71+89	200	31,20	8211	20
238,6	89+71+89	200	33,10	9125	20
258,6	89+71+89	250	40,0	12041	20

ძირითადი მონაცემები ი. ა. მატაროვის კონსტრუქციის ორბლოკიანი მალის ნაშენების შესახებ მოცემულია მე-8 ცხრილში.

ნაკრები კონსტრუქციის ზემოგანხილულ ყველა მალის ნაშენში არსებობს საბალასტო გობის ფილა და ლიანდაგი ბალასტის ფენაზეა დაგებული. კონსტრუქციის საკუთარი წონის შემცირების მიზნით შეიძლება უარი ვთქვათ



ნახ. 58. შედუღებული საარმატურო კარკასის კონსტრუქცია.

ცხრილი 8

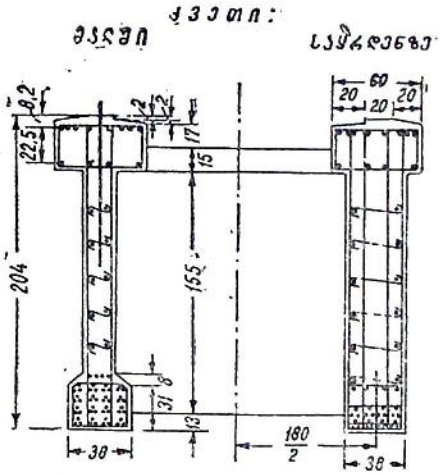
ძირითადი მონაცემები

ინჟ. ი. ა. მატაროვის კონსტრუქციის წინაძაბული ორბლოკიანი მალის ნაშენების შესახებ

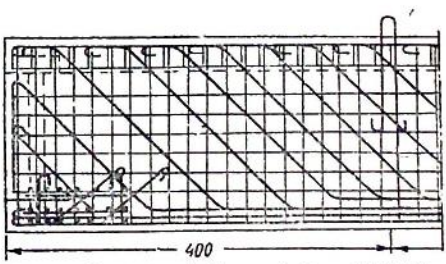
მალის სიგრძე	საანგარიშო მალი	მთლიანი სიგრძე	სამშენებლო სიმაღლე რელსის ქუსლიდან		ბეტონის მარკა	რკინა-ბეტონის მოცულობა	არმატურის წონა	მალის ნაშენში ბლოკების რაოდენობა	ერთი ბლოკის წონა
			კოპის ძირამდე	საყრდენ მოედნამდე					
მ	მ	მ	მ	მ	კგ/სმ²	მ³	ტ	ცალი	ტ
4,3	4,8	5,3	1,15	1,20	250	5,8	1,96	2	9,0
5,0	5,5	6,0	1,15	1,20	250	6,8	2,29	2	10,3
6.0	6,7	7,3	1,45	1,50	250	9,5	2,97	2	14,2
6,4	7,1	7,7	1,45	1,50	250	10,4	3,195	2	15,1
8.0	8,7	9,3	1,65	1,70	250	13,9	4,35	2	20,0
8.53	9.3	9,9	1.65	1,70	250	15,5	4,71	2	22,0
10,0	10,8	11,3	1.75	1,80	250	17,6	6,57	2	25,0
10,70	11,75	12,2	1.75	1.80	250	19,2	7,48	2	28,0
17,10	18.2	18,65	2,60	2,72	250	46,1	16,655	2	60,0
21,30	23,0	23,60	2,85	2,97	250	58,0	22,996	2	75,0

ბალასტიან სვლაზე და მოვსპოთ სავალი ნაწილის საბალასტო ფილა. ამგვარ კონსტრუქციას უბალასტო მალის ნაშენები ეწოდება. მათზე ლიანდაგი დაიგება ხის განივებზე, ისე როგორც ხის ხიდებში.

ექსპლოატაციის თვალსაზრისით უბალასტო მალის ნაშენები უარესია, ვიდრე, ბალასტიანი, ვინაიდან ისინი მოძრავი შემადგენლობის მომატებულ დინამიკურ ზეგავლენას განიცდიან. მაგრამ პრაქტიკულმა გამოცდილებამ დაგვანახა, რომ უბალასტო მალის ნაშენებს საკმარისი გამძლეობა ახასიათებს. ამასთან ერთად ისინი მნიშვნელოვნად ამცირებენ რკინაბეტონის მოცულობას და საკუთარ წონას და ამიტომ ხიდებში ხშირად გამოიყენებიან. საკუთარი წონის შემცირების გამო ასეთი მალის ნაშენები 15—17 მ-დე მალებით კეთდება ერთბლოკიანი, მთლიანად გადასატანი მალის ნაშენების სახით.



ჯოჯის არმირება



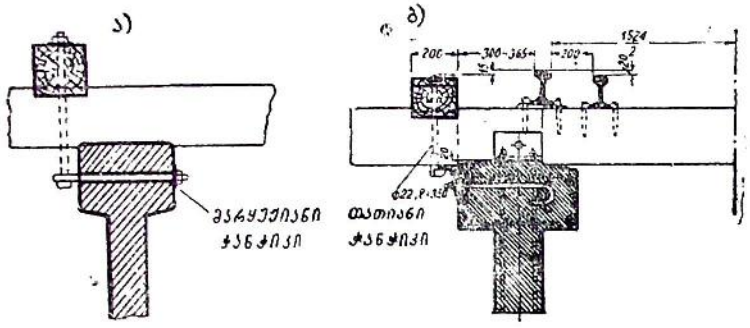
ნახ. 59. უბალასტო ერთბლოკიანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია.

უბალასტო მალის ნაშენის კონსტრუქცია გლავმოსტოსტროის ცენტრალურ საკონსტრუქტორო ბიუროს პროექტის მიხედვით ნაჩვენებია ნახ. 59-ზე. მალის ნაშენი შედგება ორი მთავარი კოჭისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია მხოლოდ დიაფრაგმებით. საბალასტო გობის ფილა არა გვაქვს და ლიანდაგი ეწყობა ხის განივებზე. განივების კოჭებთან მიმაგრების დეტალები ნაჩვენებია ნახ. 60-ზე. როგორც ვხედავთ, განივების დამაგრება ორი წესით შეიძლება; პირველ შემთხვევაში (ნახ. 60, ა) კოჭის ზედა ნაწილში გაყრილია მარყუჟიანი ჭანჭიკი, რომელზედაც მაგრდება განივა, მეორე შვეული ჭანჭიკის საშუალებით. მეორე შემთხვევაში კოჭის თავზე ანკერების საშუალებით დამაგრებულია კუთხედები, რომლებსაც მიემაგრება განივა თათიანი ჭანჭიკის საშუალებით (ნახ. 60, ბ).

უბალასტო მალის ნაშენების შემდგომი გამსუბუქება შეიძლება მოხდეს ინჟ. მატაროვის სისტემის გამოყენებით. ასეთი ტიპის მალის ნაშენის კონსტრუქცია მოცემულია ნახ 61-ზე. აქ იხმარება მაღალი სიმტკიცის ბეტონი (მარკა 300) და შედუღებული არმატურის კარკასები, რის გამოც შემცირებულია მთავარი კოჭის განივკვეთის ზომები. კოჭის კედელს ცვალებადი სიგანე აქვს. წონის შესამცირებლად კოჭებსშორის დიაფრაგმებში ღიობები კეთდება.

.არმატურის კარკასებს ისეთივე კონსტრუქცია აქვს, როგორც ზემოთ იყო აღწერილი.

ძირითადი მონაცემები მატაროვის სისტემის ერთბლოკიანი უბალასტო მალის ნაშენების შესახებ მოყვანილია მე-9 ცხრილში. მე-8 ცხრილის მონაცე-



ნახ. 6ᵀ. უბალასტო მალის ნაშენის განივების მთავარ ლოჯთან მიმაგრების ვარიანტები.

მებთან შედარება გვიჩვენებს, რომ უბალასტო მალის ნაშენებში, ბალასტიანთან შედარებით, რკინაბეტონის მოცულობა და საკუთარი წონა შემცირებულია 20—40%-ით.

საკუთარი წონის შემცირების მიზნით მეტად ხელსაყრელია ნაკრებ ხიდებში წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოყენება. ასეთი კონსტრუქციები განხილული იქნება VI თავში. ერთგვარი ეფექტი წონის შემცირების მხრივ შეიძლება მოგვცეს მსუბუქი რკინაბეტონის გამოყენებამ [48,49].

ცხრილი 9

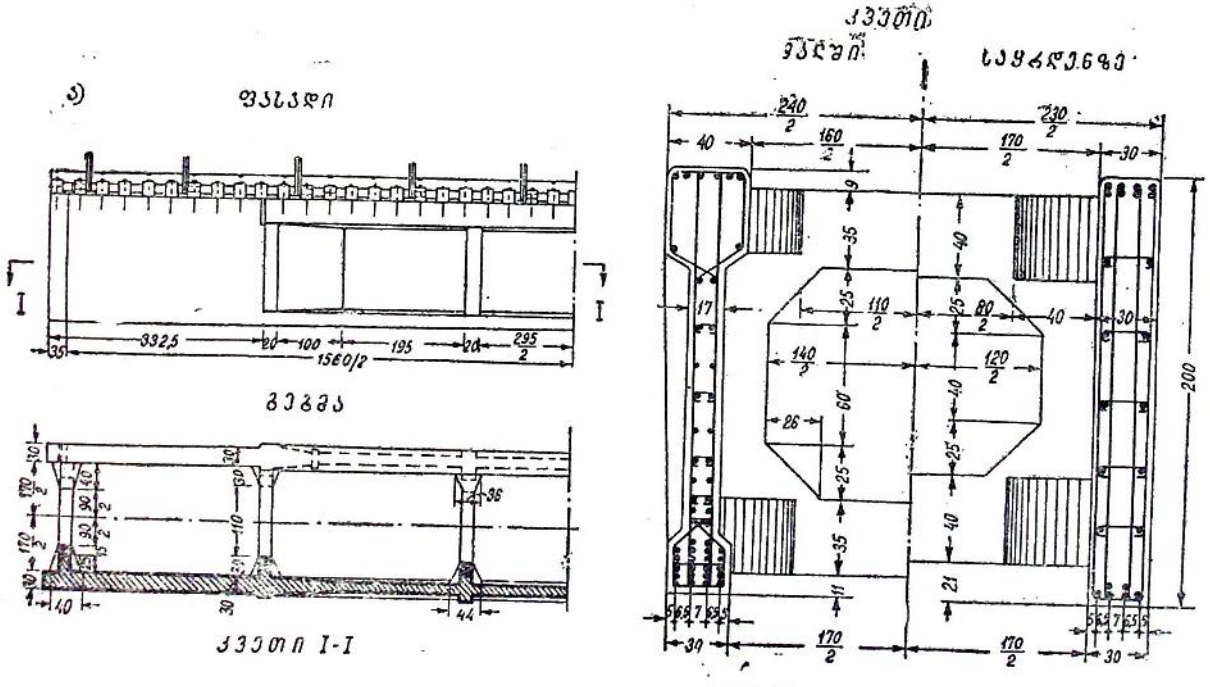
ძირითადი მონაცემები

ი. ა. მატაროვის სისტემის ერთბლოკიანი უბალასტო მალის ნაშენების შესახებ

მალი სინათლეში	საანგარიშო მალი	მთლიანი სიგრძე	სამშენებლო სიმაღლე რელსის ჭუსლიდან		ბეტონის მარკა	რკინაბეტონის მოცულობა	არმატურის წონა	მალის ნაშენის ბლოკების რიცხვი	ერთი ბლოკის წონა
			კოჭის ძირამდე	საყრდენ მოედნამდე					
მ	მ	მ	მ	მ	კგ/სმ²	მ³	ტ	ცალი	ტ
10,0	10,8	11,5	1.87	2,11	300	12,28	5,35	1	32,0
10,67	11,5	12,2	1.87	2,11	300	13.13	5,87	1	34,2
12,0	12,8	13,5	2.02	2,26	300	15,65	7,14	1	40,7
12.8	13,6	14,3	2,02	2,26	300	16,5	7.68	1	43,0
15,0	15,8	16,5	2,42	2,66	300	23,0	9,02	1	59,8
17,1	18,2	18,9	2,62	2,86	300	28,0	11,36	1	72,8

§ 14. კოჭური ხიდების ნაკრები ბურჯების კონსტრუქცია

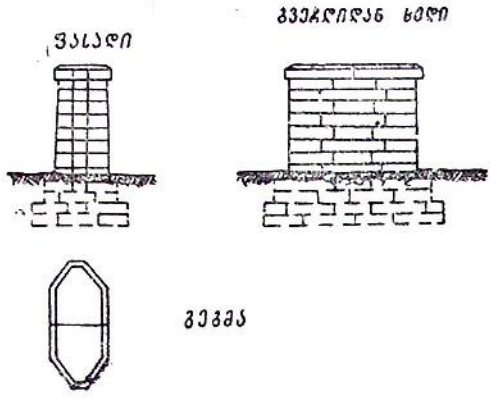
კოჭური ხიდების ბურჯების ნაკრები სახით გადაწყვეტა ორი ძირითადი ხერხით შეიძლება. პირველ შემთხვევაში შეიძლება ბურჯის ჩვეულებრივი ტიპები ვიხმაროთ და მისი ტანი განვახორციელოთ ბეტონის შედარებით მცირე ზომისა და მცირე წონის ბლოკებისაგან, რომლებიც ერთმანეთზე ეწყობა



ნახ. 61. ი. ა. მატაროვის კონსტრუქციის უბალასტო ერთბლოკიანი მალის ნაშენი.

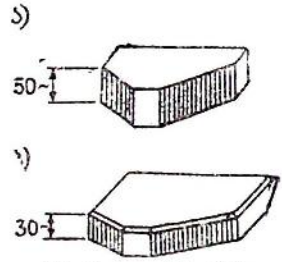
და ხსნარით უკავშირდება ერთიმეორეს. მეორე შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ საგანგებო ტიპის ბურჯები, შედგენილი დიდი ზომის რკინაბეტონის ელემენტებისაგან. განვიხილოთ ჯერ შუალედი ბურჯების კონსტრუქცია.

მცირემალიანი ხიდების შუალედი ბურჯებისათვის უმეტეს შემთხვევაში პირველი ხერხი იხმარება: ბურჯის ტანი დაიყოფა მარტივი ფორმის ბეტონის



ნახ. 62. ბლოკური ტიპის ნაკრები შუალედი ბურჯის კონსტრუქცია.

ბლოკებად. ასეთი ტიპის ბურჯს ბლოკური ბურჯი ეწოდება. მისი კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 62-ზე. საძირკვლის და ბურჯის ტანის ბლოკები კეთდება 150 მარკის ბეტონისაგან. ისინი ერთმანეთზე დაიწყობა ნაკერების გადაბმით. ბურჯის თავი შესრულებულია რკინაბეტონის ორი ბლოკისაგან. აქ ბეტონის მარკა 200-ს ტოლია. ბლოკების ფორმა ნაჩვენებია ნახ. 63-ზე. 4—10-მეტრიანი მალის ხიდებისათვის ბლოკების მაქსიმალური წონა არ აღემატება 5 ტ-ს. აღსანიშნავია, რომ ადგილობრივი პირობების მიხედვით ბურჯის საძირკველი შეიძლება გაკეთდეს ან ბლოკური, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 62-ზე, ან ადგილზე დაბეტონდეს.

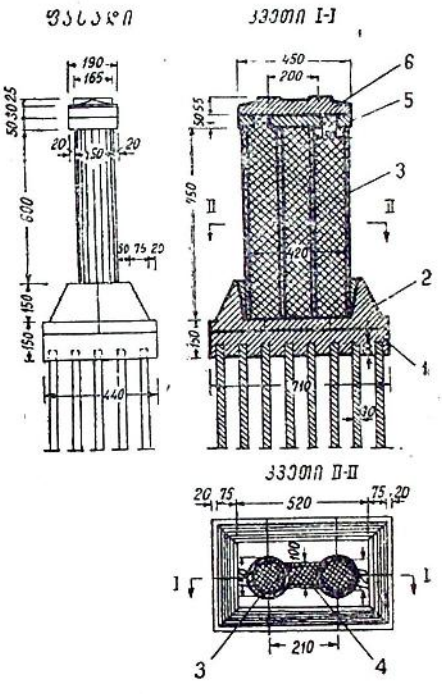


ნახ. 63. ბლოკების სქემა:
ა—ბურჯის ტანის ბლოკი; ბ—ბურჯის თავის ბლოკი.

საშუალო ან დიდი მილების დროს შუალედი ბურჯები დიდი ზომის ელემენტებისაგან იკრიბება. ნახ. 64-ზე ნაჩვენებია ერთერთი ასეთი კონსტრუქცია—მილოვანი ბურჯი (ტრანსმოსტპროექტის პროექტის მიხედვით). ბურჯს ხიმინჯოვანი ფუძე აქვს. ფუძის ბალიში 1 ადგილზე ბეტონდება. ბალიშზე ეწყობა ბლოკური საძირკველი, შემდგარი რამდენიმე ბლოკისაგან 2. საძირკველს აქვს ჩაღრმავება, რომელშიც იდგმება ბურჯის ორი ბლოკი, მილისებური დგარების სახით 3. ეს მილები მზადდება ცენტრიფუგირების წესით. მილებს შორის მაგრდება რკინაბეტონის შვეული ფილოვანი კედლები 4. მილებსა და კედლებს ზევიდან ეყრდნობა ხვრელებიანი თარაზული ფილა 5. ამ ელემენტების აკრეფის შემდეგ მილების სიღრუე და სიცარიელე მათ შორის (შვეულ კედლებს შორის) ამოივსება ბეტონით; დაბეტონება

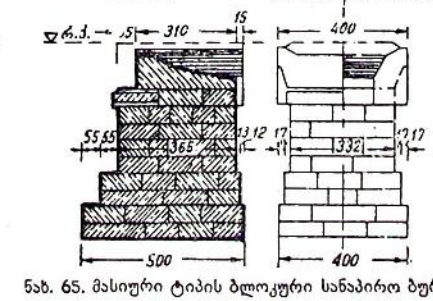
ზედა ფილის ხვრელებიდან ხდება. საბოლოოდ ზემოდან იდგმება ბურჯის თავის ფილა 6 და კონსტრუქციის აწყობა დამთავრებულია.

გადავდივართ სანაპირო ბურჯების განხილვაზე. აქ ხმარებული კონსტრუქციები უფრო მრავალფეროვანია. ყრილის მცირე სიმაღლის დროს ბურჯი შეიძლება ბლოკური ტიპის იყოს, ისე როგორც ეს შუალედი ბურჯისათვის იყო აღწერილი. ნახ. 65-ზე ნაჩვენებია მასიური ტიპის სანაპირო ბურჯი, შედგენილი მცირე ზომის ბლოკებისაგან. გამონაკლისს შეადგენს მხოლოდ ზედა ბლოკი—დატვირთვის თანაბრად განაწილების მიზნით იგი მთლიანი კეთდება და მისი წონა 20 ტ-მდე აღწევს. ამავე წესით შეიძლება გაკეთდეს ორტესებრი ტიპის სანაპირო ბურჯიც. სათანადო კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 66-ზე. ბურჯის ტანი აქ სამი ბლოკისაგან შედგება: ქვედა ორი ბლოკი ორტესებრი ფორმისაა, ზედა კი საბალასტო გობსა და მალის ნაშენის დასაყრდენს ქმნის. ბლოკების ზომა აქ გაცილებით უფრო მეტია, ვიდრე წინა შემთხვევაში—თითოეული ბლოკის წონა 40 ტ-მდე აღწევს. საძირკველი ოთხი ცალკეული ბლოკისაგან შედგება.



ნახ. 64. მილოვანი შუალედი ბურჯი.

დიდი ზომის ბლოკებისაგან შემდგარი ბურჯის მეორე მაგალითი მოყვანილია ნახ. 67-ზე. იგი წარმოადგენს ბურჯს შებრუნებული კედლებით, რომლის ტანი მხოლოდ ორი ბლოკისაგან შედგება. ბლოკების წონა 45 ტ-მდეა. მოყვანილი ნახაზი შეესაბამება ყრილს 4 მ-ს სიმაღლით.

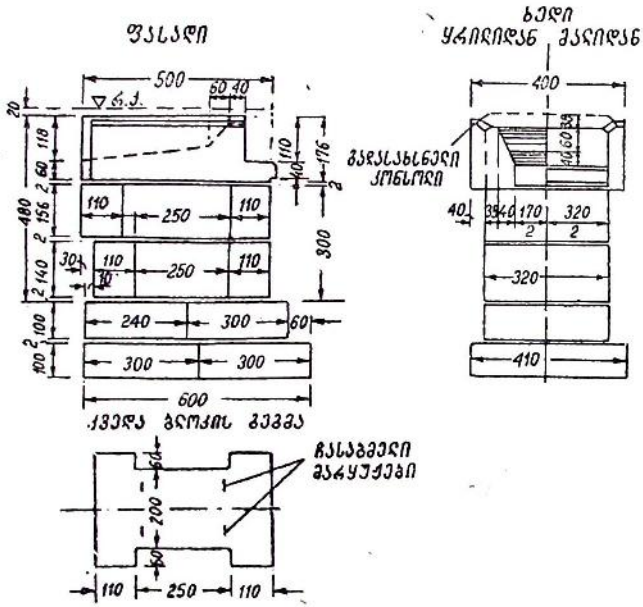


ნახ. 65. მასიური ტიპის ბლოკური სანაპირო ბურჯი.

დიდი სიმაღლის სანაპირო ბურჯებისათვის გამართლებულია მასიური ბლოკების მაგივრად რკინაბეტონის ელემენტების ხმარება. ასეთი კონსტრუქცია წყობის ნაკლებ მოცულობას მოითხოვს, მაგრამ უფრო რთული გამოდის. ქვემოთ მოგვყავს ამჟამად პრაქტიკაში ხმარებული რკინაბეტონის ნაკრები ბურჯის რამდენიმე მაგალითი.

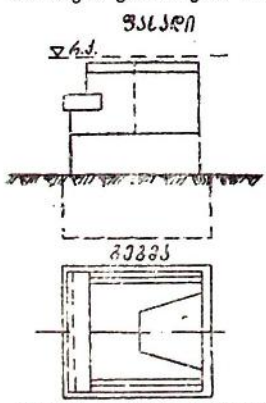
ნახ. 68-ზე ნაჩვენებია ლენტრანსმოსტპროექტის მიერ დაპროექტებული ნაკრები სანაპირო ბურჯი. იგი შედგება რამდენიმე ცალკეული ჩარჩოსაგან.

მალის ნაშენი უშუალოდ ეყრდნობა განივ ჩარჩოს 1. ბურჯის ტანი შექმნილია ორი გრძივი ჩარჩოსაგან 2. მათზე დადებულია საბალასტო გობის ფილა 3. ბურჯის უკანა მხრიდან გრძივი ჩარჩოების კონსოლებს ეყრდნობა რკინა-



ნახ. 66. ორტესებრი ფორმის ბლოკური სანაპირო ბურჯი.

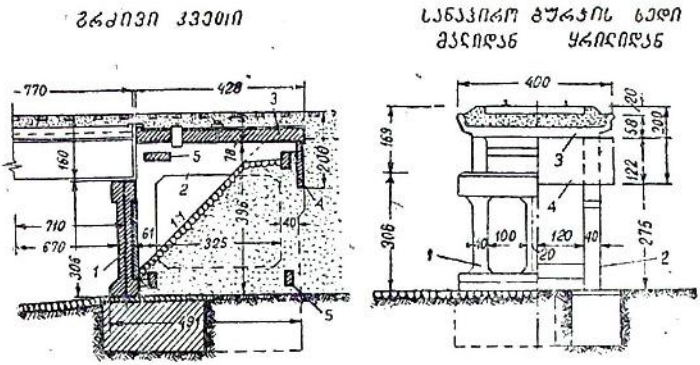
ბეტონის მისაბრჯენი ფარი 4, რომელიც იჭერს მისასვლელ ყრილს. გრძივი ჩარჩოები ერთმანეთს შორის გამაგრებულია განმბრჯენებით 5. ნაკრები ელემენტების ურთიერთშეერთება ხდება მათგან გამოშვებული საარმატურო რკინის ღეროების დაპირაპირებით. ასეთი ტიპის ბურჯები იხმარება ყრილის მცირე სიმაღლის (4—6 მ-მდე) დროს.



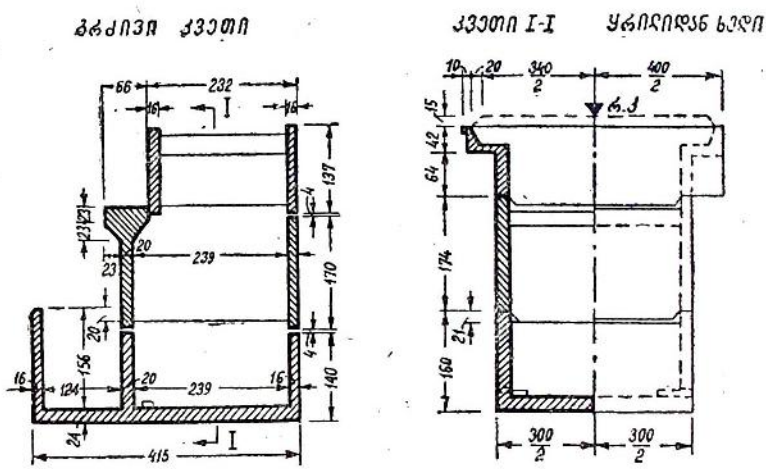
ნახ. 67. ბლოკური სანაპირო ბურჯი შებრუნებული კედლებით.

ღრუტანიანი კოლოფისებური ბურჯის კონსტრუქცია მოყვანილია ნახ. 69-ზე. იგი წამოყენებულია ინჟ. ბელოგოლოვისა და გალპერინის მიერ. ბურჯის ტანი თარაზული ნაკერების საშუალებით დაყოფილია სამ ბლოკად. ყოველი ბლოკი რკინაბეტონის თხელკედლიან უძირო კოლოფს წარმოადგენს; მხოლოდ ქვედა ბლოკს აქვს ძირი—რკინაბეტონის ფილა, რომლითაც ის გრუნტს ეყრდნობა. ბლოკები იდგმება ერთმანეთზე და შემდეგ სიცარიელე ამოივსება გრუნტით.

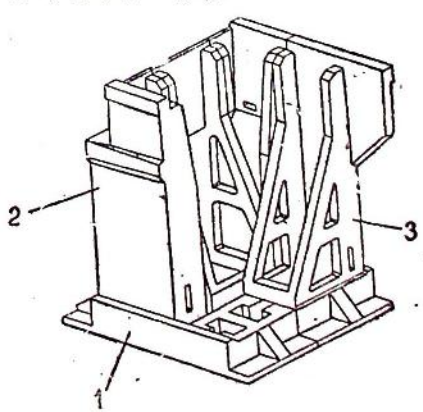
უფრო რთული კონსტრუქცია ახასიათებს ინჟ. მატაროვის სისტემის სანაპირო ბურჯს (ნახ. 70). მის შემადგენლობაში შედის საყრდენი ფილა 1 და კედლების ბლოკები 2. ეს უკანასკნელნი გამაგრებულია მართკუთხა ფორმის სიხისტის წიბოებით 3.



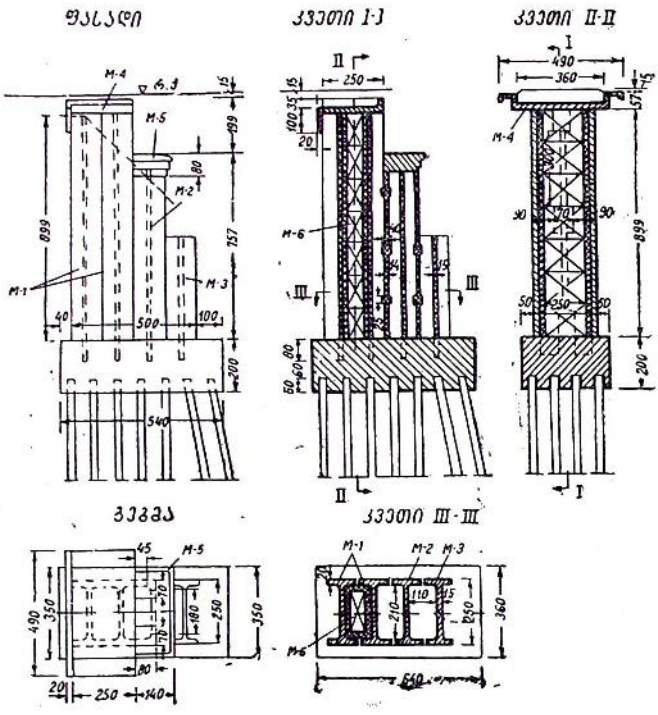
ნახ. 68. ჩარჩოვანი ტიპის სანაპირო ბურჯი.



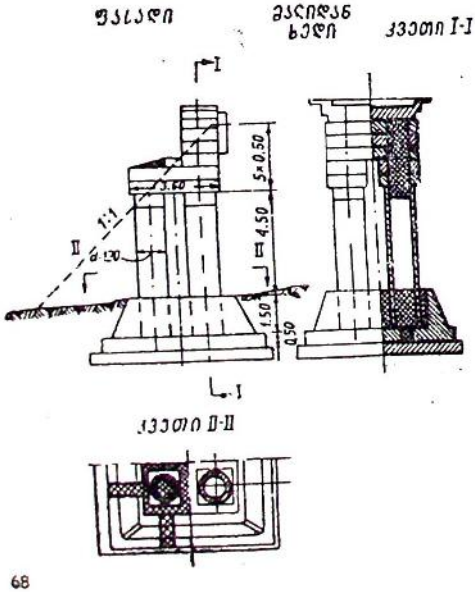
ნახ. 69. ღრუტანიანი კოლოფისებური ბურჯი.



ნახ. 70. ინჟ. მატაროვის სისტემის სანაპირო ბურჯი.



ნახ. 71. ნაკრები შემოყრილი ბურჯი ორტესებრი განივკვეთის ბლოკებით.



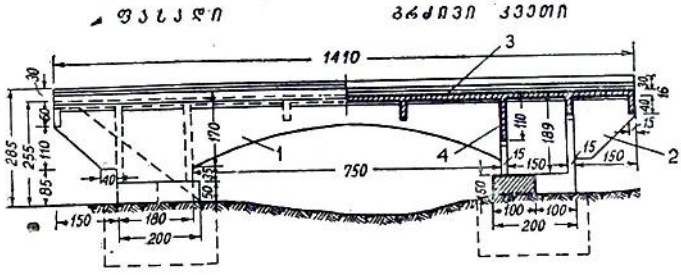
ნახ. 72. ნაკრები შემოყრილი ბურჯი მილოვანი ელემენტებით.

შეეული სამონტაჟო ელემენტებისაგან შეიძლება შეეად გინოთ შემოყრილი ტიპის ბურჯის ტანიც. ნახ. 71-ზე ნაჩვენებია ნაკრები შემოყრილი ბურჯი, გახორციელებული ორტესებრი ფორმის შეეული ელემენტებისაგან (ტრანსმოსტპროექტის პროექტის მიხედვით). ასეთივე ტიპის ბურჯი, შემდგარი მილოვანი ელემენტებისაგან, ნაჩვენებია ნახ. 72-ზე. მისი კონსტრუქცია ზემოაღწერილი მილოვანი შუალედი ბურჯის კონსტრუქციის ანალოგიურია.

აღსანიშნავია, რომ მიუხედავად ბევრი სხვადასხვა ტიპის არსებობისა, ნაკრები სანაპირო ბურჯების დამაკმაყოფილებელი კონსტრუქცია ჯერ კიდევ არ არის მიღებული. ამ მიმართულებით ამჟამად დიდი კვლევა-ძიება წარმოებს.

§ 15. მცირემალიანი ნაკრები ხიდების კონსტრუქციები

წინა პარაგრაფებში განხილული იყო კოჭოვანი ხიდების ნაკრები მალის ნაშენების და ბურჯების კონსტრუქციები. აქ ჩვენ ვიხილავთ მცირემალიანი ხიდების ზოგიერთ საგანგებო ტიპს. მათთვის დამახასიათებელია მალის ნაშე-



ნახ. 73. მთლიანად გადასატანი დისკოსებური ხიდი.

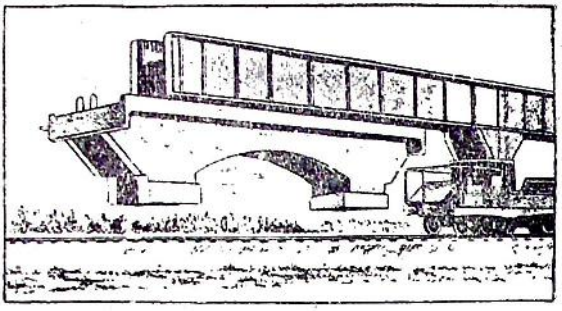
ნების და საყრდენების გადაწყვეტა ერთობლივი სამონტაჟო ბლოკების სახით, რაც საშუალებას გვაძლევს მაქსიმალურად გავამსხვილოთ ბლოკები და შევამციროთ სამონტაჟო ოპერაციების რაოდენობა.

ერთ-ერთ ასეთ კონსტრუქციას წარმოადგენს დისკოსებური ხიდი (ნახ. 73). ეს არის ერთმალიანი მთლიანად გადასატანი ხიდი, რომლის ბურჯები და მალის ნაშენი ერთ მთლიან ბლოკს წარმოადგენს. მალის ნაშენის ძირითად მზიდ კონსტრუქციას შეადგენს ორი პარალელური შეეული კედელი 1; მათი სისქე 25 სმ-ია. კედლები გრძელდება ბურჯების ფარგლებში და მთავრდება კონსოლური ფრთებით 2, რომლებიც ხიდს აერთებენ მისასვლელ ყრილთან. მუშაობის თვალსაზრისით ეს კედლები წარმოადგენს ცვალებადი სიმაღლის კონსოლურ კოჭებს ანუ დისკოებს. კედლები შეერთებულია ერთმანეთთან სავალი ნაწილის ფილით 3 და დიაფრაგმებით 4. ბლოკი ეყრდნობა წინასწარ დაბეტონებულ მთლიან საძირკველს. ასეთი კონსტრუქცია იხმარება მცირემალიანი ხიდებისათვის, სინათლეში მალით 8 მ-მდე. ბლოკის სრული წონა 50—55 ტ-ს აღწევს. მისი საძირკველზე დადგმა კონსოლური ამწეების საშუალებით ხდება. ნახ. 74-ზე ნაჩვენებია დისკოსებური ხიდის ადგილზე დადგმის სურათი.

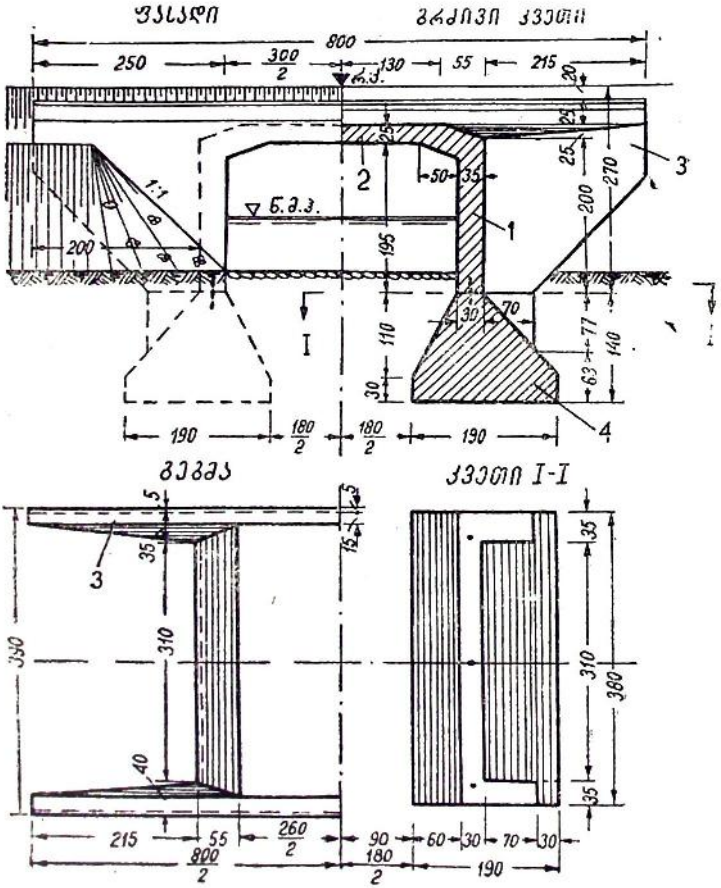
დისკოსებური ხიდი დამუშავებულია ლენინგრადის „ხიდმშენის" მიერ, ინჟინერ ბაჩელისისა და ჩეჟინის წინადადებით.

მთლიანად გადასატანი ხიდის მეორე გადაწყვეტა წამოყენებულია ინჟ. ვ. სეროვისა და ბ. პლოტნიკოვის მიერ. ეს არის ჩარჩოსებური ხიდი (ლენ-

ტრანსმოსტპროექტი). მისი კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 75-ზე. მალის ნაშენი და საყრდენები აქ განხორციელებულია მთლიანი ჩარჩოს სახით. [illegible]

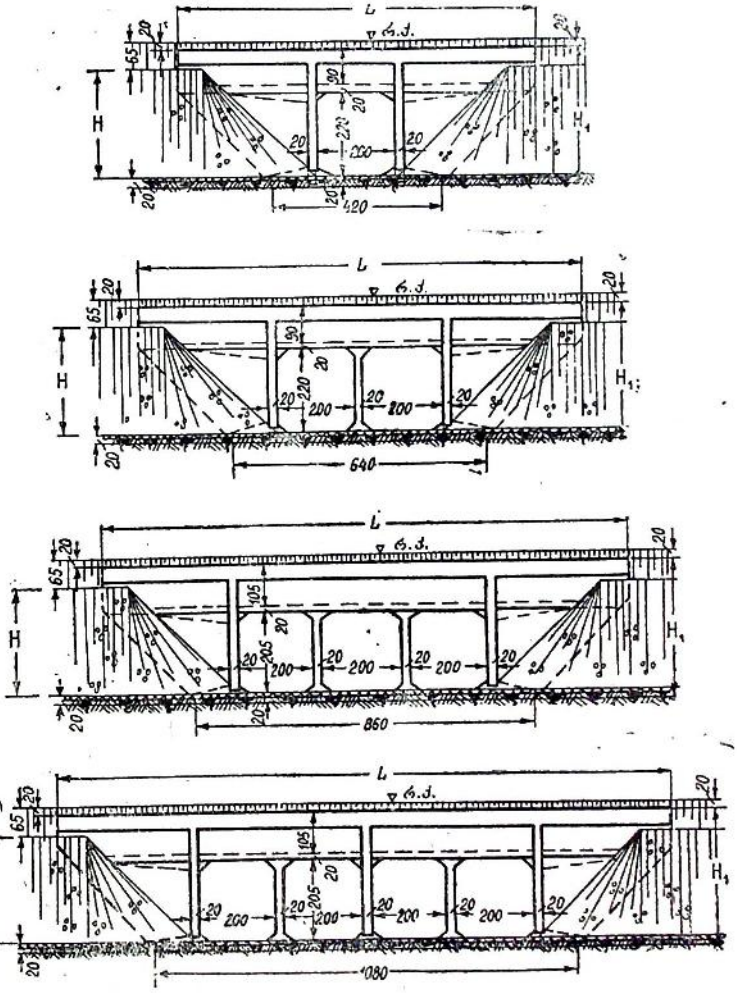


ნახ. 74. დისკოსებური ხიდის ადგილზე დადგმა.



ნახ. 75. მთლიანად გადასატანი ჩარჩოსებური ხიდი.

შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: 1—შვეული ფილები, რომლებიც ბურჯების წინა კედლებს ქმნიან; 2—სავალი ნაწილის ფილა; 3—კონსოლური ფრთები, რომლებიც აერთებენ ხიდს მისასვლელ ყრილთან. ჩარჩო ეყრდნობა ტრაპეციული ფორმის საძირკველს 4; შესაძლებელია ეს უკანასკნელიც განხორციელდეს

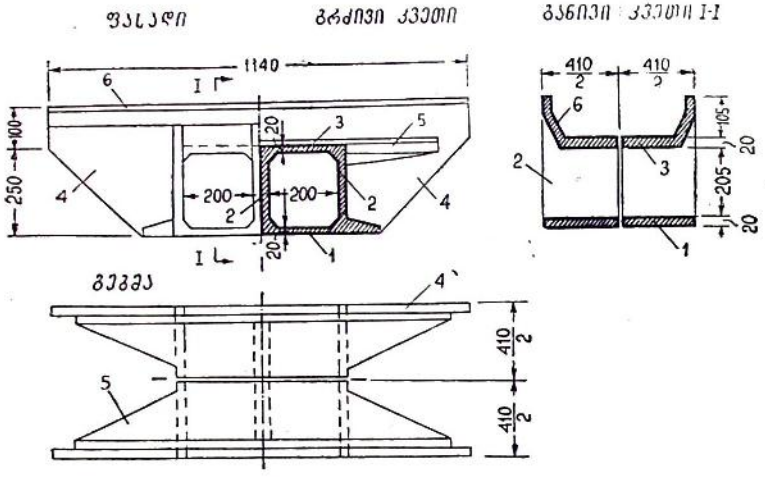


ნახ. 76. მილხიდის სქემები.

წინასწარ დამზადებული მთლიანი ბლოკის სახით. საძირკვლის და ჩარჩოს შეერთება ხდება ლითონის შვეული კორაქებით. ასეთი ხიდები იხმარება 2—5 მ მალებისათვის.

მცირემალიანი ხიდის ორიგინალური კონსტრუქცია წამოყენებულია ინჟინერ ა. პეტროვსკის მიერ [28] (სატრანსპორტო მშენებლობის სამინისტროს

რკინიგზის მშენებლობის და დაპროექტების საკავშირო სამეცნიერო-საკვლევი ინსტიტუტი—ЦНИИС). ფაქტიურად იგი ძალიან წააგავს მილს და ამიტომ მას ნაკრები მილხიდი ეწოდება[1]. მილხიდის კონსტრუქცია ხვრელის სხვადასხვა სიდიდის დროს მოყვანილია ნახ. 76-ზე. როგორც ვხედავთ, ხიდის ხვრელი დაყოფილია რამდენიმე მართკუთხა ფორმის მალად. მალების რაოდენობა იცვლება ერთიდან ოთხამდე, თითოეული მალის სიგანე კი 1,5—2,5 მ-ს ტოლია. ორხვრელიანი ხიდის კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 77-ზე. ანალოგიურადვე



ნახ. 77. ორხვრელიანი მილხიდის კონსტრუქცია.

სრულდება კონსტრუქცია მალების სხვა რიცხვის დროს. როგორც ვხედავთ, ხიდის ღერძის გასწვრივ არის ნაკერი, რომელიც მთელ ნაგებობას ორ ბლოკად ჰყოფს. ყოველ სამონტაჟო ბლოკს შემდეგი ნაწილები აქვს: 1—თარაზული ფილა, რომლითაც ბლოკი ეყრდნობა საძირკველზე ან დატკეპნილი ხრეშის ბალიშზე; 2—შვეული ფილები, რომლებიც ხიდის ხვრეტს შემოფარგლავს; 3—სავალი ნაწილის ფილა; 4—კონსოლური ფრთები, რომლებიც ხიდს მისასვლელ ყრილთან აერთებს; მანძილი ფრთებს შორის ყრილით ივსება და ეს უკანასკნელი ფრთების კედლებზე თარაზულ დაწოლას ავითარებს. ამიტომ ფრთების განივი სიხისტის გასაზრდელად კეთდება თარაზული კონსოლური დიაფრაგმები 5. ზედა ნაწილში მოწყობილია საბალასტო გობის კედლები 6. საძირკველზე დადგმის შემდეგ ორივე ბლოკის გამონოლითება ხდება. ამისათვის შვეული კედლები და ზედა თარაზული ფილები ერთმანეთს უერთდება მარყუჟისებური პირაპირების საშუალებით. ამ პირაპირების კონსტრუქცია შემდეგ პარაგრაფში იქნება აღწერილი. ხიდის ორივე მხრიდან ფრთებს შორის ეწყობა დრენაჟი, რომლის საშუალებითაც წყალი გამოჰყავთ ხიდის ფარგლებს გარეთ.

მილხიდების გამოყენების ძირითადი სფეროა მცირეხვრეტიანი ხიდები, ხვრეტის საერთო სიგანით 8 მ-მდე. მისასვლელი ყრილის სიმაღლე შეიძლება იცვლებოდეს 2—4 მ-ს ფარგლებში. ასეთი ზომების დროს თითოეული სამონტაჟო ბლოკის წონა არ აღემატება 50—55 ტ-ს.

[1] იხმარება აგრეთვე სახელწოდება—ЦНИС-ის სისტემის ხიდი.

ა. პეტროვსკის სისტემის მილხიდები გამოსადეგია როგორც აღდგენითი სამუშაოების, ისე ახალი ხიდების მშენებლობის დროს. ბლოკების დიდი სიმძიმის გამო მათი ადგილზე მიტანა მხოლოდ რკინიგზით შეიძლება; ბლოკების მონტაჟი (ადგილზე დადგმა) კონსოლური ან ისრული ამწეებით წარმოებს. კონსტრუქციის ძირითადი დადებითი მხარეა სამონტაჟო ბლოკების მცირე რაოდენობა და მონტაჟის სიადვილე. მიუხედავად ამისა, მათ დიდი გამოყენება ვერ ჰპოვეს.

ქვემოთ მოგვყავს ცხრილი 10, რომელიც შეიცავს მილხიდის ძირითად მონაცემებს ხვრეტის სიდიდისა და ყრილის სიმაღლის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს.

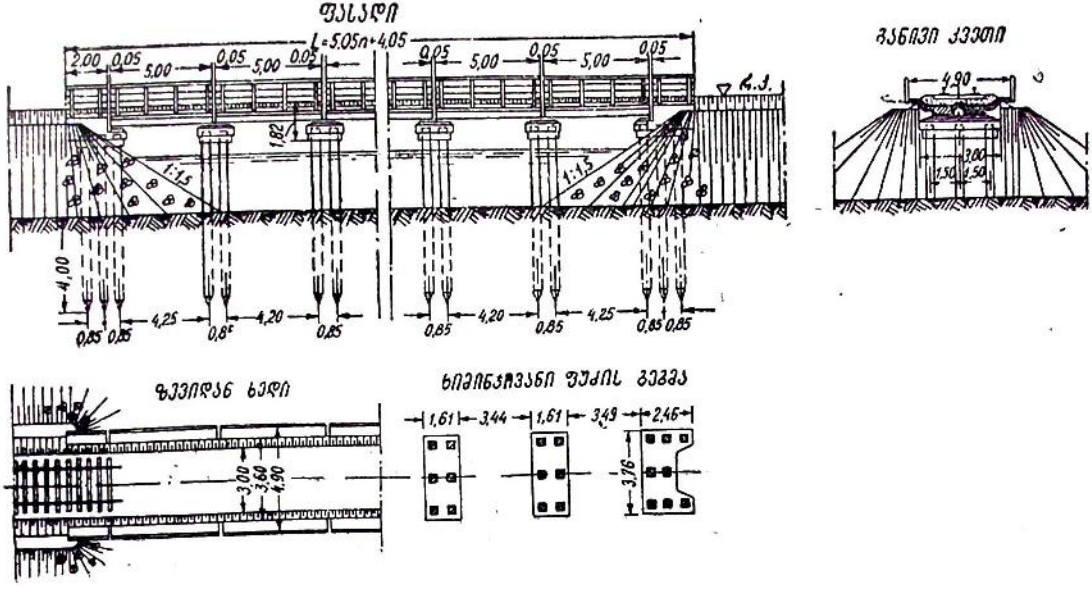
ცხრილი 10

მილხიდების ძირითადი მონაცემები

ყრილის სიმაღლე H და კონსტრუქციის სიმაღლე H_1	ხიდის ხვრეტი	რკინაბეტონის მოცულობა ($მ^3$)		ბლოკის წონა ტ	არმატურის ხარჯი (კგ)	
		ერთ ბლოკზე	მთელ ხიდზე		1 $მ^2$-ზე	მთელ ხიდზე
$H=2,35$ ($H_1=3,00$)	1×2.0=2,0	8,48	16,96	21,2	137,1	2330
	2×2,0=4,0	11,21	22,42	23,0	137,5	3095
	3×2,0=6,0	13,87	27,74	34,7	139,5	3874
	4×2,0=8,0	16,76	33,52	41,8	140,5	4708
$H=2,85$ ($H_1=3,50$)	1×2,0=2.0	9.8	19,60	24.5	130,5	2559
	2×2,0=4,0	12,7	25,40	31,8	132,2	3375
	3×2.0=6,0	15,61	31,22	39,1	131,2	4111
	4×2,0=8,0	18,71	37,42	46,8	139,0	5225
$H=3,35$ ($H_1=4,00$)	1×2,0=2,0	11,21	22,42	28,0	137,5	3093
	2×2,0=4.0	14,30	28,60	35,8	138.5	3974
	3×2,0=6,0	17,27	34,54	43,2	138,2	4777
	4×2,0=8,0	20,56	41,12	51,3	144,2	5950

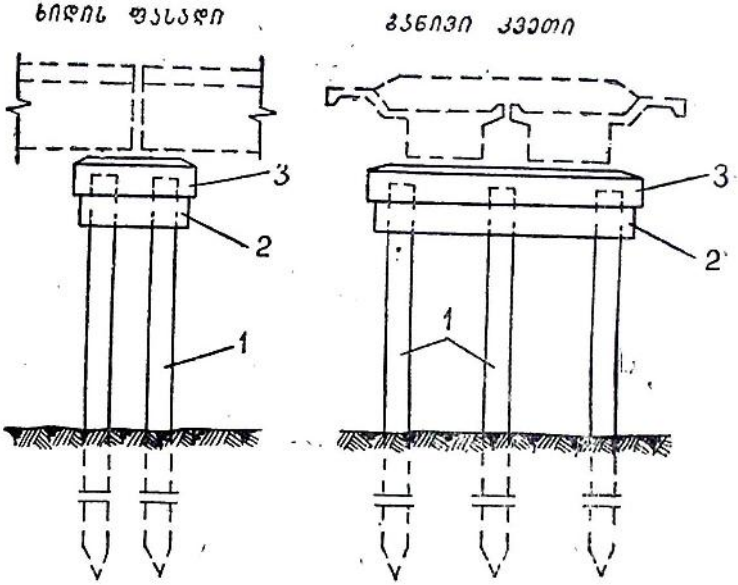
მცირემალიანი კოჭური ხიდების ინდუსტრიულ ტიპს წარმოადგენს აგრეთვე ხიმინჯოვან-ესტაკადური ხიდი. იგი დამუშავებულია ინჟინერ ნ. მ. კოლოკოლოვის მიერ [20]. ხიდის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 78-ზე. ყოველი შუალედი საყრდენი შედგება ხიმინჯების ორი რიგისაგან; თითოეულ რიგში ხიდის განივკვეთში სამი ხიმინჯია. ხიმინჯები ზედა ნაწილში გაერთიანებულია რკინაბეტონის ნაცმით, რომელიც ბურჯის თავს ქმნის. მალის ნაშენები ჩვეულებრივი ტიპისაა, მთლიანად გადასატანი ან ორსექციური. ესტაკადური ხიდების მალი 5—7 მ-მდეა, სიმაღლე კი 4—5 მ-მდე. ამჟამად მუშავდება ანალოგიური კონსტრუქცია უფრო დიდი მალებისათვის, დახრილხიმინჯებიანი საყრდენებით.

განვიხილოთ უფრო დაწვრილებით ესტაკადური ხიდის შუალედი ბურჯის კონსტრუქცია (ნახ. 79). ბურჯის ძირითად მზიდ კონსტრუქციას წარმოადგენს რკინაბეტონის ხიმინჯები 1. ხიმინჯების კვეთი სტანდარტული ზომისაა—35×35 სმ, სიგრძე კი ადგილობრივი პირობების მიხედვით, იცვლება 6—12 მ-ს ფარგლებში. ხიმინჯების დასობა უმეტესად ვიბროჩაშვების ხერხით ხდება. ბურჯის თავი (ანუ ნაცმი) შედგება ორი სამონტაჟო ბლოკისაგან ანუ როსტვერკისაგან. ქვედა როსტვერკი 2 წარმოადგენს რკინაბეტონის ფილას გამჭოლი ოთხკუთხა ხვრელებით, რომლებშიც ხიმინჯები გადის (ნახ. 80). ფილა დაარმირებულია თარაზული ბადეებით. ოთხკუთხა ხვრელები შემოვლებულია კუთხოვანი რკინით და მრგვალი არმატურის კარკა-



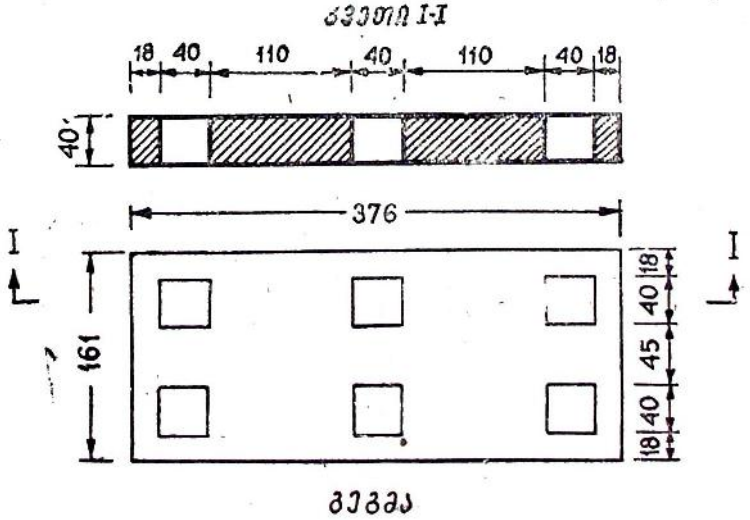
ნახ. 78. ხიმინჯოვან-ესტაკადური ხიდის სქემა.

სებით. ხიმინჯების დასობის დროს ეს როსტვერკი მიმმართველის როლს თამაშობს. იგი ჩამოეცმება ხიმინჯებს და არ აძლევს მათ გადახრის საშუალებას.

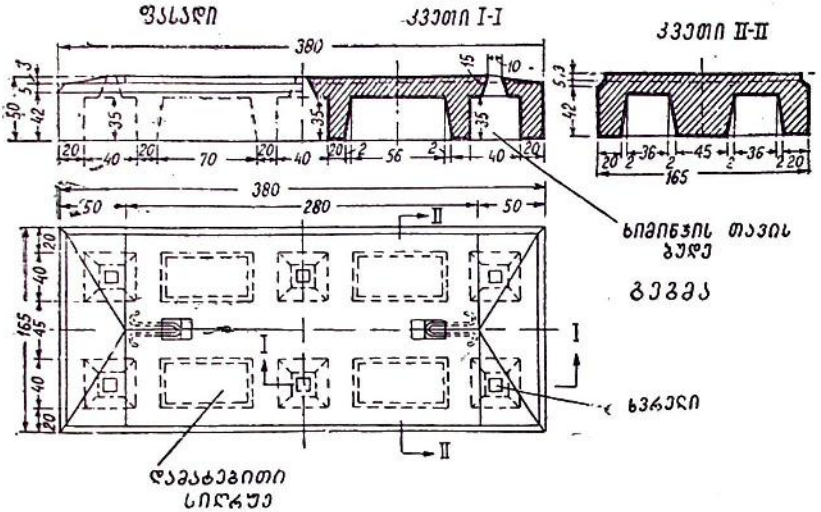


ნახ. 79. ხიმინჯოვან-ესტაკადური ხიდის შუალედი ბურჯის კონსტრუქცია.

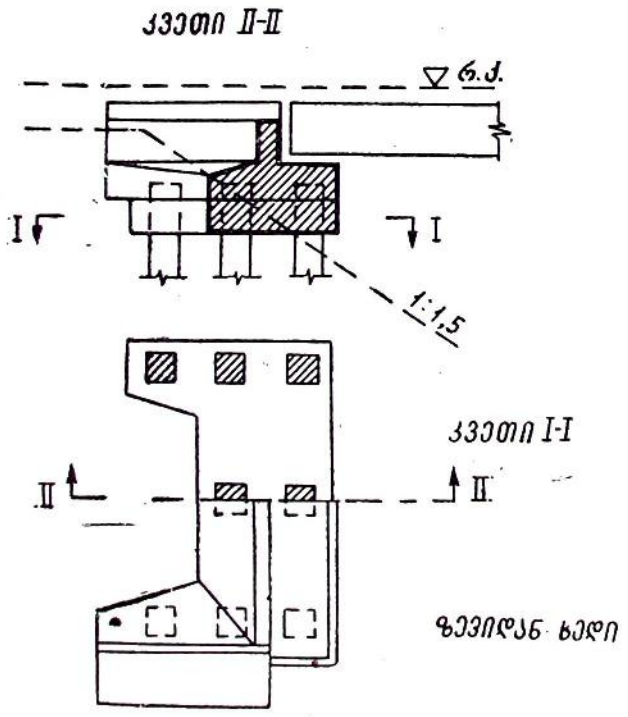
ჩაშვების პროცესში. თვით როსტვერკი ამ დროს დროებით ხარაჩოებს ეყრდნობა. ხიმინჯების ჯეროვან დონეზე დასობის შემდეგ საჭიროა



ნახ. 80. ქვედა როსტვერკის კონსტრუქცია.



ნახ. 81. ზედა როსტვერკის კონსტრუქცია.



ნახ. 82. ხიმინჯოვან-ესტაკადური ხიდის სანაპირო ბურჯის კონსტრუქცია.

როსტვერკის ხიმინჯებთან მიმაგრება. ამისათვის ხვრელის კედლებსა და ხიმინჯის წახნაგებს შორის იჭედება რკინის სოლები და ხარვეზები ამოივსება ცემენტის ხსნარით.

ბურჯის თავის მეორე ნაწილს ზედა როსტვერკი წარმოადგენს (ნახ. 79, ელემენტი—3). მისი კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 81-ზე. როსტვერკი ხორციელდება რკინაბეტონის ფილის სახით. ფილის ქვედა ნაწილში დატოვებულია ბუდეები ხიმინჯების თავებისათვის; ისინი შეერთებულია როსტვერკის ზედაპირთან ხვრელებით. ქვედა როსტვერკის დამაგრების შემდეგ მის ზედაპირზე იდგმება ზედა როსტვერკი, ისე რომ ხიმინჯების თავები ბუდეებში შედის (ხიმინჯის თავები წინასწარ მოჭრილი უნდა იყოს საჭირო დონეზე). ბუდეებში მიღებული სიცარიელე ამოივსება ცემენტის ხსნარით, რომელიც ხვრელების საშუალებით ისხმება როსტვერკის ზედაპირიდან. აღსანიშნავია, რომ გარდა ზემოხსენებული ბუდეებისა, ზედა როსტვერკის ტანში დატოვებულია დამატებითი სიღრუეები მისი წონის შესამცირებლად.

სანაპირო ბურჯის კონსტრუქცია ანალოგიურად სრულდება. ბურჯი შედგება ხიმინჯების სამი რიგისაგან (ნახ. 82). ქვედა როსტვერკი გეგმაში П-სებური ფორმისაა, ზედა როსტვერკს კი შებრუნებული კედლები დატროტუარის ფილები უკეთდება.

ხიმინჯოვან-ესტაკადური ხიდის დადებითი მხარეა სამონტაჟო ბლოკების მცირე წონა და სხვადასხვა ტიპის ბლოკების რაოდენობის სიმცირე. სამონტაჟო ბლოკის მაქსიმალური წონა არ აღემატება 10 ტ-ს, ხოლო ბლოკების ტიპების რაოდენობა თანაბარმალიან ხიდებში 6-ის ტოლია.

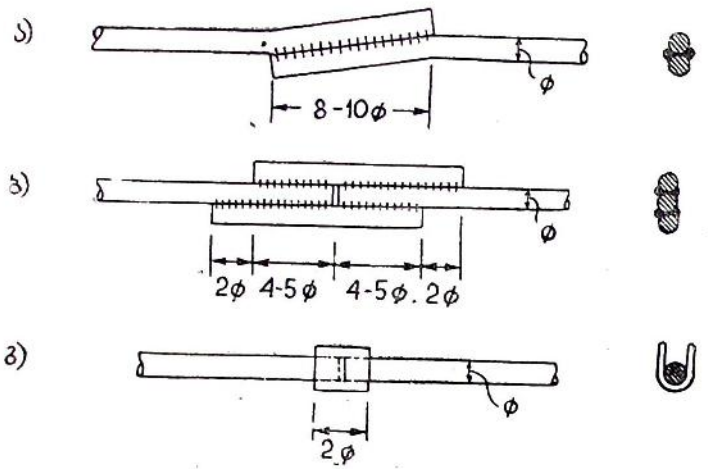
§ 16. ნაკრები ელემენტების პირაპირები

§ 12-ში უკვე აღნიშნული იყო, რომ ნაკრები კონსტრუქციების დაპროექტების ერთ-ერთ რთულ საკითხს პირაპირების გადაწყვეტა შეადგენს. ნაკრები ელემენტების პირაპირების კონსტრუქციამ უნდა უზრუნველყოს მთელი ნაგებობის ერთობლივი მუშაობა, მისი გამონოლითება. აქედან ცხადია, რომ პირაპირის კონსტრუქციას დიდი პასუხისმგებლობა ეკისრება. პირაპირის სიმძლავრე შესაერთებელ ელემენტებს შორის მოქმედ ძალებზეა დამოკიდებული. ამის მიხედვით შეიძლება საჭირო გახდეს ამა თუ იმ პირაპირის მოწყობა. უმარტივეს შემთხვევაში, როდესაც შესაერთებელ ელემენტებს შორის ურთიერთმოქმედი ძალები არ არსებობს, პირაპირი ელემენტების უშუალო მიდგმით შეიძლება განხორციელდეს, ყოველგვარი შეერთების გარეშე. ასეთი გადაწყვეტის მაგალითს წარმოადგენს გრძივი პირაპირი ორბლოკიანი მალის ნაშენის ცალკეულ ბლოკებს შორის (ნახ. 55, 56, 57).

განსაკუთრებით რთული პირაპირი გამოდის მუშა არმატურის გადაბმის საჭიროების შემთხვევაში. მძლავრი ელემენტების ძირითად მუშა არმატურაში მეტად დიდი ძალები ვითარდება. ასეთი ძალების გადაცემა სამონტაჟო პირაპირის საშუალებით ძნელ ამოცანას წარმოადგენს, ამიტომ მუშა არმატურის დაპირაპირებას უნდა ვერიდოთ. § 12-ში უკვე აღნიშნული იყო, რომ სწორედ ამ მიზეზის გამო მალის ნაშენის ბლოკებად განივი დაყოფის ხერხი პრაქტიკაში არ იხმარება. მიუხედავად ამისა, სხვადასხვა ნაკრებ კონსტრუქციებში საჭირო ხდება პირაპირის განხორციელება არმატურის გადაბმის საშუალებით. მაგალითად, ასეთნაირად ხორციელდება პირაპირები ჩარჩოვანი ტიპის სანაპირო ბურჯებში (§ 14, ნახ. 68), მცირემალიანი მილხიდის კონსტრუქციაში (§ 15, ნახ. 77) და სხვა. როგორც შემდეგში დავინახავთ, ასეთი პირა-

პირები გამოიყენება ნაკრებ თაღოვან ხიდებშიც, ამიტომ აქ ჩვენი მიზანია სამონტაჟო პირაპირებში არმატურის შეერთების ხერხების განხილვა.

არმატურის შეერთების ერთ-ერთ უმარტივეს საშუალებას ელექტროშედუღება წარმოადგენს. არმატურის შედუღებული პირაპირები ნაჩვენებია ნახ. 83-ზე. ერთმანეთზე გადადებით პირაპირი ტექნიკური პირობების



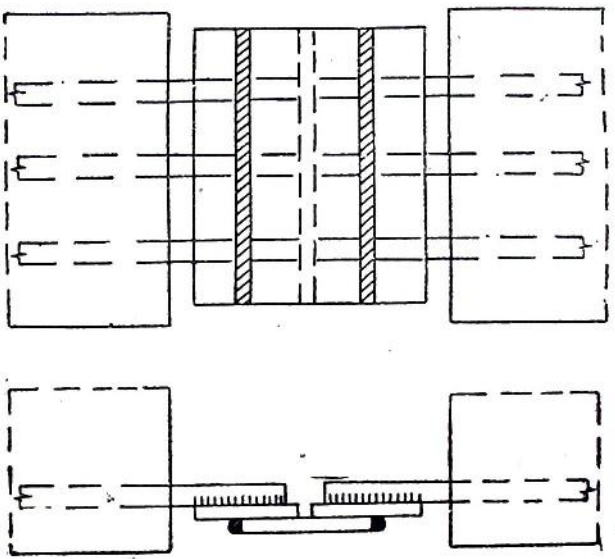
ნახ. 83. შედუღებული პირაპირების ტიპები.

თანახმად სასურველი არ არის (ნახ. 83, ა). უმჯობესია ვიხმაროთ ნადებებიანი პირაპირი (ნახ. 83, ბ). შედუღების სიგრძის თვალსაზრისით საუკეთესოა აბაზანური ტიპის პირაპირი (ნახ. 83, გ). აქ შესაერთებელი ღეროების ბოლოები თავსდება U ასოს მაგვარად მოღუნულ რკინის ან სპილენძის ფურცელში, რომელიც აბაზანას ქმნის. ღეროების ბოლოებს შორის მანძილი საკმარისი უნდა იყოს ელექტროდის ჩასაყვანად (8—15 მმ). აბაზანის სიგრძეა $2\varnothing$, ფურცლის სისქე $\sim 0{,}2\varnothing$ ($\varnothing$—შესადუღებელი ღეროს დიამეტრია). შედუღების დროს გამდნარი ლითონი აბაზანაში გროვდება, ალღობს ღეროების ბოლოებს და აერთებს მათ. შეერთება საკმარისად კარგი გამოდის, წესიერი შესრულების დროს მისი სიმტკიცე არ ჩამოუვარდება შესაერთებელი ღეროების სიმტკიცეს.

მიუხედავად სიმარტივისა, შედუღებული პირაპირები ხიდების ნაკრებ კონსტრუქციებში იშვიათად იხმარება. ამას რამდენიმე მიზეზი აქვს: უპირველეს ყოვლისა, ძნელია სამონტაჟო ბლოკების შესაერთებელი ღეროების სწორი ურთიერთმდებარეობის უზრუნველყოფა. ამის გარდა, ცოტად თუ ბევრად ხშირი არმატურის დროს ელექტროდით ღეროებთან მიდგომა რთულდება და ნაკერები უხარისხო გამოდის, მით უფრო, რომ მონტაჟის ადგილზე შედუღების პირობები საერთოდ რთულია. ამიტომ შედუღებული პირაპირები ნაკლებად საიმედოა.

არმატურის შეერთების მეორე ხერხს ხისტი პირაპირი წარმოადგენს (ინჟ. ე. ლ. ხლებნიკოვი). პირაპირი ასე კეთდება (ნახ. 84): შესაერთებელი არმატურის ბოლოებს, რომლებიც გამოშვერილია სამონტაჟო ბლოკებიდან, წინასწარ დაედუღება ლითონის ფურცლები (ფირფიტები); ეს ბლოკის დამზა-

დების დროს ხდება. ბლოკების აწყობის დროს ხდება ამ ფირფიტების შეერთება; ეს უკანასკნელი ხორციელდება ნადებებით, შედუღების (ნახ. 84) ან ჭანჭიკების საშუალებით. ასეთ პირაპირს იგივე უარყოფითი მხარეები ახასია-



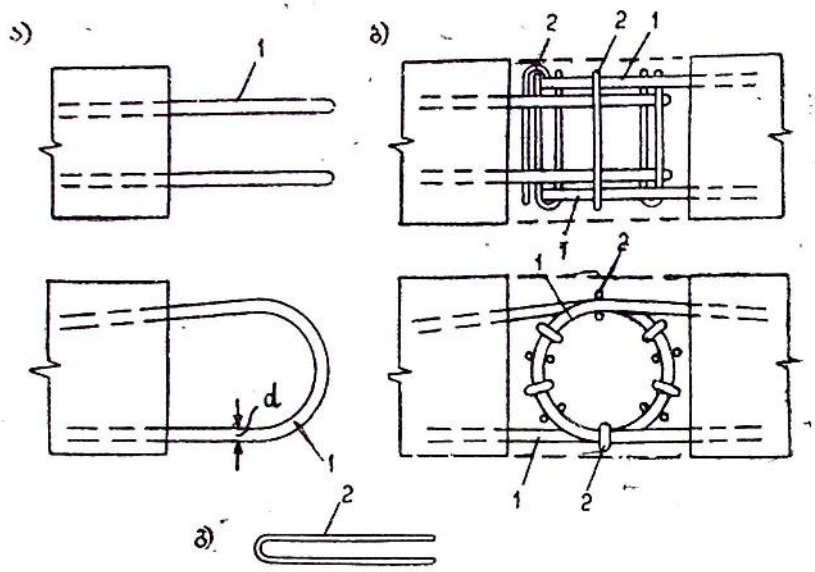
ნახ. 84. ხისტი პირაპირი.

თებს: შესაერთებელი ფირფიტების ზუსტი თანხვედრის სირთულე, შედუღების სიძნელე. ამის გამო ხისტი პირაპირები დღესდღეობით იშვიათად იხმარება.

არმატურის ორიგინალური პირაპირი შეიმუშავა ცნობილმა ხიდმშენებელმა აკადემიკოსმა პ ე რ ე დ ე რ ი მ. მისი კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 85-ზე. აქ შესაერთებელი ღეროები გამოშვერილია ბლოკის ტანიდან მარყუჟების სახით 1. შესაერთებელი ბლოკების მარყუჟები მიედება ერთმანეთს და მიღებული რგოლები მაგრდება მრგვალი რკინის სარჭებით 2. აწყობის შემდეგ პირაპირის არე ივსება მაღალი სიმტკიცის ბეტონით, რომელიც რგოლებს შიგნით ბეტონის გულას ქმნის. პირაპირის გაჭიმვის დროს გულა მუშაობს თელვაზე და ჭრაზე და ამგვარად გადასცემს გამჭიმავ ძალას. სარჭების დანიშნულებაა გაანაწილოს დატვირთვა გულას მთელ სიგანეზე. პირაპირის ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროა, რომ მარყუჟის რგოლის დიამეტრი $(8 \div 10)d$ იყოს, სადაც d—შესაერთებელი ღეროების დიამეტრია. ასეთ შემთხვევაში პირაპირის სიმტკიცე ღეროების სიმტკიცეს არ ჩამოუვარდება. ნახ. 85, ა-ზე ნაჩვენებია სამონტაჟო ბლოკის პირაპირის ადგილი შეერთებამდე, ნახ. 85, ბ-ზე კი შეკრული პირაპირი. ნახ. 85, გ სარჭის სახეს იძლევა. მისი დიამეტრი 16—22 მმ აიღება.

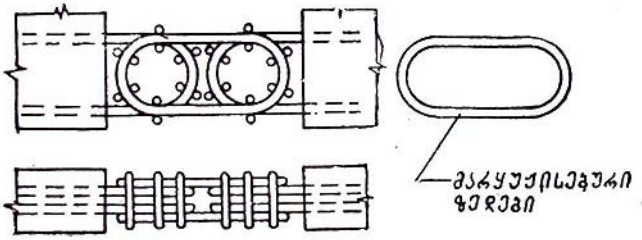
პერედერის ტიპის პირაპირში შესაერთებელი ბლოკებიდან გამოშვერილი მარყუჟები სხვადასხვა სიბრტყეში უნდა იყოს; მათი ზუსტად ერთმანეთთან დამთხვევა საკმარისად რთულია. ამიტომ არსებობს მარყუჟიანი პირაპირის მეორე ტიპი, დამოუკიდებელი მარყუჟისებური ნადებებით (ნახ. 86). აქ პი-

რაპირის სიგრძე უფრო მეტი გამოდის, ამიტომ ასეთი კონსტრუქცია იშვიათად იხმარება.



ნახ. 85. აკად. პერედერის სისტემის მარყუჟიანი პირაპირი.

მარყუჟიანი პირაპირები საკმარისად მარტივი და საიმედოა; მათ დიდი გავრცელება მოიპოვეს. მიუხედავად ამისა, ასეთი ტიპი მაინც ვერ ჩაითვლება



ნახ. 86. მარყუჟიანი პირაპირი დამოუკიდებელი ნადებებით.

სრულყოფილ პირაპირად. ამჟამად დიდი კვლევა წარმოებს ნაკრები კონსტრუქციების გაუმჯობესებული პირაპირების შესამუშავებლად.

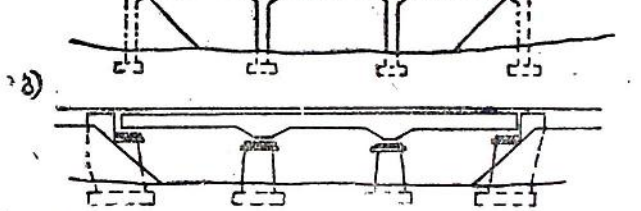
თ ა ვ ი IV

ჩარჩოვანი ხიდების კონსტრუქცია

§ 17. ჩარჩოვანი ხიდების თვისებები და ძირითადი სქემები

ჩარჩოვანი ხიდი წიგნის პირველ ნაწილში იყო განმარტებული; ეს ისეთი ხიდია, რომლის მალის ნაშენი ხისტადაა შეერთებული სვეტისებურ საყრდენებთან და სტატიკური თვალსაზრისით ჩარჩოს ქმნის. ჩარჩოვანი ხიდის სქემა ნახ. 87-ზეა მოცემული. მალის ნაშენს ჩარჩოს რიგელი ეწოდება, საყრდენებს კი სვეტები ანუ დგარები.

თავისი მუშაობის პირობების მიხედვით ჩარჩოვანი ხიდის რიგელი ძალიან წააგავს უჭრი კოჭური ხიდის მალის ნაშენს. ამიტომ ჩარჩოვანი ხიდის თვისებები ყველაზე უფრო თვალსაჩინო ხდება უჭრი კოჭური ხიდის თვისებებთან შედარების საფუძველზე. განვიხილოთ ეს თვისებები (ნახ. 87).



ნახ. 87. ჩარჩოვანი და უჭრი კოჭური ხიდების შედარებითი სქემები:
ა—ჩარჩოვანი ხიდი; ბ—უჭრი კოჭური ხიდი.

ჩარჩოვანი ხიდის რიგელში მღუნავი მომენტების განაწილება დაახლოებით ისეთივეა, როგორც უჭრი კოჭის მალის ნაშენში. განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ დგართან ხისტად შეერთების გამო იზრდება ჩარჩოს რიგელის საყრდენი კვეთის ჩამაგრების ხარისხი და ამიტომ საყრდენი მომენტები ჩარჩოს რიგელში ცოტათი მეტია, ვიდრე უჭრ კოჭში (სვეტის სიხისტე, როგორც წესი, გაცილებით ნაკლებია რიგელის სიხისტეზე, ამიტომ მისი გავლენა საყრდენი მომენტის სიდიდეზე მცირეა). საყრდენი მომენტის გაზრდა თავის მხრივ იწვევს მალის მომენტების შემცირებას—ჩარჩოში ისინი ცოტათი ნაკლებია, ვიდრე უჭრ კოჭში. მომენტების ასეთი გადანაწილება აუმჯობესებს რიგელის მუშაობის პირობებს და მასალების ეკონომიას იძლევა. ერთი და იგივე მალებისა და დატვირთვის დროს რკინაბეტონის მოცულობა ჩარჩოს რიგელში ცოტათი ნაკლებია, ვიდრე უჭრი ხიდის მალის ნაშენში; ჩვეულებ-

რივ პირობებში განსხვავება 10%-ს არ აღემატება. ამავე მიზეზების გამო ჩარჩოვანი ხიდის მალის ნაშენის სამშენებლო სიმაღლე შეიძლება ცოტათი ნაკლები იყოს, ვიდრე უჭრი ხიდის მალის ნაშენისა.

გადავიდეთ ახლა ბურჯების შედარებაზე. ჩარჩოს დგარები რკინაბეტონისაგან სრულდება და ამიტომ მათი მოცულობა გაცილებით უფრო მცირეა, ვიდრე უჭრი ხიდების მასიური ბურჯებისა. მაგრამ ცხადია, რომ მოცულობის შემცირება თავისთავად არ შეიძლება იყოს ეკონომიურობის მაჩვენებელი: ჩარჩოს დგარები გაცილებით მეტ არმატურას და უფრო რთულ ქარგილებს მოითხოვს, ვიდრე კოჭური ხიდების ბურჯები; უფრო რთულია დაბეტონების პროცესი. ამიტომ საბოლოო ჯამში ეკონომიური მაჩვენებლებით ჩარჩოვანი ხიდი დიდად არ განსხვავდება უჭრი კოჭური ხიდისაგან. მხოლოდ განსაკუთრებულ პირობებში გამოდის ის კოჭურ ხიდზე საგრძნობლად იაფი.

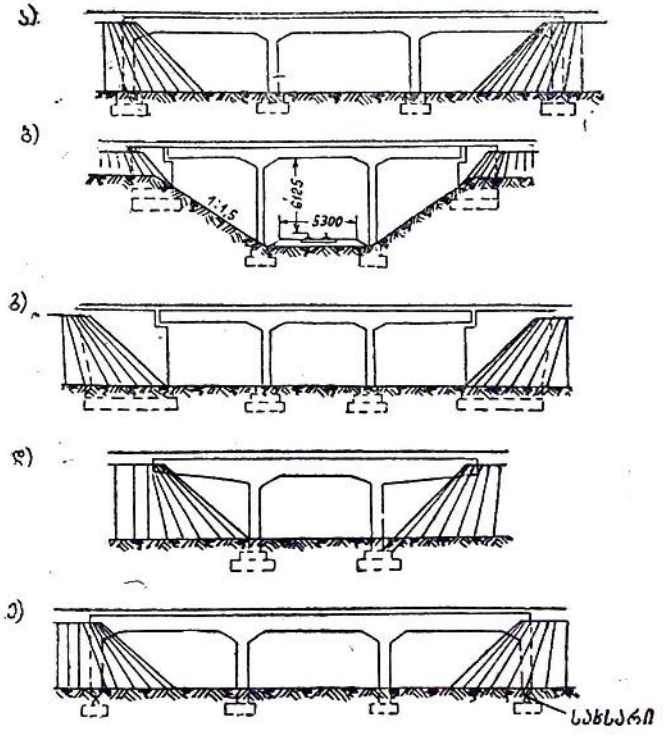
ამგვარად, ჩარჩოვანი ხიდების გამოყენება უმეტეს შემთხვევებში ეკონომიური უპირატესობებით ვერ აიხსნება. გადამწყვეტი აქ სხვა ფაქტორია— ბურჯების გაბარიტული ზომების სიმცირე. ეს უპირატესობა განსაკუთრებით საგრძნობია გზამტარებისა და ესტაკადებისათვის. მართლაც, გზამტარებზე საყრდენების მცირე სისქე აუმჯობესებს გზის ხილვადობას და ზრდის თავისუფალ არეს ხიდის ქვეშ. ასეთივე მდგომარეობა გვაქვს ესტაკადებში, სადაც ნაგებობის ქვეშ ადგილის მოგებას დიდი მნიშვნელობა აქვს. ამგვარად, ჩარჩოვანი ხიდების გამოყენების ძირითადი სფეროა გზამტარები და ესტაკადები. მდინარეებზე ჩარჩოვანი ხიდის გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის: ვიწრო დგარები ადვილად დაზიანდება ყინულისა და მოცურავე საგნების დარტყმებისაგან. ამიტომ მდინარეებზე ჩარჩოვანი ხიდები თითქმის არ იხმარება, მხოლოდ ზოგჯერ შეგხვდებით ხიდს, რომელსაც ჩვეულებრივი ტიპის ბურჯებზე წყლის დონის ზევით ჩარჩოვანი ზედნაშენი აქვს.

აღსანიშნავია, რომ ჩარჩო, როგორც სტატიკურად ურკვევი სისტემა, ცუდად განიცდის საყრდენების არათანაბარ ჯდომას, ამიტომ ჩარჩოვანი ხიდები უნდა ვიხმაროთ მხოლოდ საიმედო ფუძის დროს, კარგი გრუნტების პირობებში; რაც შეეხება ჩარჩოვანი ხიდების მალებს, მათი სიდიდე რიგელის მუშაობის პირობებით განისაზღვრება, ეს უკანასკნელნი კი, როგორც აღვნიშნეთ, უჭრი კოჭის მუშაობის პირობების მსგავსია. ამიტომ პრაქტიკაში ჩარჩოვანი ხიდების მალი აიღება იმავე ფარგლებში, როგორც უჭრი კოჭური ხიდებისა: 15-დან 35—40 მ-მდე.

განვიხილოთ ჩარჩოვანი გზამტარების ძირითადი სქემები. ისინი მოყვანილია ნახ. 88-ზე. ძირითადი განსხვავება ამ სქემებში სანაპირო საყრდენების მოწყობაშია. ჩარჩოსათვის ყველაზე უფრო დამახასიათებელია ყველა საყრდენის რკინაბეტონის დგარების სახით განხორციელება (ნახ. 88,ა). ასეთი კონსტრუქცია ხასიათდება რკინაბეტონის მინიმალური მოცულობით, ამიტომ მას დიდი გამოყენება აქვს. ამ სქემის სუსტი ადგილია ხიდის მისასვლელ ყრილთან შეერთების კვანძი: მიწაყრილს მთლიანი მისაბრჯენი კედელი არა აქვს და ამიტომ მოძრავი შემადგენლობის ზეგავლენის დროს მოსალოდნელია კონუსის ფერდობის ჩამოწოლა და ჩაჯდომა. შეერთების გასაუმჯობესებლად ჩარჩოს განაპირა საყრდენის დგარებს შორის ხიდის განივკვეთში კეთდება რკინაბეტონის მისაბრჯენი ფარი. ხელსაყრელია აგრეთვე ყრილის კონუსის ქანობის გადიდება 1 : 1,5-მდე.

ჩარჩოვანი ხიდის სქემის ამორჩევის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ერთი გარემოება. ჩარჩო, როგორც სტატიკურად ურკვევი სისტემა, განიცდის

ტემპერატურის ზეგავლენას: ტემპერატურის ცვალებადობის დროს რიგელის სიგრძე იცვლება, დგარები და რიგელი დეფორმირდება და მათში დამატებითი მომენტები წარმოიშვება. ნახ. 89-ზე ნაჩვენებია ჩარჩოს დეფორმაცია და ღუნავ მომენტთა ეპიურა, გამოწვეული ტემპერატურის მომატებით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მომენტები წარმოიშვება განაპირა დგარებში. ადვილი წარმოსადგენია, რომ რაც უფრო დაბალია განაპირა დგარი, მით მეტია მისი სიხისტე და მით უფრო მეტი იქნება მასში დამატებითი ტემპერატურული მომენტების სიდიდე. ამიტომ თუ განაპირა დგარები მოკლე გამოდის. მათი განხორციელება ძნელია და განაპირა საყრდენები ჩვეულებრივი მასიური

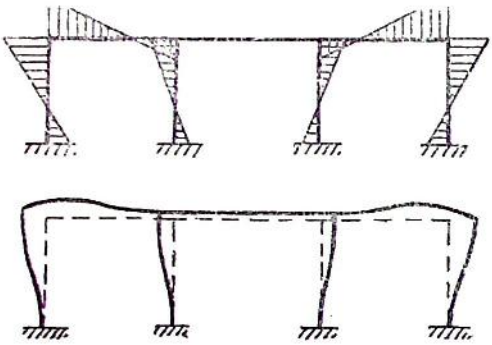


ნახ. 88. ჩარჩოვანი გზამტარების სქემები.

ბურჯების სახით კეთდება. ასეთი სახის ჩარჩოვანი ხიდები იხმარება იმ გზამტარებისათვის, რომლებიც მიწაჭრილში გამავალ გზას ჰკვეთს (ნახ. 88,ბ). აღსანიშნავია, რომ ზოგჯერ მასიური ბურჯები იხმარება სხვა შემთხვევებშიც, რკინაბეტონის დგარების ნაცვლად (ნახ. 88,გ). ეს გადაწყვეტა ბეტონის დიდ მოცულობას იძლევა და ხელსაყრელი არ არის. ავტოგზის ხიდებისათვის შეიძლება სანაპირო ბურჯები სულ არ მოვაწყოთ და ხიდის ყრილთან შეუღლება განვახორციელოთ თავისუფალი კონსოლების საშუალებით (ნახ. 88,დ).

ჩარჩოვანი ხიდების დგარები უმეტეს შემთხვევაში ხისტადაა საძირკველში ჩამაგრებული. მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევაში იხმარება დგარის საძირკველზე სახსროვანი დაყრდნობა. სახსრის მოწყობის დროს საძირკველს ჩამაგ-

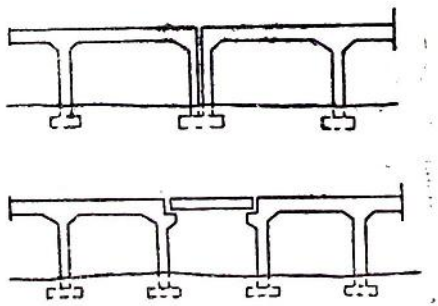
რების მომენტი აღარ გადაეცემა და მისი ზომები ნაკლები გამოდის, თვით ჩარჩოს ელემენტებშიც მცირდება დამატებითი ტემპერატურული მომენტები. ამიტომ დაბალ ჩარჩოებში, სადაც განაპირა დგარებში ტემპერატურული გავლენა დიდია, ეს უკანასკნელნი შეიძლება სახსროვანი დაყრდნობით გაკეთდეს (ნახ. 88,ე). მიუხედავად მომენტების შემცირებისა, ასეთი გადაწყვეტა მიზანშეწონილი არ არის: სახსარი ართულებს კონსტრუქციას, აუარესებს ხიდის საექსპლოატაციო თვისებებს; თვით სახსარი მოთავსებულია ყრილის ქვეშ, მისი მეთვალყურეობა და ტენისაგან დაცვა ძნელია. ამიტომ განაპირა დგარებში სახსრების მოწყობას უნდა ვერიდოთ და ისინი მხოლოდ უკიდურეს შემთხვევებში გამოვიყენოთ.



ნახ. 89. ჩარჩოვანი ხიდის დეფორმაცია და მღუნავი მომენტების ეპიურა ტემპერატურის ზრდის დროს.

სახსრები ზოგჯერ შუალედ დგარებშიც იხმარება: დგარები სახსროვნად უერთდება როგორც რიგელს, ისე საძირკველს. ასეთი გადაწყვეტა იმ შემთხვევაში უნდა ვიხმაროთ, როდესაც გზამტარის ქვეშ საჭიროა რაც შეიძლება მეტი ადგილის მოგება: ორსახსრიანი დგარები მხოლოდ კუმშვაზე მუშაობს და მათი ზომები შეიძლება მინიმუმამდე დავიყვანოთ. სახსრების კონსტრუქცია შემდეგ პარაგრაფშია მოყვანილი.

ე ს ტ ა კ ა დ ე ბ ი მრავალმალიან ჩარჩოვან ხიდებს წარმოადგენს. მათი სქემები ძირითადად ისეთივეა, როგორც ზემოთ იყო გზამტარებისათვის აღწერილი. თავისებურება მხოლოდ იმაში მდგომარეობს, რომ ხიდის დიდი სიგრძის დროს საჭირო ხდება ტემპერატურული ნაკერების მოწყობა (გაფართოების ნაკერები). მათი დანიშნულებაა დამატებითი ტემპერატურული მომენტების შემცირება და ბზარების თავიდან აცილება. მანძილი ტემპერატურულ ნაკერებს შორის არ უნდა აღემატებოდეს 40 მ-ს. თვით ნაკერების განხორციელება სხვადასხვა სახით შეიძლება. ნახ. 90,ა გვიჩვენებს წყვილი დგარების საშუალებით



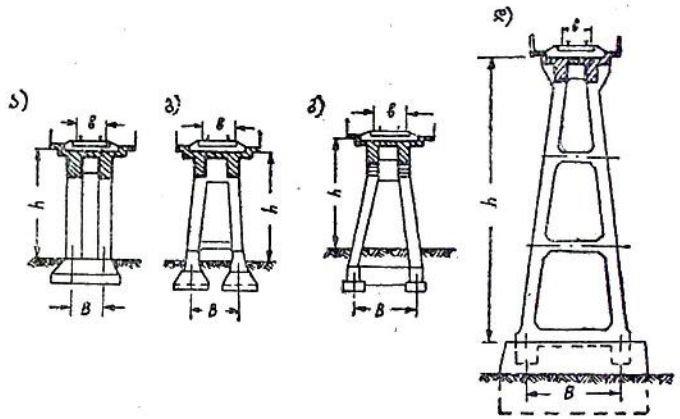
ნახ. 90. ტემპერატურული ნაკერების სქემები.

განხორციელებულ ნაკერს; დგარებს საერთო საძირკველი აქვს. ნაკერი ხიდს ჰყოფს ორ დამოუკიდებელ ჩარჩოდ. ჩარჩოების ბოლოების ტემპერატურული გადაადგილება ხდება წყვილი დგარების გაღუნვის ხარჯზე. ნაკერის მეორე კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 90,ბ-ზე: იმ მალში, სადაც ტემპერატურული

ნაკერი უნდა იყოს, კეთდება შეკიდული მალის ნაშენი, რომელიც თავისუფლად ეყრდნობა ჩარჩოების კონსოლებს. ტემპერატურული გადაადგილება ხორციელდება ამ მალის ნაშენის მოძრავი საყრდენი ნაწილის საშუალებით.

ჩარჩოვანი ხიდების მალებად დაყოფა ხდება იმავე წესით, როგორც უჭრი კოჭოვანი მალის ნაშენებისთვის. სამმალიან სქემაში შეიძლება ავიღოთ თანაბარი მალები, ან უმჯობესია გავზარდოთ შუა მალის სიდიდე განაპირა მალების ხარჯზე; მალის მომენტების გათანაბრებისათვის განაპირა მალების სიდიდე შუა მალის 0,7—0,8-ს ტოლი უნდა იყოს. მრავალმალიან ხიდებში მეტწილად თანაბარ მალებს ხმარობენ.

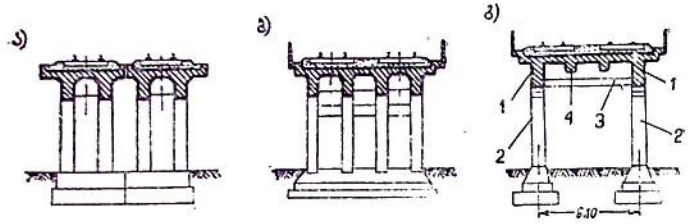
განვიხილოთ ჩარჩოვანი ხიდების განივკვეთის სქემები. ერთლიანდაგიან ხიდებში ჩარჩოს ყოველი საყრდენი, ხიდის განივკვეთში, ორი დგარისაგან



ნახ. 91. ერთლიანდაგიანი ჩარჩოვანი ხიდის განივკვეთის სქემები.

შედგება (ნახ. 91). მცირე სიმაღლის დროს დგარები შვეული კეთდება (ნახ. 91,ა). თუ ხიდის სიმაღლე დიდია, განივი მდგრადობის უზრუნველსაყოფად დგარები დახრილი კეთდება (ნახ. 91, ბ, გ), დახრილობა 1 : 8—1 : 10-ს ფარგლებში აიღება. ასეთი გადაწყვეტა მაშინ იხმარება, თუ ხიდის h სიმაღლე აღემატება რიგელებს შორის b მანძილს 2,5—3-ჯერ. განსაკუთრებით მაღალ საყრდენებში დგარები შეერთებულია ერთმანეთთან დამატებითი განმბრჯენების საშუალებით (იხ. ნახ. 91, დ).

ორლიანდაგიანი ხიდებისათვის შეიძლება რამდენიმე გადაწყვეტა ვიხმაროთ (ნახ. 92). შესაძლებელია გაკეთდეს დამოუკიდებელი კონსტრუქცია ყოველი ლიანდაგის ქვეშ (ნახ. 92,ა), ან განივკვეთი გავაერთიანოთ ერთ მთლიან კონსტრუქციად (ნახ. 92,ბ). ორივე შემთხვევაში მალის ნაშენის ყოველ რიგელს ხიდის განივკვეთში დამოუკიდებელი საყრდენი დგარი აქვს. მესამე შესაძლო გადაწყვეტა ნაჩვენებია ნახ. 92, გ-ზე. აქ ხიდის განივკვეთში კეთდება ორი მთავარი ჩარჩო დამოუკიდებელი რიგელებით 1 და დგარებით 2. ჩარჩოების რიგელებს ეყრდნობა განივი კოჭები 3, ამ უკანასკნელებს კი გრძივი კოჭები 4, რომელთაც საბალასტო გობის ფილა უჭირავთ. ასეთი გადაწყვეტა ნაკლებად ავიწროებს ხიდქვეშა არეს.



ნახ. 92. ორლიანდაგიანი ჩარჩოვანი ხიდის განივკვეთის სქემები.

§ 18. ჩარჩოვანი ხიდების კონსტრუქცია

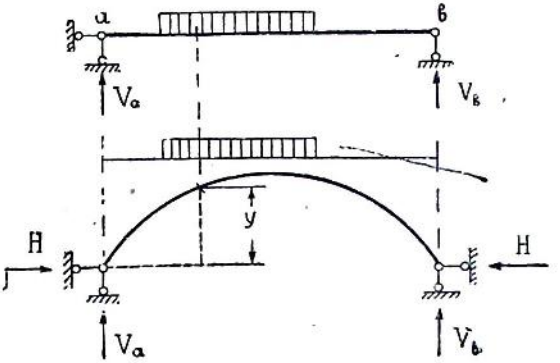
როგორც წინა პარაგრაფში აღვნიშნეთ, ჩარჩოვანი ხიდისათვის დამახასიათებელია რიგელისა და დგარების ხისტი შეერთება. ასეთი კონსტრუქციის ნაკრები სახით განხორციელება ძალიან რთულია, ვინაიდან სამონტაჟო ბლოკების ხისტად შეერთება და გამონოლითება დიდ ტექნიკურ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. ამიტომ ჩარჩოები უმეტესად მონოლითური რკინაბეტონისაგან კეთდება. ნაკრები ჩარჩოები თითქმის არ იხმარება. ქვემოთ განხილულია მონოლითური ჩარჩოების ძირითადი კონსტრუქციები.

ჩარჩოვანი ხიდების საბალასტო ფილის კონსტრუქციაზე არ შეეჩერდებით—ის არაფრით არ განსხვავდება კოჭური ხიდის საბალასტო ფილისაგან. ჩარჩოს რიგელის კონსტრუქცია უჭრი კოჭური მალის ნაშენის მთავარი კოჭის ანალოგიურია. ნახ. 93-ზე მოყვანილია სამმალიანი ჩარჩოვანი გზამტარის კონსტრუქციული ნახაზი. როგორც ვხედავთ, ისევე როგორც უჭრ კოჭს, რიგელს უკეთდება ვუტები. მისი არმირება სავსებით წააგავს უჭრი კოჭის არმირებას. საინტერესოა ჩარჩოს ყრილთან შეერთების კვანძი. აქ რიგელს უკეთდება კონსოლი, რომლის ფარგლებში საბალასტო ფილა დახრილია. ამით მიღწეულია ბალასტის ფენის თანდათანობითი შემცირება და მოძრავი შემადგენლობის თვლების მდოვრე გადასვლა ყრილიდან ხიდზე. წინა პარაგრაფში აღნიშნული იყო, რომ კონუსის მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით ჩარჩოს ბოლოში ზოგჯერ კეთდება ყრილის მისაბრჯენი ფარი. ასეთი კონსტრუქციის დეტალი ნაჩვენებია ნახ. 94-ზე.

ჩარჩოს დგარების კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 95-ზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს, დგარები მართკუთხა კვეთის კეთდება და არმირებულია სწორი ღეროებით. დგარის მუშაობა ძირითადად ხიდის ფასადის სიბრტყეში ხდება, ამიტომ მუშა არმატურა დალაგებულია ხიდის განივად მიმართულ წახნაგებში. კვეთი მეტწილად სიმეტრიულად არმირდება. დგარის მუშა არმატურა შედის რიგელის ტანში თითქმის მთელ სიმაღლეზე, რიგელის ვუტის ქვედა არმატურა კი დგარის ტანს კვეთს (ნახ. 93); ამით უზრუნველყოფილია რიგელისა და სვეტის შეერთების კვანძის სიხისტე. ჩარჩოს დგარის საძირკველი შედგება ბეტონის ბალიშისაგან, რომელსაც რკინაბეტონის ქუსლი ეყრდნობა. დგარის მუშა არმატურა უნდა ჩამაგრდეს ქუსლში. ამისათვის ქუსლის დაბეტონების დროს მისი ზედაპირიდან ამოდის არმატურის შვერილები, რომლებსაც შემდგომში მიებმება დგარის მუშა არმატურა. ქუსლის ფუძე არმირებულია არმატურის ბადით. კონსტრუქციული მოსაზრებებით ასეთი ბადე კეთდება ქუსლის ზედა ზონაშიც.

ჰური ხიდებისა. ეს გარემოება მალის გაზრდის საშუალებას გვაძლევს: თაღოვანი ხიდები შეიძლება გაცილებით მეტი სიდიდის მალის გაკეთდეს, ვიდრე კოჭური ხიდები.

ამგვარად, განმბრჯენის არსებობა აუმჯობესებს თაღოვანი ხიდის მალის ნაშენის მუშაობის პირობებს. ბურჯების მხრივ შებრუნებული სურათი გვაქვს:



ნახ. 99. კოჭური და განმბრჯენიანი სისტემების მუშაობის შედარებითი სქემა.

კოჭური ხიდის ბურჯები მალის ნაშენებიდან ძირითადად შვეულ დაწოლას განიცდის; თარაზული ძალების (ქარი, დამუხრუჭების ძალა და სხვ.) მოქმედება აქ შედარებით უმნიშვნელოა. ამისგან განსხვავებით თაღოვანი ხიდის ბურჯებზე მნიშვნელოვანი თარაზული ძალები—მალის ნაშენების განმბრჯენი მოქმედებს. ამიტომ მღუნავი მომენტები ბურჯის კვეთებში აქ გაცილებით მეტია და ბურჯის მუშაობის პირობები უარესდება. ამგვარად, ერთსა და იმავე პირობებში თაღოვანი ხიდების ბურჯები გაცილებით უფრო მეტი მოცულობისაა და უფრო მძიმეა, ვიდრე კოჭური ხიდების ბურჯები.

აღნიშნული თვისებების შედარება საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ თაღოვანი ხიდების გამოყენების მიზანშეწონილი სფერო. მცირე მალების შემთხვევაში მალის ნაშენების მოცულობის შემცირება უმნიშვნელოა. მეორეს მხრივ, თაღოვანი მალის ნაშენების კონსტრუქცია, ქარგილები და დაბეტონება უფრო რთულია, ვიდრე კოჭური მალის ნაშენებისა; თუ ამას დავუმატებთ ბურჯების მოცულობის გაზრდას, ადვილად გასაგებია, რომ მცირე მალების დროს თაღოვანი ხიდების გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის. დიდი მალების დროს მალის ნაშენის შემსუბუქება და ეკონომიურობა გადამწყვეტი ფაქტორი ხდება, ამიტომ აქ ყველა უპირატესობა თაღოვანი ხიდების მხარეზეა. ამგვარად, თაღოვანი ხიდების გამოყენების ძირითად სფეროს საშუალო და დიდი მალები შეადგენს—30 მ-ს ზევით. ყველაზე უფრო გავრცელებულია ზესავლელი თაღოვანი ხიდები 40—80 მ მალების დროს. დღესდღეობით განხორციელებული თაღოვანი რკინაბეტონის ხიდების მალი 250—280 მ-ს აღწევს.

თაღოვანი ხიდების გამოყენების დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ გეოლოგიური პირობები. რაც უფრო სუსტია ბურჯების ფუძის გრუნტები, მით უფრო ძნელდება თაღოვანი ხიდების ბურჯების მოწყობა. გარდა ამისა,

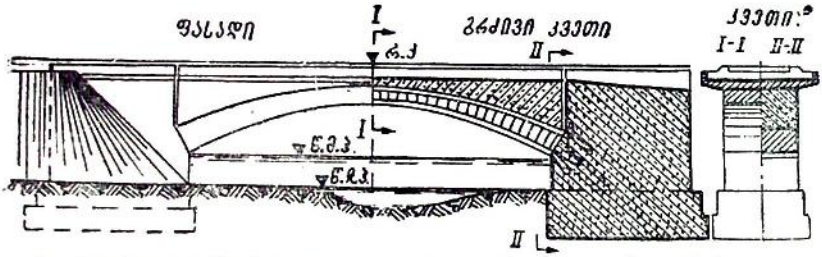
ზესავლელი ორაღოვანი ხიდები ჩვეულებრივ კეთდება უსახსრო თაღებით ან კამარებით; ასეთი კონსტრუქცია სტატიკურად ურკვევია და ძალიან ცუდად განიცდის საყრდენების არათანაბარ დაჯდომას. ამიტომ ზესავლელი თაღოვანი ხიდები უნდა ვიხმაროთ მხოლოდ მტკიცე გრუნტებისა და საიმედო ფუძეების დროს.

გარდა ზემოთ მოყვანილისა, ზესავლელი თაღოვანი ხიდების ერთ-ერთ დადებით მხარეს წარმოადგენს კარგი გარეგნობა. ამიტომ რკინაბეტონის ხიდების ასეთი სისტემა ხშირად გამოიყენება ქალაქის ხიდებისათვის.

როგორც უარყოფითი მხარე, შეიძლება აღინიშნოს ის გარემოება, რომ თაღოვანი ხიდები საკმარისად დიდ სამშენებლო სიმაღლეს მოითხოვს. მდინარის დაბალი ნაპირების შემთხვევაში მათი გამოყენება უფრო ძნელია.

§ 20. მონოლითური რკინაბეტონის ზესავლელი თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენების კონსტრუქცია

წიგნის პირველ ნაწილში განხილული იყო ქვის ხიდების კონსტრუქცია. როგორც ვიცით, უმარტივესი სახის ქვის ხიდს მთლიანი მასიური თაღზედა ნაშენი აქვს. ადვილი წარმოსადგენია, რომ ამგვარი გადაწყვეტის გამოყენება



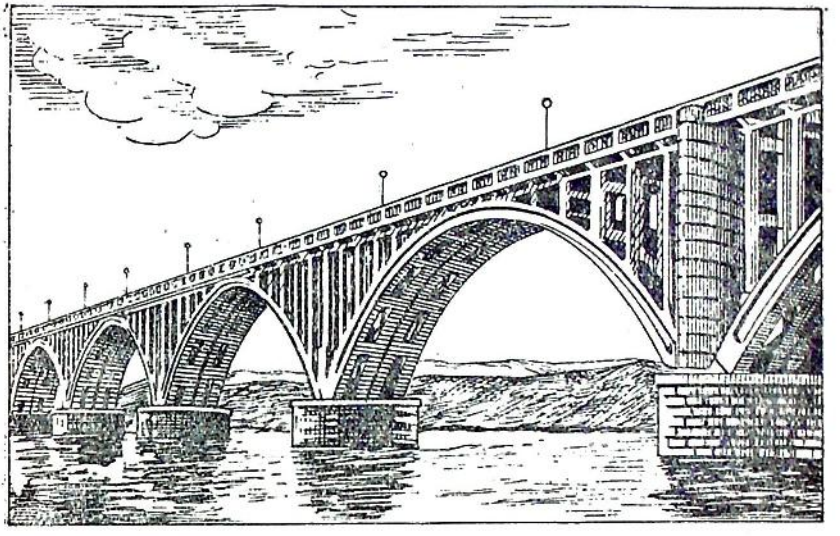
ნახ. 100. რკინაბეტონის ზესავლელი თაღოვანი ხიდი მთლიანი თაღზედა ნაშენით.

შესაძლებელია რკინაბეტონის ზესავლელი ხიდისთვისაც: ქვის თაღი საკმარისია შევცვალოთ რკინაბეტონის თაღით და ზედ ჩვეულებრივი მასიური ზედნაშენი მოვაწყოთ; ზედა ნაწილში კეთდება საბალასტო გობის ფილა (ნახ. 100). მიუხედავად სიმარტივისა, ასეთი კონსტრუქცია მეტად მძიმე გადაწყვეტას იძლევა და დამახასიათებელია ქვისა და ბეტონის ხიდებისათვის. რკინაბეტონის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ გაცილებით უფრო მსუბუქი კონსტრუქცია, რისთვისაც საჭიროა გამჭოლი ზედნაშენის გამოყენება. ამიტომ რკინაბეტონის თაღოვანი ზესავლელი ხიდები თითქმის ყოველთვის გ ა მ ჭ ო ლ ი თ ა ღ ზ ე დ ა ნ ა შ ე ნ ი თ კეთდება. ასეთი ხიდის საერთო ხედი მოყვანილია ნახ. 101-ზე.

თანამედროვე ხიდმშენებლობაში იხმარება ზესავლელი თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენების სხვადასხვა კონსტრუქცია. მათგან ყველაზე უფრო გავრცელებულია ორი სახეობა: 1. მალის ნაშენი მთლიანი თაღით და გამჭოლი ზედნაშენით; 2. მალის ნაშენი ცალკეული კამარებით და გამჭოლი ზედნაშენით. აქ ჩვენ ამ ორი ტიპის მალის ნაშენების კონსტრუქციას შევეხებით. დანარჩენი სახეობანი, რომლებიც შედარებით იშვიათად იხმარება, განხილული იქნება § 21-ში.

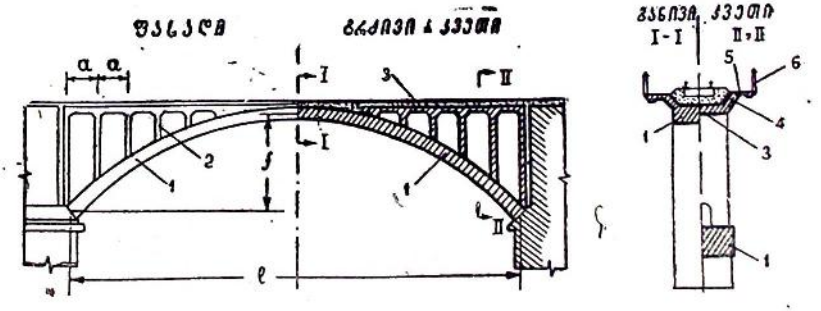
მ ა ლ ი ს ნ ა შ ე ნ ი მ თ ლ ი ა ნ ი თ ა ღ ი თ დ ა გ ა მ ჭ ო ლ ი ზ ე დ ნ ა შ ე ნ ი თ ნაჩვენებია ნახ. 102-ზე. მალის ნაშენის ძირითადი მზიდი კონსტრუქ-

ციაა რკინაბეტონის თაღი 1. თაღის ზევით მოთავსებულ ნაწილს ზედნაშენი ან თაღზედა ნაშენი ეწოდება; იგი გამჭოლი კონსტრუქციაა და შედგება შვეული კედლებისაგან 2 და თარაზული ფილისაგან 3. ეს ელემენტები ხისტადაა შეერთებული ერთმანეთთან და სტატიკური მუშაობის თვალსაზრისით ჩარჩოს წარმოადგენს. ამიტომ ზედნაშენს ხშირად თაღზედა



ნახ. 101. ზესავლელი თაღოვანი ხიდი გამჭოლი ზედნაშენით.

ჩარჩოსაც უწოდებენ. ამ თვალსაზრისით თაღზედა კედლები ჩარჩოს დგარებს წარმოადგენს, სავალი ნაწილის ფილა კი—ჩარჩოს რიგელს. ფილას უკეთდება ბორტის კედლები 4, რომლებიც საბალასტო გობს ქმნიან, და ტროტუარის კონსოლები 5. ამ უკანასკნელთ მოაჯირი 6 ემაგრება.



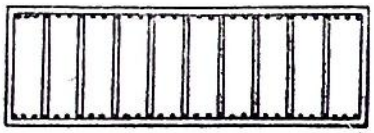
ნახ. 102. მთლიანთაღიანი ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია.

განვიხილოთ უფრო დაწვრილებით მალის ნაშენის ელემენტების დანიშნულება, მუშაობის პირობები და კონსტრუქცია.

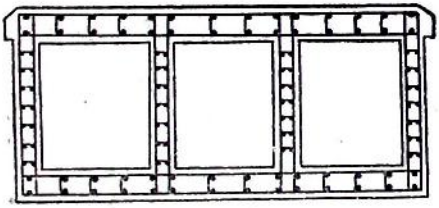
რკინაბეტონის თაღი, როგორც ვთქვით, მალის ნაშენის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციაა. იგი ეყრდნობა ხიდის ბურჯებს და მუშაობს ექსცენ-

ტრულ კუმშვაზე ხიდის ფასადის სიბრტყეში. ქვის ხიდების კურსიდან ვიცით, რომ თაღის დამახასიათებელ ძირითად გეომეტრიულ სიდიდეს წარმოადგენს მისი აწეულობა f/l (თაღის ისრის შეფარდება მის საანგარიშო მალთან); რაც უფრო ნაკლებია თაღის აწეულობა, მით მეტია თაღის განმბრჯენი და მით უფრო უარეს პირობებში მუშაობს როგორც თაღი, ისე ხიდის ბურჯები. რკინაბეტონის თაღების აწეულობის დასაშვები სიდიდე მოყვანილი იქნება § 39-ში. მალის ნაშენის თაღები უმეტეს შემთხვევაში უსახსრო კეთდება. ასეთი კონსტრუქცია ყველაზე ადვილად ხორციელდება და ექსპლოატაციის თვალსაზრისით საუკეთესოა; მხოლოდ ზოგიერთ იშვიათ შემთხვევაში, სუსტი გრუნტების დროს ბურჯების არათანაბარი დაჯდომის გავლენის შესამცირებლად, კეთდება ორსახსრიანი ან სამსახსრიანი თაღები. სახსრებიან ხიდზე მოძრავი შემადგენლობის გავლის დროს წარმოიშვება ბიძგები და დარტყმები, თვით სახსრებიც კონსტრუქციის სუსტ ადგილს წარმოადგენს; ამიტომ მათ მოწყობას უნდა ვერიდოთ. ხანდახან სუსტი გრუნტების დროს მიზანშეწონილია დროებითი სახსრების მოწყობა: ხიდის მშენებლობის პერიოდში და ექსპლოატაციის პირველ ხანებში თაღი სახსროვანი კონსტრუქციის სრულდება; ბურჯების ფუძის დაჯდომის დამთავრების შემდეგ სახსრები უქმდება, კვეთები გამონოლითდება და შემდგომში თაღი მუშაობს როგორც უსახსრო.

ა)



ბ)



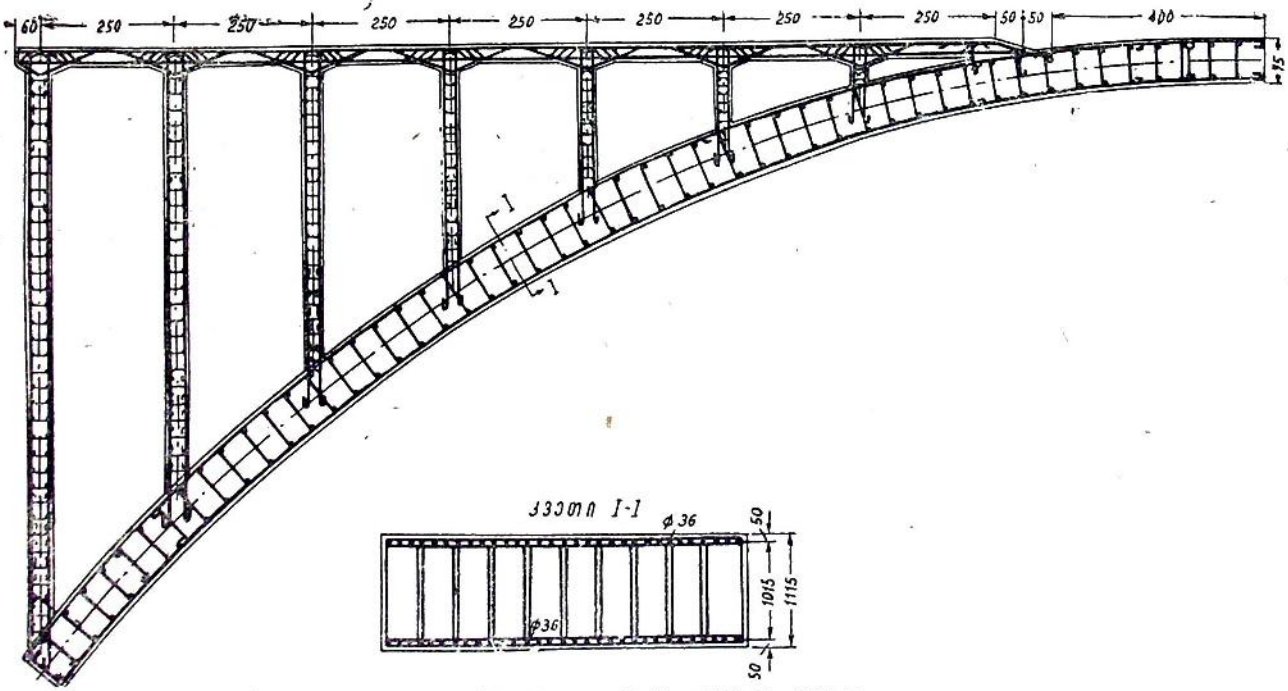
ნახ. 103. რკინაბეტონის თაღების განივკვეთები.

თაღების სისქე დამოკიდებულია მოქმედი ძალვების სიდიდეზე. უსახსრო თაღებში ყველაზე დიდი მომენტები და ნორმალური ძალები ქუსლის უბანში ვითარდება, ამიტომ მონოლითური თაღის სისქე ჩვეულებრივ მატულობს კლიტიდან ქუსლისაკენ (ნახ. 102). თაღის განივკვეთი ჩვეულებრივ მართკუთხა ფორმის კეთდება (ნახ. 103, ა). მხოლოდ დიდი მალების დროს იხმარება ღრუტანიანი, კოლოფისებური კვეთის თაღები (ნახ. 103, ბ). ასეთი კონსტრუქციის მიზანია ბეტონის მოცულობისა და თაღის წონის შემცირება.

თაღების ძირითად მუშა არმატურას წარმოადგენს გრძივი ღეროები, რომლებიც თაღის ზედა და ქვედა შრეშია მოთავსებული (მალის ნაშენზე დროებითი დატვირთვის სხვადასხვა მდგომარეობის დროს მღუნავი მომენტები თაღის კვეთებში სხვადასხვა ნიშნის გამოდის). სიმარტივისათვის არმატურა ჩვეულებრივ სიმეტრიული კეთდება. მუშა არმატურის ღეროები შეკრულია საკიდებით და განმანაწილებელი არმატურით (ნახ. 103).

თაღზედა ჩარჩოს დგარები, როგორც ვთქვით, მთლიან კედლებს წარმოადგენს. განივკვეთში მათი ფორმა მართკუთხაა. კედლების სიგანე ცოტათი ნაკლებია თაღის სრულ სიგანეზე, რაც შესაძლებლობას გვაძლევს კედლების ჭარგილები თაღის ზედაპირზე დავაყრდნოთ.

ხიდის ექსპლოატაციის დროს საჭიროა თაღის ზედაპირზე გავლა კონ-

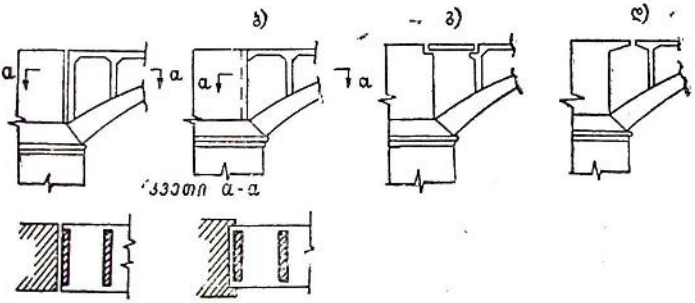


ნახ. 104. თაღოვანი მილის ნაშენის არმირება.

სტრუქციის დათვალიერების მიზნით; ამისათვის კედლებში დატოვებულია ხვრელები (ნახ. 102). კედლები, როგორც ჩარჩოს დგარები, მუშაობს ექსცენტრულ კუმშვაზე ხიდის ფასადის სიბრტყეში, ამიტომ მათი მუშა არმატურა წარმოადგენს კედლის განაპირა შრეში მოთავსებულ შეეულ ღეროებს. არმატურა აქაც სიმეტრიული კეთდება. მუშა არმატურა შეკრულია საკიდებით და განმანაწილებელი თარაზული ღეროებით (ნახ. 104). კედლების მუშა არმატურა ჩამაგრებული უნდა იყოს თაღში, ამისათვის თაღის დაბეტონების დროს კედლების ადგილზე კეთდება არმატურის შვერილები, რომლებსაც შემდგომში უერთდება კედლების არმატურა. კედლის ზევითა ბოლოში ეს არმატურა უშუალოდ შედის სავალი ნაწილის ფილაში (ნახ. 104).

სავალი ნაწილის ფილა მუშაობს როგორც თაღზედა ჩარჩოს რიგელი, ამიტომ მას ხშირად ფილოვან რიგელს უწოდებენ. იგი მუშაობს ღუნვაზე ხიდის ფასადის სიბრტყეში. ფილის საანგარიშო მალი უდრის მანძილს ჩარჩოს დგარების ღერძებს შორის. ამ a მანძილს თაღზედა ჩარჩოს პანელი ეწოდება. ფილა არმირდება როგორც უჯრი კოჭური ფილოვანი მალის ნაშენი (ნახ. 104). ბორტის კედლების და ტროტუარის კონსოლების კონსტრუქცია ჩვეულებრივია. კლიტის ფარგლებში, სადაც თაღი სავალი ნაწილის ფილის სიმაღლეზე ამოდის, ფილა საჭირო აღარ არის: აქ ბორტის კედლები უშუალოდ თაღს უკეთდება და ბალასტის ფენაც თაღის ზედაპირზეა მოწყობილი.

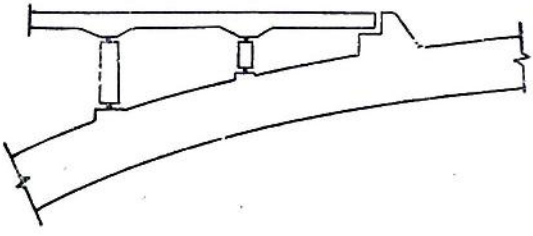
ქვის ხიდების კურსში ნათქვამი იყო, რომ თაღზედა ნაშენის ბურჯებთან ხისტად შეერთება არ შეიძლება: ტემპერატურული დეფორმაციების ჟროს ზედნაშენში წარმოიშვება მნიშვნელოვანი დამატებითი ძაბვები, რომლებიც



ნახ. 105. სადეფორმაციო ნაკერების ტიპები.

ბზარებს გამოიწვევს. ამიტომ ქვის თაღების ზედნაშენში, ბურჯებთან შეერთების ადგილზე ვაკეთებდით შეეულ ტემპერატურულ ნაკერებს. ასეთი მოვლენები რკინაბეტონის ხიდებშიც გვაქვს, ამიტომ მათ ზედნაშენშიც კეთდება ტემპერატურული ანუ სადეფორმაციო ნაკერები. მათი კონსტრუქცია სხვადასხვაგვარია (ნახ. 105). ნაკერი შეიძლება განვახორციელოთ „დრეკადი კედლის“ საშუალებით (ნახ. 102; 105, ა); აქ თაღზედა ჩარჩოს განაპირა დგარსა და ბურჯის წინა წახნაგს შორის დატოვებულია გამჭოლი ღრიჭო მთელ სიმაღლეზე. ჩარჩოს ზედა კვანძის ტემპერატურული გადაადგილება ხდება მაღალი კედლის მცირეოდენი დრეკადი გადახრის საშუალებით. ხიდის ფასადზე ღრიჭო არასასიამოვნო შთაბეჭდილებას ტოვებს, ამიტომ იგი შეიძ-

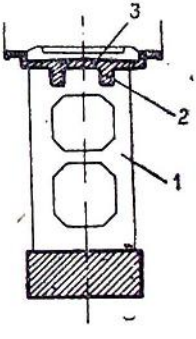
ლება დაიფაროს ბურჯის ტანის დეკორატიული შეერილებით (ნახ. 105, ბ). მეორე გადაწყვეტა შემდეგნაირია: თაღზედა ნაშენის განაპირა პანელი კეთდება შეკიდული მალის სახით (ნახ. 105, გ). იგი ერთი ბოლოთი ეყრდნობა ბურჯის ტანს, მეორე ბოლოთი კი რკინაბეტონის კონსოლს. ერთ-ერთი დაყრდნობა მოძრავი—სახსროვანია, რაც თარაზული გადაადგილების საშუალებას ქმნის. მესამე ტიპის ნაკერი შეიძლება განხორციელდეს რკინაბეტონის კონ-



ნახ. 106. სადეფორმაციო ნაკერი კლიტის უბანში.

სოლების სახით (ნახ. 105, დ); ეს უკანასკნელი გადაწყვეტა ძირითადად ავტოგზის ხიდებში იხმარება.

ამგვარად, სადეფორმაციო ნაკერი თაღზედა ნაშენის დეფორმაციას აადვილებს. მიუხედავად ამისა, თაღის ჩაღუნვის დროს ზედნაშენში მაინც მნიშვნელოვანი დამატებითი ძალვები წარმოიშვება. ამიტომ ხშირად ზედნაშენში დამატებითი სადეფორმაციო ნაკერები კეთდება. ამისათვის ასეთი კონსტრუქცია იხმარება (ნახ. 106): ზედნაშენის ფილა კლიტესთან თაღს თავისუფლად ეყრდნობა, უახლოესი მოკლე დგარები კი სახსროვანი სრულდება. სახსრები უმარტივესი კონსტრუქციის კეთდება, როგორც ეს ჩარჩოვანი ხიდების დგარებისთვის იყო მოყვანილი (იხ. § 18).



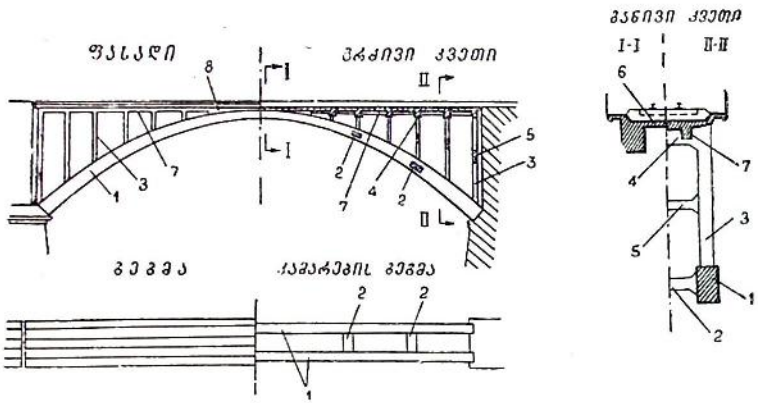
ნახ. 107. ზესავლელი თაღოვანი ხიდი მთლიანი თაღით და წიბოვანი რიგელით.

თაღზედა ნაშენის ზემოაღწერილი კონსტრუქცია განსაკუთრებით მარტივია. მისი გამოყენება ჩარჩოს პანელის სიდიდეზეა დამოკიდებული. პანელის დიდი სიგრძის დროს ფილოვანი რიგელის სისქე დიდი გამოდის და იგი არაა ეკონომიური. ამიტომ ფილოვანი რიგელი იხმარება ისეთ ხიდებში, სადაც პანელის სიგრძე a არ აღემატება 3—4 მ-ს. მეტი სიდიდის პანელის დროს უფრო ხელსაყრელია წიბოვანი რიგელის გამოყენება. მისი კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 107-ზე. აქ თაღზედა კედლებს 1 ეყრდნობა გრძივი კოჭები ანუ წიბოები 2. ისინი წარმოადგენენ რიგელის ძირითად მზიდ კონსტრუქციას და მუშაობენ ღუნვაზე ხიდის ფასადის სიბრტყეში. კოჭებს ეყრდნობა სავალი ნაწილის ფილა 3, რომელიც საბალასტო გობს ქმნის და მუშაობს ღუნვაზე ხიდის განივად. თაღზედა კედლებში, გამსუბუქებისა და მოცულობის შემცირების მიზნით, დატოვებულია ღიობები.

ხიდები მთლიანი თაღით და წიბოვანი რიგელით გარდამავალი კონსტრუქციაა. მის შემდგომ განვითარებას წარმოადგენს ზესავლელი თაღოვანი ხიდის მეორე ტიპი, რომელშიც მთლიანი თაღი ცალკეული კამარებითაა შეცვლილი. გადავდივართ მის შესწავლაზე.

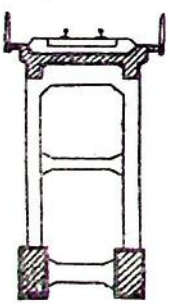
მალის ნაშენი ცალკეული კამარებით და გამჭოლი ზედნაშენით[1] უფრო რთული აღნაგობისაა. მისი კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 108-ზე.

მალის ნაშენის ძირითად მზიდ ელემენტებს წარმოადგენს ცალკე კამარები 1. ერთლიანდაგიან რკინიგზის ხიდში ჩვეულებრივ ორი კამარა კეთდება. ისინი დაკავშირებულია ერთმანეთთან განმბრჯენებით 2. ზედნაშენის შვეული ელემენტები მთლიანი კედლის ნაცვლად შედგება ორი დამოუკიდებელი დგარისაგან 3. დგარები კამარებს ეყრდნობა. ზედა ნაწილში ისინი შეერთებულია განივი კოჭით 4. განაპირა დგარებში, რომლებსაც დიდი სიმაღლე აქვს, დამატებით კეთდება შემაერთებელი განმბრჯენები 5. ზედნაშენის რი-



ნახ. 108. ცალკე კამარებიანი ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია.

გელი წიბოვანი კონსტრუქციისაა. მის შემადგენლობაში შედის: საბალასტო გობის ფილა 6, რომელიც მუშაობს ღუნვაზე ხიდის განივად. ფილა ეყრდნობა გრძივ კოჭებს 7, ეს უკანასკნელნი თავის მხრივ ეყრდნობიან განივ კოჭებს. ზოგიერთ შემთხვევაში განივკვეთის მეორე ვარიანტი იხმარება (ნახ. 109); აქ მანძილი გრძივ კოჭებს შორის გაზრდილია ისე, რომ კოჭების ღერძები თანხვდენილია დგარების ღერძებთან. მაშინ განივი კოჭი უკვე აღარ მუშაობს ღუნვაზე გრძივი კოჭების დაწოლისაგან და ფაქტიურად წარმოადგენს შემაერთებელ დიაფრაგმას.



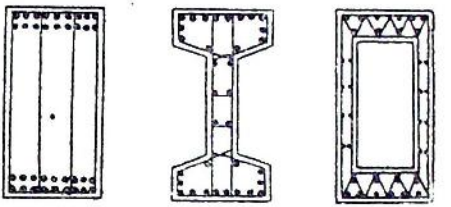
ნახ. 109. ზედნაშენის განივკვეთის ვარიანტი.

კამარების კლიტის უბანში გრძივი კოჭების მოწყობა საჭირო არ არის — აქ შეიძლება საბალასტო ფილა უშუალოდ დავაყრდნოთ კამარებს. ამისათვის კამარებს ზევით კეთდება საგანგებო გრძივი კედლები 8 (ნახ. 108). ბორტის კედლების და ტროტუარების კონსტრუქცია ჩვეულებრივია და მასზე აღარ ვჩერდებით.

განვიხილოთ კამარების კონსტრუქცია. მათი მუშაობის პირობები და მოხაზულობა ხიდის ფასადის სიბრტყეში ისეთივეა, როგორც მთლიანი თაღებისა. განივკვეთში კამარების მოხაზულობა სწორკუთხოვანი, ორტესებრი ან კოლოფისებური კეთდება (ნახ.110). განივკვეთის მართკუთხა ფორმა ძირითადად

[1] ასეთ კონსტრუქციას შეიძლება თაღოვანის ნაცვლად კამაროვანი მალის ნაშენი ეწოდოთ.

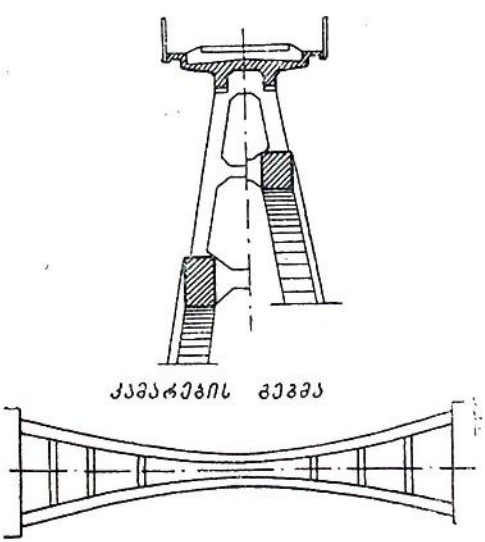
მცირე მალებისთვის იხმარება. დიდი მალების დროს საჭიროა ბეტონის მოცულობის შემცირება და კამარების გამსუბუქება, ამიტომ უნდა ვიხმაროთ ორტესებრი ან კოლოფისებური კვეთები. მათ შორის უპირატესობა პირველს უნდა მივცეთ, ვინაიდან კოლოფისებური კვეთის დროს რთულდება შიგა ქარგილების გამოღების საკითხი. ისევე როგორც თაღებში, ძირითადი მუშა არმატურა განლაგებულია განაპირა შრეებში, მაგრამ კვეთის მცირე სიგანის გამო აქ არმირება უფრო ხშირი გამოდის— ღეროები იდგმება ორ ან მეტ რიგად.



ნახ. 110. კამარების განივკვეთები.

ზედნაშენის დგარების განივკვეთი უმეტეს შემთხვევაში მართკუთხა ფორმისაა. დგარები არმირდება როგორც ექსცენტრულ კუმშვაზე მომუშავე ელემენტები. რიგელის არმირება უჭრი კოჭის სახით ხდება და არავითარ თავისებურებას არ შეიცავს. სადეფორმაციო ნაკერები ისევე სრულდება, როგორც მთლიანი თაღების დროს.

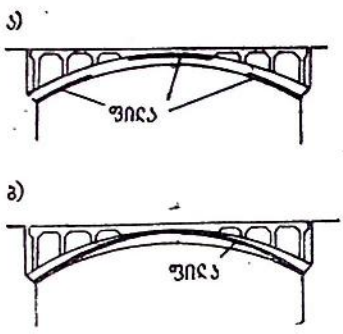
კამარების განივი მდგრადობისა და მთელი მალის ნაშენის განივი სიხისტის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მათ შორის განმბრჯენების მოწყობა. განმბრჯენები შეიძლება გაკეთდეს ყოველი დგარის სიბრტყეში, ან თითო დგარის გამოშვებით, როგორც ეს ნახ. 108-ზეა ნაჩვენები. კლიტის უბანში კამარებს სავალი ნაწილის ფილა აერთებს, ამიტომ აქ განმბრჯენების მოწყობა საჭირო აღარ არის. განმბრჯენები არმირებულია გრძივი არმატურით და ხისტად უერთდება კამარებს; ამგვარად, კამარები და განმბრჯენები ქმნიან ხისტ ჩარჩოვან კონსტრუქციას, რომელიც მალის ნაშენს განივ სიხისტეს ანიჭებს. საკმარისი განივი სიხისტის უზრუნველსაყოფად საჭიროა, რომ კამარების ღერძებს შორის მანძილი მალის 1/15—1/20-ზე ნაკლები არ იყოს. ამ პირობის შედეგად დიდი მალების დროს კამარებს შორის მანძილი მეტია, ვიდრე მანძილი ზედნაშენის გრძივ კოჭებს შორის (ნახ. 111). ეს იწვევს იმას, რომ ზედნაშენის დგარები ხიდის განივკვეთში დახრილი გამოდის. გარდა ამისა, ყველა დგარს ერთნაირი დახრა უნდა ჰქონდეს, ეს კი შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ



ნახ. 111. მალის ნაშენი გეგმაში მრუდხაზოვანი კამარებით.

კამარებს შორის მანძილი ცვალებადი იქნება. ამგვარად, გეგმაში კამარებს მრუდხაზოვანი ფორმა უნდა მივცეთ—ისინი თანდათან უნდა მივუახლოვოთ ერთმანეთს კლიტისაკენ. ამგვარ კამარას ორმაგი სიმრუდე აქვს როგორც შვეულ, ისე თარაზულ სიბრტყეში. ასეთი კონსტრუქცია საკმარისად რთული გამოდის და იშვიათად იხმარება.

აღსანიშნავია, რომ კამარების შესაერთებლად, განმბრჯენების ნაცვლად, ზოგჯერ იხმარება მთლიანი შემაერთებელი ფილა (ნახ. 112). ფილის რაციონალური გამოყენების მიზნით უნდა ვეცადოთ, რომ ჩავრთოთ იგი კამარების მუშაობაში შვეულ დატვირთვებზე. ამისათვის ფილა კამარების შეკუმშულ ზონაში უნდა იყოს. მაგრამ კლიტის ფარგლებში კუმშვას ძირითადად კამარის ზედა ზონა განიცდის, ქუსლის უბნებში კი ქვედა ზონა. ამიტომ საჭირო ხდება ამ უბნებში დამოუკიდებელი ზედა და ქვედა ფილების მოწყობა (ნახ. 112, ა), ან უწყვეტი ფილის გადაყვანა ქვედა ზონიდან ზედაში (ნახ. 112, ბ). ასეთი კონსტრუქცია რთული გამოდის, ამიტომ ახლა შემაერთებელი ფილა თითქმის აღარ იხმარება; ძირითად გადაწყვეტას წარმოადგენს განმბრჯენებიანი კონსტრუქცია.



ნახ. 112. მალის ნაშენი ცალკეული კამარებით და შემაერთებელი ფილებით.

ამგვარად, ჩვენ გავეცანით ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის ორ ძირითად კონსტრუქციას—მთლიანი თაღით და ცალკეული კამარებით. შევადაროთ ისინი ერთმანეთს. კონსტრუქციის აღწერილობიდან ცხადია, რომ მთლიანთაღებიანი კონსტრუქცია უფრო მარტივია, მაგრამ ბეტონის მეტ მოცულობას მოითხოვს (დაახლოებით 10—30%-ით). ცალკე კამარების დროს ბეტონის მოცულობა ნაკლებია, მაგრამ კონსტრუქცია რთულდება და არმატურის ხარჯიც მეტი გამოდის (15—20%-ით). პრაქტიკაში ორივე ტიპი თითქმის ერთნაირად იხმარება. დიდი მალების დროს უპირატესობა უნდა მივცეთ ცალკეულ კამარებიან მალის ნაშენს, როგორც უფრო მსუბუქ კონსტრუქციას.

ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების ტიპიური კონსტრუქციების დასახასიათებლად ქვემოთ მოგვყავს 11 და 12 ცხრილები. პირველ მათგანში მოცემულია ძირითადი ზომები მთლიანთაღიანი მალის ნაშენებისა (სოიუზტრანსპროექტის 1941 წლის საპროექტო მოცემულობის მიხედვით), ხოლო მეორეში—ცალკეულკამარებიანი მალის ნაშენებისა.

§ 21. მონოლითური რკინაბეტონის ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების ზოგიერთი საგანგებო ტიპები

წინა პარაგრაფში განხილული იყო ზესავლელი თაღოვანი ხიდების მთავარი ტიპები, რომლებიც განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე ხიდმშენებლობაში; მაგრამ არსებობს კიდევ სხვა კონსტრუქციული ტიპები, რომლებიც თუმცა უფრო იშვიათად, მაგრამ მაინც პოულობენ ერთგვარ გამოყენებას. ამ პარაგრაფში ჩვენ სწორედ ასეთ კონსტრუქციებს გავეცნობით.

ერთ-ერთ ასეთ კონსტრუქციას წარმოადგენს კოლოფისებური კვეთის თაღოვანი მალის ნაშენი (ნახ. 113). იგი შედგება თხელი

ცხრილი 11

ძირითადი მონაცემები მთლიანთაღლიანი ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების შესახებ
(დროებითი დატვირთვის კლასი *H* 8)

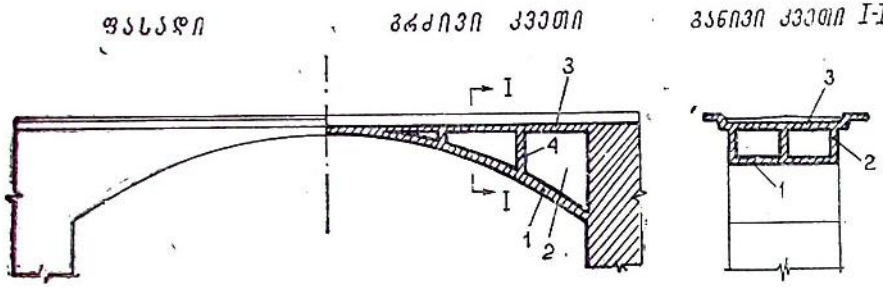
საანგარიშო მალე l	ანწეულობის ისარი f	ანწეულობა $f:l$	ბურჯების ღერძებს შორის მანძილი L	შუალედი ბურჯის თავის ზომები		თაღის ზომები			თაღების ნაშენის პანელის ზომა სინათლეში a_0	კვეთის არმირების %		რკინაბეტონის მოცულობა			არმატურის წონა	ბეტონის მარკა
				სისქე	სიგანე	სისქე		სიგანე		კლიტეში	ჭრილში	თაღში	თაღების ნაშენში	მთლიანი		
						კლიტეში d_k	ჭრილში $d_ჭ$	h_1								
მ	მ		მ	მ	მ	მ	მ	მ	მ			მ³	მ³	მ³	ტ	კგ/სმ²
26.0	5,40	1/4,8	28,20	3.00	6.60	0.70	1.10	3.00	2.25	1.70	2.50	72.0	42.0	114.0	17,5	170
	10.00	1/2,6	28.20			0.65	0.90			1.20	2.40	77·0	53,0	130.0	16,5	
32,0	5,80	1/5.5	34,70	350	7.20	0.80	1.30	3.00	2.25	2.00	2.80	101.0	55.0	156.0	28.1	250
	8.40	1/3.8	34,70			0,70	1.10			1.30	2.40	94.0	64,0	158.0	21.4	
	10.00	1/3.2	34.70			0.68	1.00			1.20	2.60	94,0	69.0	163.0	20,5	
43.0	8.00	1/5,4	46,50	4.00	8.20	0,80	1,35	3.40	2.25	1,30	2,50	158.0	99,0	257.0	32.5	300
	10.00	1/4.4	46.50			0.80	1.20			1.00	2.60	156·0	102.0	258.0	32.6	
	11.80	1/3.7	46.50			0.72	1.14			1.20	2.40	150.0	121.0	271.0	34.1	
	13.80	1/3,2	46.50			0.70	1.10			1.30	2.40	153.0	132,0	285,0	38,4	
53.0	8.00	1/6,6	56,40	4.50	9.10	1.00	1.70	3.70	3.20	1,30	2.40	257.0	120.0	377.0	48.7	300
	10.00	1/5.3	56.40			1.00	1.60			1.00	2·40	250,0	133.0	383.0	47.2	
	11.80	1/4.5	56.40			0.90	1.40			1.10	2.40	236.0	145.0	381.0	46.6	
	13.80	1/3.8	56.40			0.80	1.30			1.00	2.40	221.0	159·0	380.0	46.8	
63.0	11.50	1/5.5	67.5	5.6	10.80	1.0	1.65	4.00	3.20	1.00	2.40	334.0	163.0	497.0	60.0	300
	13.50	1/4.7	67.5			1.0	1.60			1.00	2.40	328.0	179.0	507.0	61·5	

ცხრილი 12

ძირითადი მონაცემები ცალკეულკამარებიანი ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების შესახებ
(დროებითი დატვირთვის კლასი H 8)

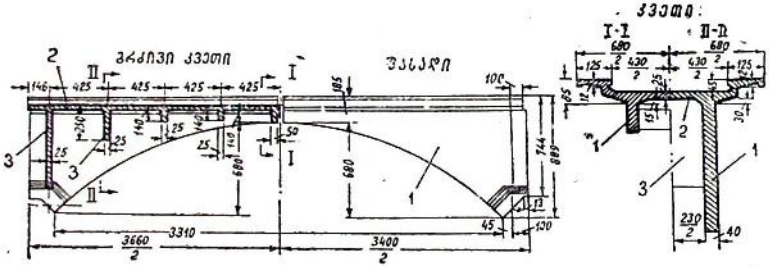
საანგარიშო მალე l	ანწეულობის ისარი f	ანწეულობა $f:l$	ბურჯების ღერძებს შორის მანძილი L	შუალედი ბურჯის თავის ზომები		კამარის ზომები					კვეთის არმირების %		რკინაბეტონით მოცულობა			არმატურის წონა	ბეტონის მარკა
				სისქე	სიგანე	სისქე		სიგანე									
						კლიტეში d_k	ჭრილში $d_ჭ$	ერთი კამარის	მალის ნაშენის	ნაშენის პანელის ზომა სინათლეში a_0	კლიტეში	ჭრილში	კამარებში	თაღების ნაშენში	მთლიანი		
მ	მ		მ	მ	მ	მ	მ	მ	მ	მ			მ³	მ³	მ³	ტ	კგ/სმ²
32.0	10.0	1/3.2	34.70	3.50	7.20	0.90	1.30	1.10	3.00	2.25	2.50	3.10	76.0	74.0	150.0	25.5	250
43.5	8.00	1/5.4	46.50	4.00	8.20	1.20	1.60	1.10	3.40	2.25	2.20	3.30	116.4	93.5	210.0	33.0	250
	10.00	1/4.4	46.50			1.10	1.50				1.85	2.90	112.6	105.6	218.0	37.1	
	11.80	1/3.7	46.50			1.00	1.45				1.80	2.60	113.1	112.0	225.1	38.3	300
	13.80	1/3.2	46 50			1.00	1.40				1.80	2.50	118.6	118.9	237.5	40.4	
53.0	8.00	1/6.0	54.60	4.50	9.10	1.28	1.95	1.10	3,70	3.20	2.50	3.70	157.0	119.0	276.0	57.0	300
	10.00	1/5.3	54.60			1.20	1.80				1.90	3.00	153.0	132.0	285.0	53.0	
	11.80	1/4.5	54.60			1.15	1.75				1.95	2.82	154.0	142.0	296.0	54.0	
	13.80	1/3,8	54.60			1.10	1.70				2.24	2.70	155.0	149.0	304.0	58.0	
63.0	11.50	1/5.5	67.50	5.60	10.80	1.40	1.90	1.20	4.00	3.22	2.33	3.40	224.0	158.0	382.0	74.0	300
	13.50	1/4.7	67.50			1.25	1.85				2.10	3.00	216.0	173.0	389.0	70.0	

ფილოვანი თაღისაგან 1, მთლიანი შვეული კედლებისა 2 და სავალი ნაწილის ფილისაგან 3. ეს ელემენტები გაერთიანებულია ერთ მთლიან მზიდ კონსტრუქციად და ხისტად უკავშირდება ბურჯის მასივს. მალის ნაშენს რამდენიმე განივი დიაფრაგმა 4 აქვს. მუშაობის თვალსაზრისით ამგვარი კოლოფისებური კონსტრუქცია წარმოადგენს ხისტად ჩამაგრებული სქემის ცვალებადი კვეთის ღრუტანიან თაღს. განხორციელებული კოლოფისებური ხიდების მალი 100 მ-ს



ნახ. 113. კოლოფისებური კვეთის თაღოვანი მალის ნაშენი.

აღწევს[1] ერთ დროს ისინი მიზანშეწონილ კონსტრუქციად ითვლებოდა, მაგრამ ექსპლოატაციამ გამოავლინა კოლოფისებური ხიდების უარყოფითი მხარეები: შვეული კედლების დიდი სიხისტისა და ბურჯებში ხისტად ჩამაგრების გამო მათში წარმოიშვება მნიშვნელოვანი ტემპერატურული ძაბვები, ჩნდება ბზარები და ნაპრალები. ამიტომ დღესდღეობით კოლოფისებური კვეთის თაღოვანი ხიდები მეტად იშვიათად იხმარება, მაგრამ მთლიანი შვეული



ნახ. 114. თაღოვანი მალის ნაშენი დისკოსებური კამარებით.

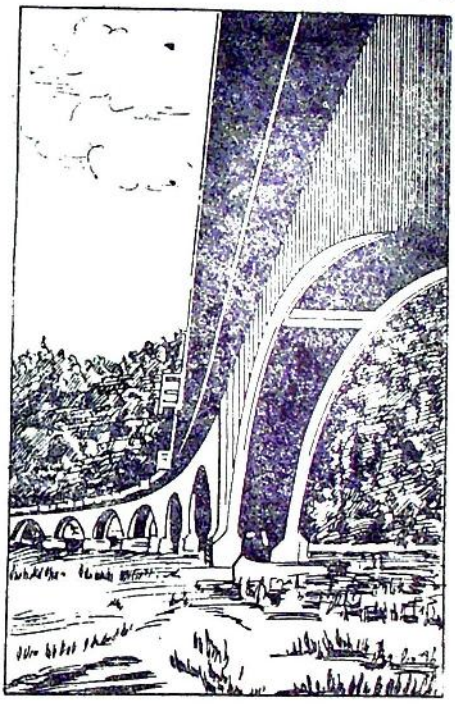
კედლების მზიდ კონსტრუქციად გამოყენების იდეა განხორციელებას პოულობს სხვა ტიპის მალის ნაშენებში, როგორიცაა დისკოსებური ხიდები.

თაღოვანი მალის ნაშენი დისკოსებური კამარებით შემდეგი აღნაგობისაა (ნახ. 114): მალის ნაშენის ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია სამსახრიანი დისკოსებური კამარაა. იგი შედგება თხელი შვეული კედლებისაგან 1, სისქით 30—50 სმ, რომლებსაც ზედა წიბო სწორხაზოვანი აქვს, ქვედა კი მრუდხაზოვანი. მუშაობის პირობების მიხედვით ყოველი ასეთი კედელი წარმოადგენს ბრტყელ დისკოს, რომელიც მუშაობს ექსცენტრულ კუმშვაზე. აქედან წარმოსდგება მალის ნაშენის სახელწოდება. ზედა წახნაგის სიბრ-

[1] ხიდი მდ. ტიბრზე რომში. ასეთი კონსტრუქციისაა აგრეთვე ძველი ხიდი მდინარე მტკვარზე ქ. გორში.

ტყეში დისკოები გაერთიანებულია სავალი ნაწილის ფილით 2, რომელიც მონოლითურადაა დაკავშირებული შვეულ კედლებთან და ჩართულია დისკოსებური კამარის მუშაობაში. კედლებს შორის დადგმულია აგრეთვე შემაერთებელი განივი დიაფრაგმები 3.

დისკოსებური მალის ნაშენის ძირითადი დადებითი მხარეა კონსტრუქციული ფორმის სიმარტივე. გამჭოლ ზედნაშენთან შედარებით დისკოსებურ კონსტრუქციას მეტი ბეტონი სჭირდება, მაგრამ ქარგილების, არმირებისა და დაბეტონების სიადვილის გამო მისი ღირებულება ხშირად უფრო ნაკლები გამოდის, ვიდრე ჩვეულებრივი ტიპის გამჭოლ-ზედნაშენიანი თაღოვანი ხიდებისა. დისკოსებური ხიდების გამოყენების ძირითადი სფეროა საშუალო მალები. ასეთი კონსტრუქცია წამოყენებული იყო პროფ. ე. ლ. ხლებნიკოვის მიერ. ნახ. 115-ზე ნაჩვენებია თაღოვანი ხიდი დისკოსებური კამარებით, განხორციელებული საბჭოთა კავშირში.



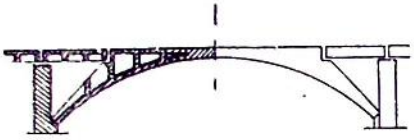
ნახ. 115. დისკოსებური თაღოვანი ხიდის საერთო ხედი.

დისკოსებური კამარების მეორე სახეობა წამოყენებული იყო ფრანგი ინჟინრის მაიარის მიერ (ნახ. 116). როგორც 116 ნახაზიდან ჩანს, აქ დისკოების ბოლოები ირიბადაა ჩამოჭრილი, ასე რომ კამარას მაქსიმალური კვეთი მალის მეოთხედში აქვს. ასეთი მოხაზულობა ეთანადება კამარის მუშაობის პირობებს: სამსახსრიან კამარებში, როგორც ვიცით, მაქსიმალური მომენტები მალის მეოთხედებში ვითარდება. მალის განაპირა მეოთხედები გადახურულია დამატებითი კოჭური მალის ნაშენებით. ამგვარი კონსტრუქცია ამცირებს რკინაბეტონის ხარჯს და მალის ნაშენის წონას, ამიტომ შესაძლებელი ხდება მისი გამოყენება დიდი მალების დროს. ამ სისტემის ხიდების განხორციელებული მალები 100—120 მ-ს აღწევს[1]. მიუხედავად უჩვეულო ფორმისა, მაიარის სისტემის ხიდი კარგად ეგუება ადგილმდებარეობას და სათანადო პირობებში კარგ არქიტექტურულ გადაწყვეტას იძლევა. მაგალითისათვის ნახ. 117-ზე მოყვანილია ერთ-ერთი ასეთი ხიდის საერთო ხედი.

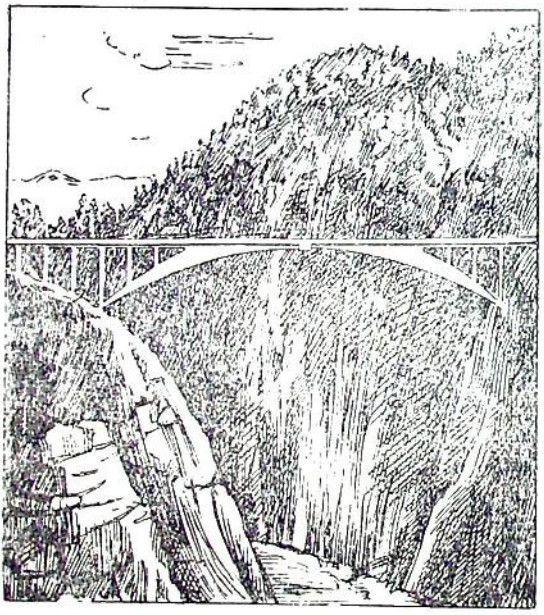
დიდი მალის თაღოვანი ხიდების აგების დროს ერთ-ერთ მთავარ სიძნელეს წარმოადგენს ქარგილების მოწყობა. განსაკუთრებით რთულდება ეს

[1] ერთ-ერთი ხიდი მალით 120 მ აგებულია საბჭოთა კავშირში ინჟინერ პ. ს. ბაჩელისის პროექტით.

საკითხი ხიდის დიდი სიმაღლის შემთხვევებში. რკინაბეტონის თანამედროვე თაღოვანი ხიდების მშენებლობის დროს ფართოდ გამოიყენება ლითონის ე. წ. ინვენტარული ქარგილები, შედგენილი ცალკეული სტანდარტული ელემენტებისაგან. ეს აადვილებს მშენებლობის პროცესს, მაგრამ ქარგილების მონტაჟი მაინც ბევრ დროს მოითხოვს და რთულ ოპერაციას წარმოადგენს. ამიტომ ერთგვარი გამოყენება ჰპოვეს თაღოვანმა ხიდებმა მზიდი (ხისტი) არმატურით. ასეთი კონსტრუქციის იდეა შემდეგში მდგომარეობს: კამარების არმატურა განხორციელებულია ხისტი თაღოვანი ფერმების სახით, რომლებსაც შეუძლიათ დამოუკიდებლივ მუშაობა. ფერმების სარტყლები უმეტეს შემთხვევაში გაგლინული პროფილებისაგან ხორციელდება (კუთხედები, შველერები და სხვა), გისოსი კი კუთხედებისაგან და მრგვალი რკინისაგან. ფერჭები იანგარიშება ისე, რომ მათ შეუძლიათ ზიდონ საკუთარი წონა, ქარგილების წონა, ახლად ჩაწყობილი ბეტონის წონა და დატვირთვა დაბეტონებისათვის საჭირო მოწყობილობისაგან. მშენებლობის მიმდევრობა ასეთია: წინასწარ დამზადებული თაღოვანი ფერმები რაიმე წესით იდგმება მალში (ნახ. 118), შემდეგ მათზე შეიკიდება ყალიბები და წარმოებს კამარების დაბეტონება. ბეტონის გამაგრების შემდეგ ფერმები მუშაობს როგორც რკინაბეტონის კვეთის არმატურა. საჭიროების მიხედვით დაბეტონების წინ შეიძლება ყალიბებში ჩავაწყოთ დამატებითი არმატურა ჩვეულებრივი მრგვალი ღეროების სახით. მზიდარმატურიანი თაღოვანი ხიდების ძირითადი დადებითი მხარე ის არის, რომ მათ საგანგებო ქარგილების მოწყობა არ სჭირდებათ. მაგრამ, მეორეს მხრივ, მნიშვნელოვანი უარყოფითი მხარეა ფოლადის დიდი ხარჯი. ამიტომ ასეთი კონსტრუქციის გამოყენება საგანგებოდ უნდა იყოს დასაბუთებული. როგორც წესი, მზიდი არმატურის გამოყენება



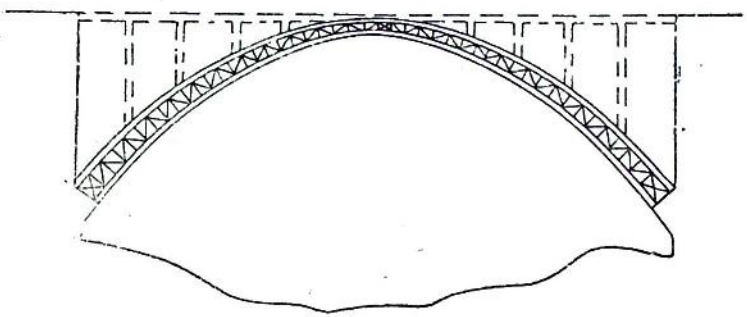
ნახ. 116. ზესავლელი ხიდი მაიარის სისტემის დისკოსებური კამარებით



ნახ. 117. მაიარის სისტემის ხიდის საერთო ხედი.

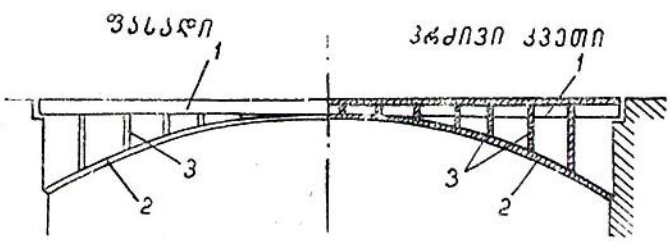
გამართლებულია მხოლოდ მაშინ, როდესაც სამშენებლო ორგანიზაციას ინვენტარული ჭარგილები არ გააჩნია, ან მათი გამოყენება შეუძლებელია.

ზესავლელი თაღოვანი ხიდების ერთ-ერთ საგანგებო სახეობას წარმოადგენს ხიდი ხისტი კოჭითა და დრეკადი თაღით. ასეთი ხიდის მალის ნაშენი კომბინირებული სისტემისაა (ნახ. 119). მის შემადგენლობაში შედის კოჭი 1, თაღი 2 და დგარები 3.[1] თაღი მცირე სისქის კეთდება, ამიტომ ის დრეკადია, მღუნავ მომენტებს ვერ იტანს და მხოლოდ კუმშვაზე მუშაობს. კოჭი, პირიქით, დიდი სიმაღლისაა, საკმარისად ხისტია და ღუნვაზე



ნახ. 118. თაღოვანი ხიდი ბზიდი არმატურით.

მუშაობს. მალის ნაშენის მუშაობის პირობები ასეთია: თანაბარგანაწილებული დატვირთვის დროს (მუდმივი ტვირთი, დროებითი დატვირთვა მთელ მალზე) თაღი დეფორმაციას არ განიცდის, მუშაობს კუმშვაზე და ზიდავს კოჭს (ნახ. 120, ა). ამიტომ თანაბარი დატვირთვის დროს კოჭი თითქმის არ მუშაობს,

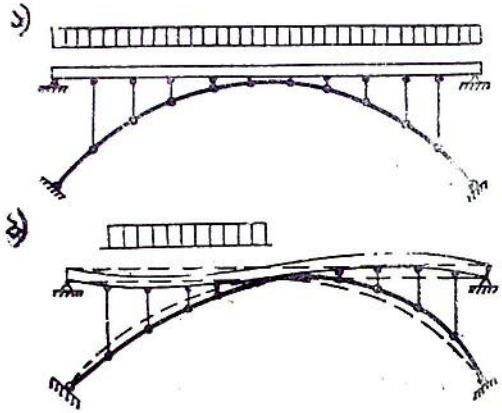


ნახ. 119. კომბინირებული სისტემის თაღოვანი მალის ნაშენი (ხისტი კოჭი დრეკადი თაღით).

მღუნავი მომენტები მასში უმნიშვნელოა. ვრათანაბარი დატვირთვის დროს (დროებითი ცალმხრივი დატვირთვა) თაღი დეფორმაციას განიცდის: დატვირთული უბანი ქვევით ჩაიღუნება, დაუტვირთავი კი ამოიღუნება ზევით (ნახ. 120, ბ). მაშინ კოჭი ტალღისებურ გაღუნვას განიცდის; თავისი სიხისტით ის ეწინააღმდეგება ღუნვას და აბრკოლებს თაღის შემდგომ დეფორმაციას. ამგვარად თაღი და კოჭი მუშაობს ერთობლივად და ეხმარება ერთმანეთს მუშაობაში. თაღის დახმარების გამო მღუნავი მომენტების სიდიდე სიხისტის კოჭში 6—8-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე იმავე მალის ორ საყრდენზე მდებარე კოჭში. ამის გამო საშუალო მალებისათვის განხილული კონსტრუქცია

[1] სავალი ნაწილის ელემენტებს—განივ კოჭებს, ფილას და ხვა, არ ვეხებით.

ზოგიერთ შემთხვევაში საგრძნობ ეკონომიას იძლევა (10—20%-მდე). თაღის მცირე სისქე აადვილებს აგრეთვე ქარგილების მოწყობას; მართლაც, მალის ნაშენის აგება შეიძლება ორ სტადიად ვაწარმოოთ: პირველ რიგში ქარგილებზე უნდა დავაბეტონოთ თაღი; მისი წონის სიმცირის გამო ქარგილები მსუბუქი გამოვა. ბეტონის გამაგრების შემდეგ თაღი შეიძლება გამოვიყენოთ ზედნაშენის ხარაჩოების დასაყრდენად.



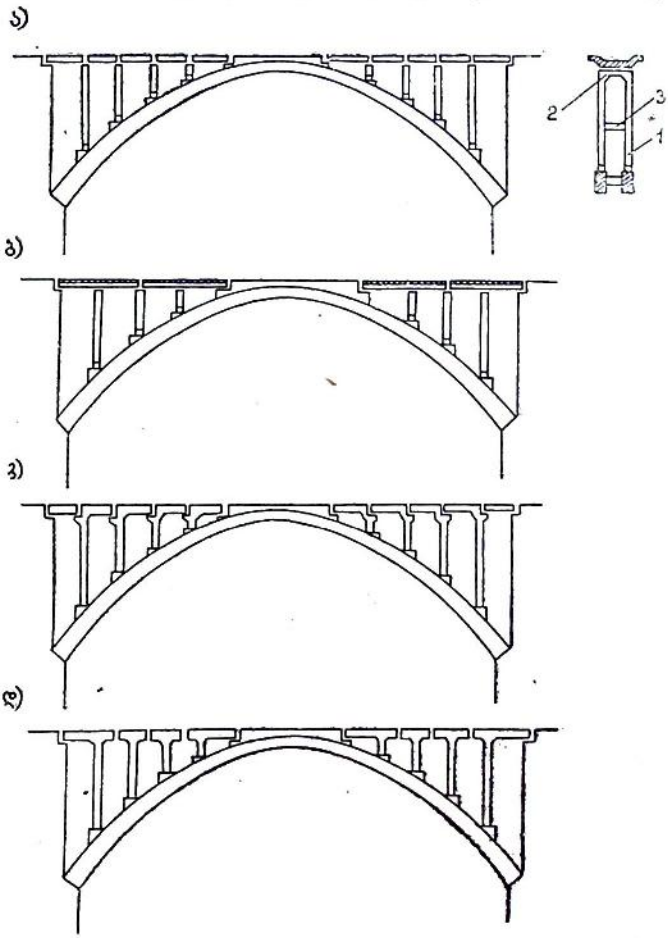
ნახ. 120. კომბინირებული თაღოვანი მალის ნაშენის მუშაობის სქემა.

§ 22. ნაკრები რკინაბეტონის ზესავლელი თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენების კონსტრუქცია

ნაკრები კონსტრუქციების დიდი უპირატესობანი, მოყვანილი § 12-ში, გვიკარნახებს მათ ფართო გამოყენებას თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენებში. ასეთი საკითხი ჩვენში ჯერ კიდევ 1932—33 წლებში დაისვა, მაგრამ მისი გადაწყვეტა დიდხანს ვერ მოხერხდა. ამის მიზეზი ერთის მხრივ ის იყო, რომ მაშინდელ ხიდმშენებლობას არ გააჩნდა სათანადო ტექნიკური ბაზა, სატრანსპორტო და სამონტაჟო მექანიზმების სახით. მეორეს მხრივ, აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ თაღოვან ხიდებში ნაკრები კონსტრუქციების გამოყენება უფრო რთულ ამოცანას წარმოადგენს, ვიდრე კოჭურ ხიდებში: თაღოვანი მალის ნაშენი, როგორც ვიცით, რთული აღნაგობისაა, ამიტომ მისი სამონტაჟო ბლოკებად დაყოფა და შემდგომი გამონოლითება დიდ კონსტრუქციულ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. მხოლოდ სამამულო ომის წინა წლებში გადაიდგა პირველი ნაბიჯები ამ მიმართულებით. კერძოდ, 1940 წელს ამიერკავკასიის რკინიგზაზე განხორციელდა მცირემალიანი თაღოვანი ხიდი ნაკრები ზედნაშენით. სამამულო ომის შემდეგ, ხიდმშენებლობის ტექნიკის საერთო განვითარებასთან ერთად, თანდათან გაფართოვდა ნაკრები თაღოვანი ხიდების მშენებლობა. აშენდა რამდენიმე დიდი თაღოვანი ხიდი ნაკრები ზედნაშენით. ამჟამად ამ საკითხზე დიდი მუშაობა და კვლევა წარმოებს.

ადვილი გასაგებია, რომ ნაკრები სახით განხორციელებისათვის ყველაზე უფრო გამოსადეგია თაღოვანი მალის ნაშენები ცალკეული კამარებით, აღწერილი § 20-ში. მის ელემენტებს შედარებით უფრო ნაკ-

ლები კვეთები აქვს, ამიტომ სამონტაჟო ბლოკების წონაც ნაკლები გამოდის, ვიდრე მთლიანი თაღის დროს. ამიტომ ნაკრები თაღოვანი მალის ნაშენი თითქმის ყოველთვის კეთდება ცალკეული კამარებით და გამჭოლი ზედნაშენით. აქ შეიძლება კონსტრუქციული გადაწყვეტის ორი ძირითადი ვარიანტი ვიხმაროთ: მთავარ სიძნელეს წარმოადგენს ნაკრები კამარების განხორციელება, ამიტომ პირველ ვარიანტში შეიძლება ვიხმაროთ მონოლითური

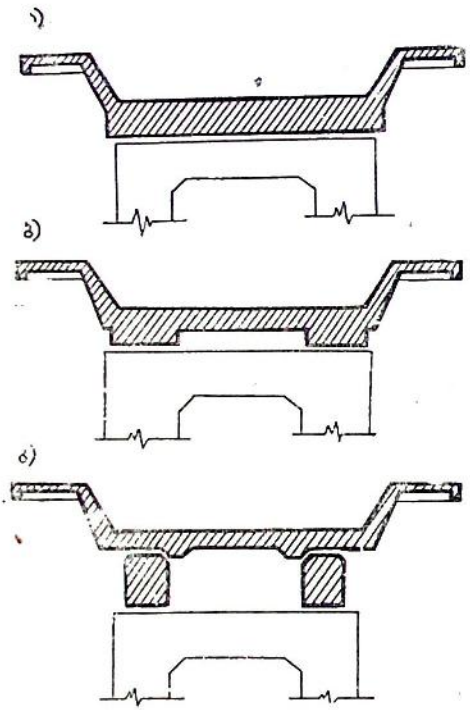


ნახ. 121. ნაკრები კონსტრუქციის ზედნაშენის სქემები.

კამარები და ნაკრები ზედნაშენი. ასეთი კონსტრუქცია უფრო მარტივად ხორციელდება, მაგრამ ამოცანის საბოლოო გადაწყვეტას არ გვაძლევს—კამარების დაბეტონებისათვის მაინც საჭიროა ქარგილების მოწყობა. უფრო სრულყოფილია გადაწყვეტის მეორე ვარიანტი—მთლიანად ნაკრები მალის ნაშენი, სადაც როგორც კამარები, ისე ზედნაშენი ნაკრები კონსტრუქციისაა.

განვიხილოთ პირველ რიგში მალის ნაშენი მონოლითური კამარებით და ნაკრები ზედნაშენით (ნახ. 121). თვით კამარების და

მათ შორის განმბრჯენების კონსტრუქცია ისეთივეა, როგორც მონოლითურ მალის ნაშენებში (იხ. § 20). რაც შეეხება ზედნაშენს, მისი დაყოფა სამონტაჟო ელემენტებად შეიძლება სხვადასხვა წესით მოხდეს. ნახ. 121,ა-ზე მოყვანილი სქემის დროს ზედნაშენის შვეული ელემენტები განხორციელებულია განივი ჩარჩოების სახით. ასეთი ჩარჩოები შედგება ორი სვეტისაგან, რომლებიც განლაგებულია ხიდის განივად 1, რიგელისა 2 და განმბრჯენისაგან 3. ეს უკანასკნელი საჭიროა მხოლოდ მაღალი ჩარჩოებისათვის. ზედნაშენის რიგელი კეთდება ერთმალიანი ჰრილი პანელების სახით. პანელი შეიძლება გაკეთდეს ფილოვანი ან წიბოვანი კონსტრუქციის (ნახ. 122, ა, ბ). წონის შემცირების მიზნით იგი შეიძლება შევადგინოთ ცალკეული გრძივი კოჭებისა და განივი ფილისაგან (იხ. ნახ. 122, გ). მონტაჟის შემდეგ ზედნაშენის რიგელის პანელები შეიძლება უჭრ კონსტრუქციად ვაქციოთ, რისთვისაც საჭიროა საყრდენ კვეთებში გრძივი არმატურის გადაბმა, შედუღების ან სხვა ტიპის პირაპირების საშუალებით.



ნახ. 122. ნაკრები რიგელის კონსტრუქციის ვარიანტები.

სქემა, მოყვანილი ნახ. 121, ბ-ზე, ისევ განივი ჩარჩოებით კეთდება; განსხვავება მხოლოდ იმაში მდგომარეობს, რომ ზედნაშენის რიგელები ორმალიანი სამონტაჟო პანელებისაგან შედგება.

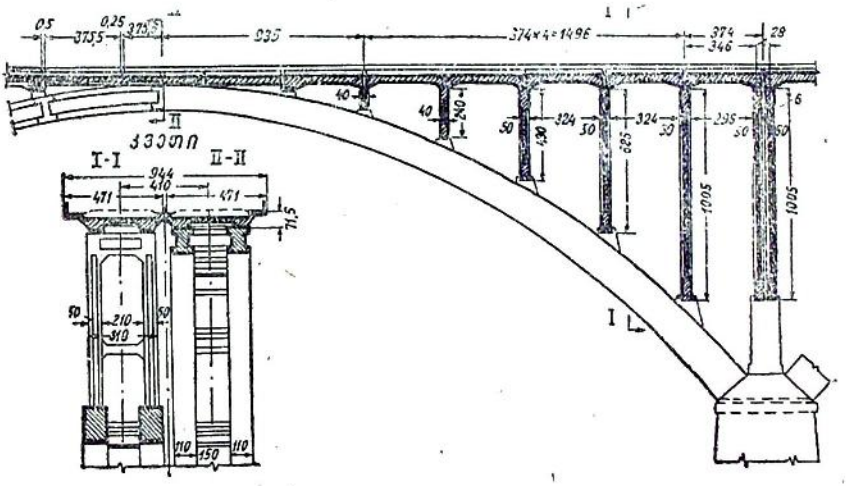
განსხვავებულ გადაწყვეტას იძლევა ზედნაშენის განხორციელება გრძივი ჩარჩოს ელემენტებისაგან. ნახ. 121, გ-ზე ნაჩვენებია ჩარჩო, შედგენილი Г-სებრი ელემენტებისაგან, ნახ. 121, დ-ზე კი—Т-სებრი ელემენტებისაგან შედგენილი ჩარჩო. საბალასტო გობი ასეთ შემთხვევაში განივი ფილებისაგან იქმნება, ისე როგორც ეს ნახ. 122, გ-ზეა ნაჩვენები.

განხილული სქემების შედარების საფუძველზე ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ უპირატესობა ეკუთვნის ნაკრებ ზედნაშენს განივი ჩარჩოებით (ნახ. 121, ა). იგი ხასიათდება ელემენტების მარტივი ფორმით და მონტაჟის სიადვილით. საბჭოთა კავშირში განხორციელებულია ასეთი კონსტრუქციის ორლიანდაგიანი მრავალმალიანი თაღოვანი ხიდი 53-მეტრიანი საანგარიშო მალებით (პროექტის ავტორი ინჟინერი მ. ს. რუდენკო) [16]. ამ ხიდის მალის ნაშენის კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 123-ზე. სამონტაჟო ელემენტების—განივი ჩარჩოების და რიგელის ფილოვანი პანელების წონა არ აღემატება

14 ტ-ს. მუშაობის ტემპების დასახასიათებლად საკმარისია აღვნიშნოთ, რომ თითოეული მალის ნაშენის მონტაჟი სრულდებოდა 4—5 დღის განმავლობაში.

ნაკრები ზედნაშენის მოწყობის დროს კვანძების კონსტრუქცია გარკვეულ სიძნელეს წარმოადგენს. მაგალითისათვის მოგვყავს იმ მალის ნაშენის კვანძები, რომელიც ნახ. 123-ზე იყო ნაჩვენები. დგარის კამარასთან შეერთების კვანძი ნაჩვენებია ნახ. 124-ზე. როგორც ვხედავთ, დგარის დასაყრდნობად კამარას გაკეთებული აქვს ბუნიკი (ქუსლი) 1; იგი შედგება ლითონის ფურცლებისაგან და მიდუღებულია დგარის არმატურასთან. დგარის ჩადგმის წინ ბუდის ძირი სწორდება ცემენტის ხსნარით და მის ზედაპირზე მოიყრება ცემენტის მშრალი ფხვნილი სისქით 1 სმ. ბუნიკი ჩადის საქუსლის ბუდეში და ჩამოეცმება კამარიდან ამოშვერილ ანკერებს 2; ამის შემდეგ მოეპირება ქანჩი 3 და ბუდე დგარის გარშემო ამოივსება ბეტონით.

კლიტესთან უახლოესი ორი მოკლე დგარი დაყრდნობილია კამარაზე სახსროვნად. როგორც § 20-ში იყო ნათქვამი, ასეთი დაყრდნობა, სადეფორმაციო ნაკერებთან ერთად, უზრუნველყოფს ზედნაშენში დამატებითი ძალვების შემცირებას კამარების დეფორმაციის დროს. სახსრის კონსტრუქცია ნაჩ-



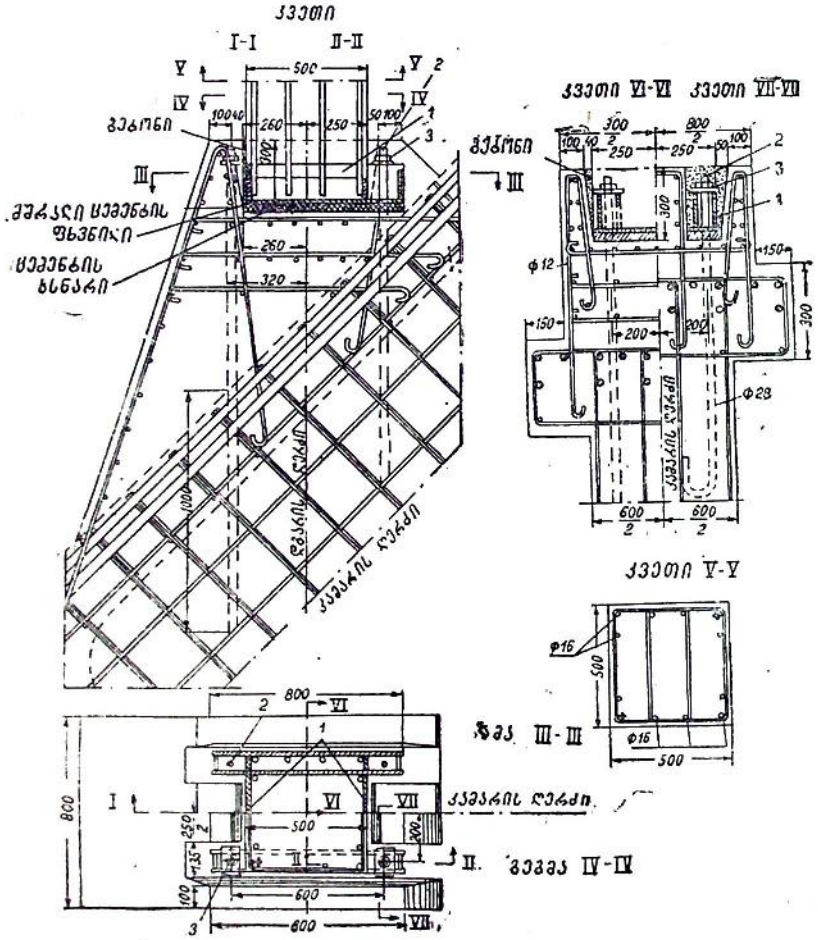
ნახ. 123. თაღოვანი მალის ნაშენი ნაკრები ზედნაშენით.

ვენებია ნახ. 125-ზე. დგარის ქუსლის ქვეშ დატანებულია ტყვიის ფურცელი 1, სისქით 15 მმ, რომელიც საყრდენი კვეთის მობრუნების საშუალებას იძლევა. გრძივი გადაადგილების საშუალების მოსასპობად ტყვიის ფურცელში გაყრილია ლითონის ღეროები 2; დგარში ისინი ხისტადაა ჩამაგრებული, ქვევით კი თავისუფლად ჩადის ლითონის მილებში 3, რომლებიც საქუსლეშია ჩაბეტონებული.

რიგელის პანელების განივ ჩარჩოზე დაყრდნობის კვანძი ნაჩვენებია ნახ. 126-ზე. დაყრდნობა წარმოებს ტყვიის ფურცლებზე. მეზობელი პანელების ტორსებს შორის ამოშვერილია კორაქები, რომლებიც განივ ჩარჩოშია ჩაბეტონებული. ზევიდან პანელები გაერთიანებულია უჯრ კონსტრუქციად. ამისათვის პანელებიდან გამოშვერილი თარაზული არმატურა შედუღებულია კუ-

თხოვანი ნადებების საშუალებით. ხარვეზი რიგელის პანელებს შორის ამოვსებულია განვრცობადი ცემენტის ხსნარით.

ცხადია, რომ კვანძების მოყვანილი გადაწყვეტა ერთადერთი არ არის, შეიძლება ვიხმაროთ პირაპირების სხვა კონსტრუქციებიც. მათი შესწავლა საგანგებო ლიტერატურის მიხედვით შეიძლება [3, 44].

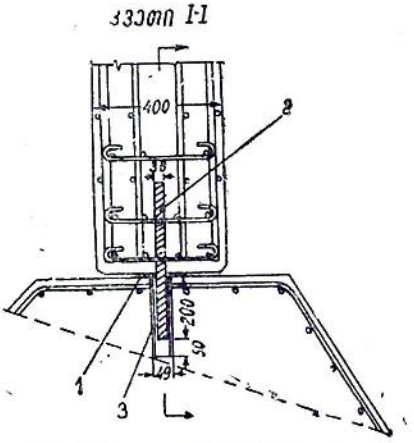


ნახ. 124. ნაკრები ზედნაშენის დგარის შეერთება კამარასთან.

განვიხილოთ ახლა მთლიანად ნაკრები თაღოვანი მალის ნაშენები. ზემოგანხილულ კონსტრუქციისაგან განსხვავებით აქ ნაკრები სახით უნდა განხორციელდეს არა მარტო ზედნაშენი, არამედ თვით მთავარი კამარებიც. ამისათვის საჭიროა კამარების დაყოფა სამონტაჟო ბლოკებად, მათი წინასწარი დამზადება, ადგილზე დადგმა და პირაპირების გამონოლითება. ადვილი გასაგებია, რომ ეს ამოცანა საკმაოდ რთულია, ვინაიდან კამარებს,

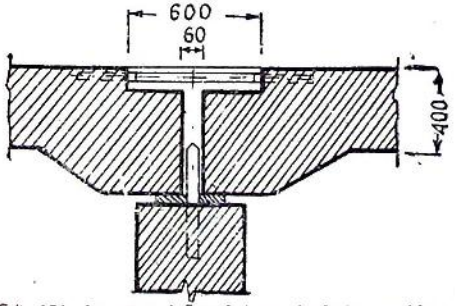
როგორც მძლავრ ელემენტებს, დიდი კვეთები და მნიშვნელოვანი არმატურა ახასიათებს.

კამარების სამონტაჟო ბლოკებად დაყოფა სამუშაოთა წარმოების წესზეა დამოკიდებული. ზოგიერთ შემთხვევაში ყოველი კამარა იყოფა ორ ან სამ ბლოკად (ნახ. 127). ასეთ შემთხვევაში ყოველ ბლოკს ძალიან დიდი გაბარიტული ზომები აქვს და წონაც მეტად დიდი გამოდის. ცხადია, რომ ბლოკების შორს გადატანა შეუძლებელია; ისინი უნდა დამზადდეს სამშენებლო მოედანზე და გადატანილ იქნას მალში ბარჯების საშუალებით. კამარების აწევა და მონტაჟი სხვადასხვა ხერხით შეიძლება. ნახ. 128-ზე სქემატურად ნაჩვენებია ერთ-ერთი ასეთი ხერხი.



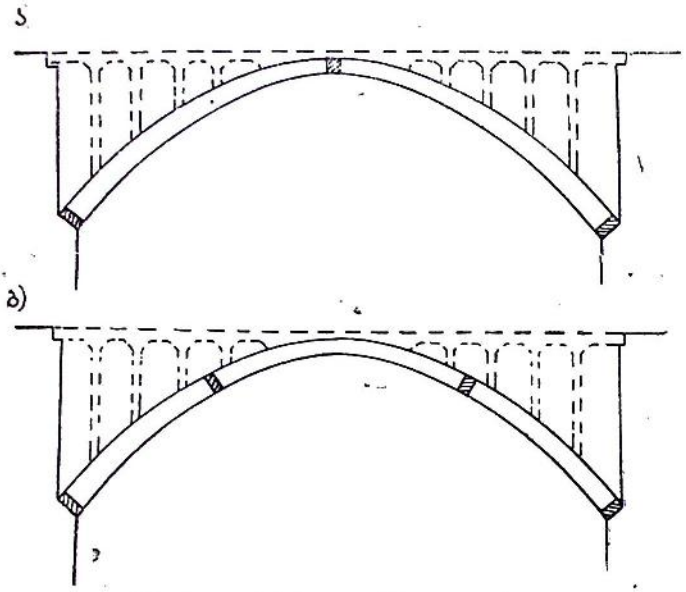
ნახ. 125. მოკლე დგარების სახსროვანი შეერთება კამარასთან.

ნაკრები კამარების აღწერილი კონსტრუქცია, შემდგარი განსაკუთრებით მსხვილი ბლოკებისაგან, წარმოების საგანგებო ორგანიზაციას მოითხოვს და გამოსადეგია მხოლოდ ზოგიერთ კერძო შემთხვევაში. მასობრივი გამოყენებისათვის უფრო გამოსადეგია ნაკრები კამარა, შედგენილი მცირე ზომის ბლოკებისაგან. ბლოკების პირაპირი უმჯობესია დაინიშნოს ზედნაშენის დგარების დაყრდნობის კვეთებში. ნახ. 129-ზე მოგვყავს ნაკრები თაღოვანი მალის ნაშენის ასეთი კონსტრუქცია, დამუშავებული ტრანსმოსტპროექტის მიერ. როგორც ვხედავთ, კამარებს ტეხილი, პოლიგონური მოხაზულობა აქვს, რაც აადვილებს მათი ელემენტების ყალიბების დამზადებას. ამავე მიზნით კამარის სისქე მთელ სიგრძეზე მუდმივია, რაც საშუალებას გვაძლევს ყველა ბლოკი ერთი სახის ყალიბებში დავამზადოთ. გასაგებია, რომ ქუსლის უბნის ბლოკებს გაძლიერებული არმატურა ექნება.

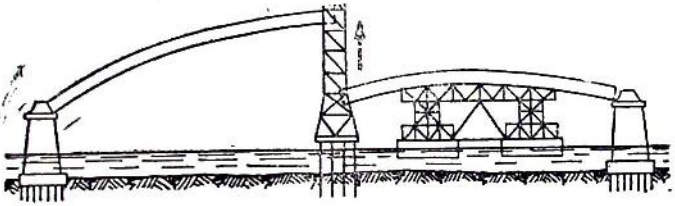


ნახ. 126. რიგელის პანელების დაყრდნობა დგარზე.

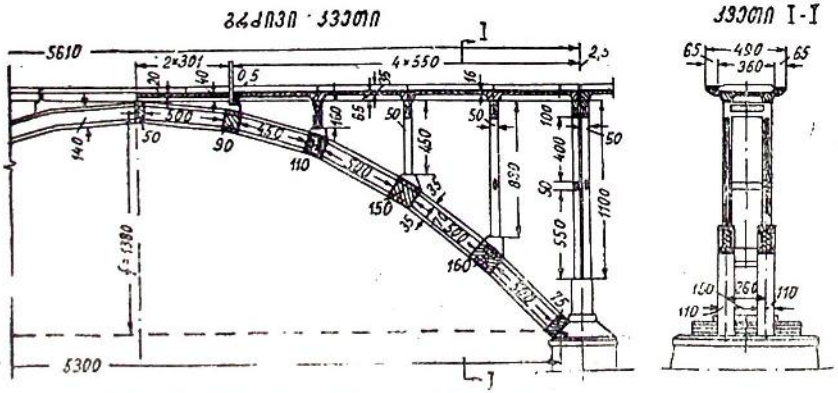
კამარის ბლოკების შეერთება ხდება ზედნაშენის დგარების დაყრდნობის ადგილებში; ამისათვის ბლოკებს შორის დატოვებულია ხარვეზები; მათ ფარგლებში მოწყობილია კამარების ბლოკების არმატურის პირაპირი და დგარების არმატურის შეერთება. აქვე მაგრდება განმბრჯენები კამარებს შორის. ყველა ელემენტის არმატურის შეერთების შემდეგ ხარვეზები ადგილზე ბეტონდება (ნახ. 129— დაშტრიხული უბნები). როგორც ნახ. 129-დან ჩანს, ხარვეზები სხვადასხვა სიგანისაა, რაც საშუალებას გვაძლევს კამარის ყველა ბლოკს სტანდარტული სიგრძე მივცეთ. ბლოკებს შორის კუთხის შეცვლის საშუალებით შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა აწეულობის კამარები.



ნახ. 127. კამარების დაყოფა მსხვილ ბლოკებად.



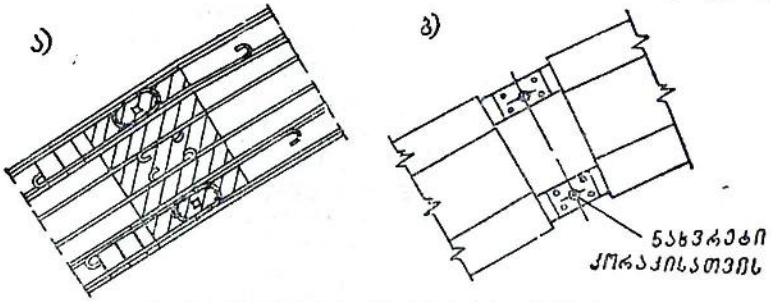
ნახ. 128. ორი ნახევრისაგან შემდგარი კამარების მონტაჟის სქემა.



ნახ. 129. მთლიანად ნაკრები მალის ნაშენის კონსტრუქცია.

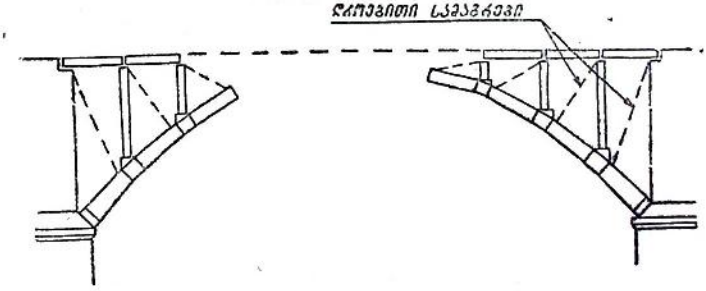
ტექნიკური თვალსაზრისით ყველაზე უფრო საინტერესოა კამარების არმატურის პირაპირების მოწყობა. აქ შეიძლება ვიხმაროთ აკად. პერედერის სისტემის მარყუჟიანი პირაპირები ან ხისტი პირაპირები. ნახ. 130, ა-ზე ნაჩვენებია კამარების შეერთება პირველი სახის პირაპირით. მეორე სახის კონსტრუქცია მოყვანილია ნახ. 130, ბ-ზე. კამარის არმატურის ღეროებს მიდუღებული აქვს ლითონის ფირფიტები, რომლებიც უერთდება ერთმანეთს მონტაჟის დროს ჯერ დროებითი ჭანჭიკების საშუალებით, შემდეგ კი საბოლოოდ, შედუღების საშუალებით.

აღწერილი კონსტრუქციის კამარების მონტაჟისათვის წინასწარ უნდა გაკეთდეს ქარგილები; ყველაზე უფრო ხელსაყრელია ინვენტარული ქარგილების გამოყენება. ხისტი კონსტრუქციის პირაპირების დროს შეიძლება გა-



ნახ. 130. კამარების ბლოკების პირაპირის კონსტრუქცია.

მოვიყენოთ მალის ნაშენის აგების უქარგილო ხერხი, ე. წ. შეკიდული აკრეფის საშუალებით. მაგალითისათვის ნახ. 131-ზე მოყვანილია ერთმალიანი ხიდის მონტაჟის სქემა შეკიდული აკრეფის ხერხით. აკრეფა მალის ნაშენის ორივე მხრიდან წარმოებს, ბაგიროვანი ამწეების საშუალებით. შეიძ-



ნახ. 131. ნაკრები მალის ნაშენის მონტაჟი შეკიდული აკრეფის წესით.

ლება ვიხმაროთ აგრეთვე მოძრავი ამწეები, რომლებიც უკვე აკრეფილ სავალ ნაწილზე ივლის და მონტაჟს აწარმოებს თავისი სვლის მიმართულებით. აკრეფილი კონსტრუქციის ზიდვის უნარი უზრუნველყოფილია დროებითი სამაგრებით, რომლებიც გაჰიმვაზე მუშაობენ. კამარების ჩაკეტვის შემდეგ სამაგრები იხსნება და ხდება კვანძების დაბეტონება.

ნაკრები თაღოვანი მალის ნაშენების კონსტრუქცია დღითიდღე უმჯობესდება. ამჟამად არსებობს დიდმალიანი კოლოფისებური კვეთის კამარების ნაკრები სახით განხორციელების ცდები.

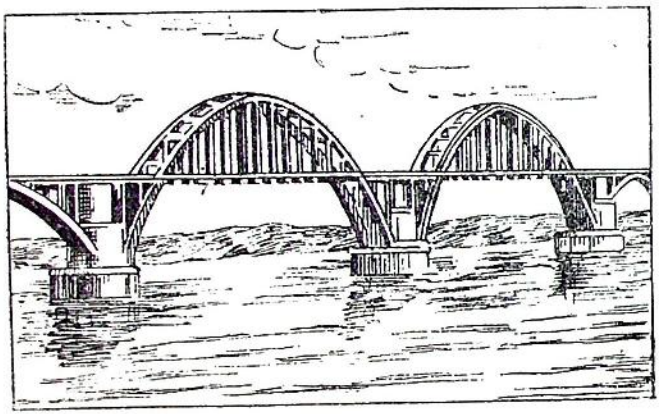
§ 23. შუასავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების კონსტრუქცია

შუასავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ სავალი ნაწილი კამარებს ჰკვეთს: მალის შუა უბანში ის კამარების ქვევითაა მოთავსებული, განაპირა უბნებზე კი—კამარების ზევით. ასეთი ხიდის სქემა მოყვანილია ნახ. 132-ზე, საერთო ხედი კი—ნახ. 133-ზე.

ადვილი გასაგებია, რომ ხიდის განივკვეთში კამარები გაბარიტის ფარგლებს გარეთ უნდა იყოს მოთავსებული. ამიტომ განივი მანძილი კამარებს შორის შუასავლელ ხიდებში უფრო მეტია, ვიდრე ზესავლელ ხიდებში. ამის საილუსტრაციოდ ნახ. 134-ზე მოყვანილია ზესავლელი და შუასავლელი მალის ნაშენების განივკვეთების შედარება.

ნ.ხ. 132. შუასავლელი თაღოვანი ხიდის სქემა.

რადგან ხიდის სავალი ნაწილი მთავარ კამარებს ეყრდნობა, მათ შორის მანძილის გაზრდა ართულებს და ამძიმებს სავალი ნაწილის კონსტრუქციას (როგორც ქვემოთ დავინახავთ, შუასავლელი ხიდის სავალი ნაწილის კონსტრუქციაში საჭიროა დამატებით ელემენტები—განივი კოჭები). ამის გამო, ცხადია, მატულობს დატვირთვა კამარებზე და მათი კვეთებიც იზრდება. გარდა ამისა,

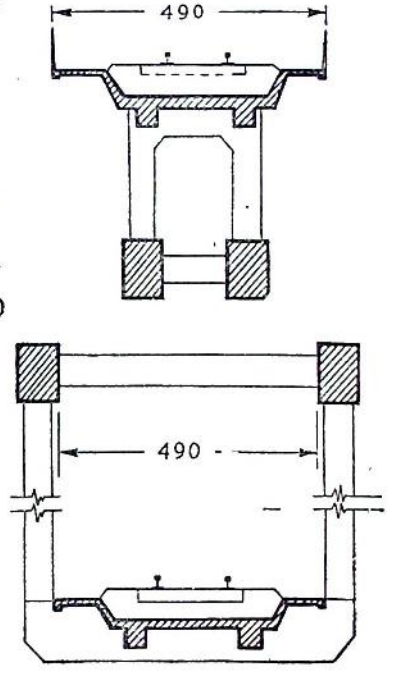


ნახ. 133. შუასავლელი თაღოვანი ხიდის საერთო ხედი.

კამარებს შორის მანძილის გაზრდა ბურჯების სიგანის მომატებას იწვევს. ამიტომ მცირე და საშუალო მალების დროს შუასავლელი ხიდები, როგორც წესი, უფრო არაეკონომიურია, ვიდრე ზესავლელი. მეორეს მხრივ, შუასავლელ ხიდებს დიდი დადებითი მხარე ახასიათებს. ეს არის სამშენებლო სიმაღლის შედარებითი სიმცირე: სავალი ნაწილი აქ უფრო დაბლაა განლაგებული, ვიდრე ზესავლელ ხიდებში. ამასთან, ხიდქვეშა არე უფრო თავისუფალია და უმჯობესდება სანაოსნო პირობები. ამიტომ მცირე და საშუალო მალების თაღოვან ხიდებში შუასავლელი მალის ნაშენები უნდა ვიხმაროთ ისეთ შემთხვევაში, როდესაც მცირე სამშენებლო სიმაღლის, ან ხიდქვეშა გაბარიტის პირობების გამო ზესავლელი მალის ნაშენები არ გამოდგება. აღსანიშნავია, რომ დიდი მალების დროს სხვა სურათი გვაქვს: როგორც ვიცით, მალის ნაშენის განივი სიხისტის პირობები ამ დროს მოითხოვს ზესავლელი

ხიდების კამარებს შორის მანძილის გაზრდას, ამიტომ მათი ზემოაღნიშნული უპირატესობა ისპობა.

განვიხილოთ მონოლითური რკინაბეტონის შუასავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია. ასეთი მალის ნაშენის მაგალითი მოყვანილია ნახ. 135-ზე; იგი ორლიანდაგიანია, რაც, ცხადია, პრინციპულად არ ცვლის გადაწყვეტას. მალის ნაშენის ძირითადი მზიდი კონსტრუქციაა ორი ცალკეული კამარა 1. კამარების მუშაობის პირობები ისეთივეა, როგორც ზესავლელ ხიდებში, ამიტომ მათი კონსტრუქციაც დიდად არ განსხვავდება უკვე განხილულისაგან. ჩვენს შემთხვევაში კამარები ორტესებრი კვეთისაა, შეიძლება მათ კოლოფისებური კვეთიც ჰქონდეს. ზესავლელი ხიდების მსგავსად, კამარების სისქე თანდათან მატულობს კლიტიდან ქუსლისაკენ. ამ მხრივ აღსანიშნავია, რომ იშვიათად იხმარება სხვა გადაწყვეტაც, კამარების სისქის შემცირებით ქუსლისაკენ ისე, რომ მინიმალური სისქე მათ აქვს ქუსლისა და მეოთხედის კვეთებს შორის, სავალი ნაწილის ზოლთან გადაკვეთის მახლობლად. ასეთი ხიდის სქემა მოყვანილია ნახ. 136-ზე. არსებობს აზრი, რომ კამარების ასეთი მოხაზულობა ღუნავი მომენტების შემცირებას იძლევა; ხიდის გარეგნობა ხშირად კარგი გამოდის[1].

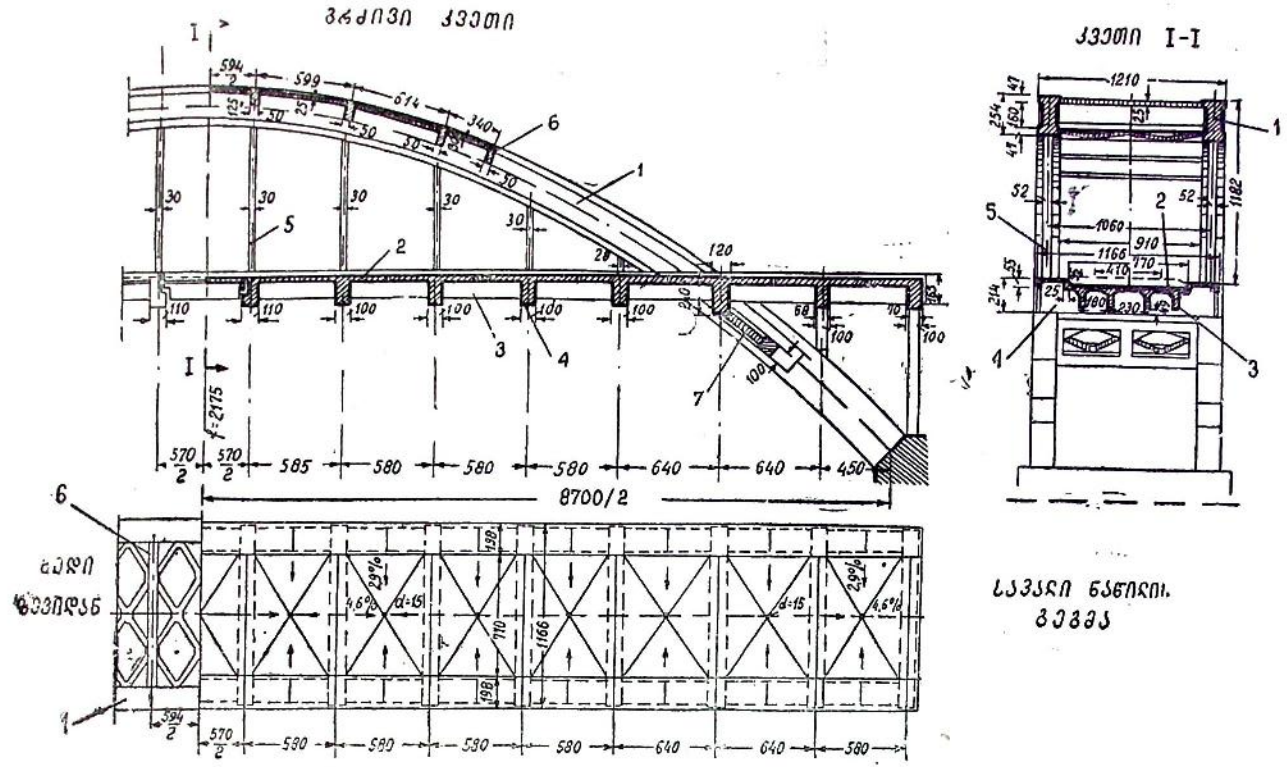


ნახ. 134. ზესავლელი და შუასავლელი ხიდების განივკვეთის შედარებითი სქემა.

სავალი ნაწილის კონსტრუქცია მალის სხვადასხვა უბნებში სხვადასხვაგვარია. განაპირა უბნებში, სადაც სავალი ნაწილი კამარების ზევითაა მოთავსებული, ზედნაშენს ჩვეულებრივი სახე აქვს; ის საკმარისად იყო აღწერილი § 20-ში, ამიტომ აქ მასზე აღარ შევჩერდებით. ჩვენთვის განსაკუთრებით საინტერესოა მალის შუა ნაწილი, სადაც სავალი ნაწილი კამარების ქვევითაა მოთავსებული და ამ უკანასკნელზე ჰკიდია. ეს ნაწილი შემდეგი აგებულებისაა (ნახ. 135): სავალი ნაწილის ფილა 2 ეყრდნობა გრძივ კოჭებს 3; ეს კოჭები თავის მხრივ ეყრდნობა განივ კოჭებს 4, რომლებიც საკიდებზეა ჩამოკიდებული. საკიდები 5 დატვირთვას გადასცემს განივი კოჭებიდან კამარებს; ადვილი გასაგებია, რომ გრძივი კოჭები მუშაობს ღუნვაზე ხიდის გასწვრივ, განივი კოჭები—ხიდის მართობულად, საკიდები კი გაჭიმვაზე.

კამარების განივი მდგრადობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მათი ერთმანეთთან შეერთება. ამ მიზნით კლიტის არეში, იქ სადაც გაბარიტი ნებას გვაძლევს, კამარებს შორის კეთდება შემაერთებელი განმბრჯენები 6 და

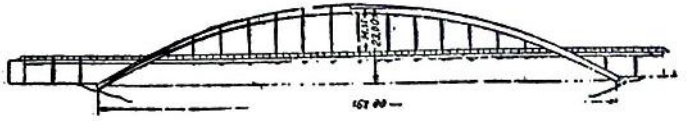
[1] იხ. წიგნის I ნაწილი, § 4. ნახ. 41.



ნახ. 135. შუასავლელი მალის ნაშენის კონსტრუქცია.

ზოგჯერ დამატებითი დიაგონალებიც, როგორც ეს ნახ. 135-ზეა ნაჩვენები. ამავე დანიშნულებას ასრულებს განივი კავშირები 7 სავალი ნაწილის ქვევით.

შუასავლელი მალის ნაშენის ერთ-ერთ კონსტრუქციულ თავისებურებას წარმოადგენს სავალ ნაწილში ნაკერების არსებობა. მათი საჭიროება შემდეგი მოსაზრებებით აიხსნება: როგორც ვიცით, სავალი ნაწილის ზოლი (ფილა, გრძივი კოჭები) კამარებს ჰკვეთს ქუსლის დონის ზევით; თუ გადაკვეთის წერტილებში სავალ ნაწილს ხისტად შევაერთებთ კამარებთან და უწყვეტად დავტოვებთ მათ შორის, იგი იმუშავებს როგორც შემკვრელი და თავის თავზე მიიღებს კამარების განმბრჯენის ნაწილს; ეს არასასურველია: სავალი ნაწილის ელემენტებში წარმოიშვება გამჭიმავი ძაბვები, რაც ბზარების წარმოქმნის საშიშროებას ქმნის და გაართულებს მათ კონსტრუქციას; მეორეს მხრივ კამარების და ბურჯების მუშაობის პირობებიც უფრო გაურკვეველი ხდება. ამიტომ უმჯობესია გამოვრთოთ სავალი ნაწილი კამარების განმბრჯენზე მუშაობიდან; ამისთვის კი საჭიროა მოვაწყოთ ნაკერი სავალი ნაწილის იმ უბანში, რომელიც კამარებს შორისაა მოთავსებული. ნაკერების კონსტრუქციული განხორციელება სხვადასხვა ხერხით შეიძლება. სათანადო სქემები მოყვანილია ნახ. 137-ზე. ამ ხერხების შედარების დროს მხედველობაში უნდა



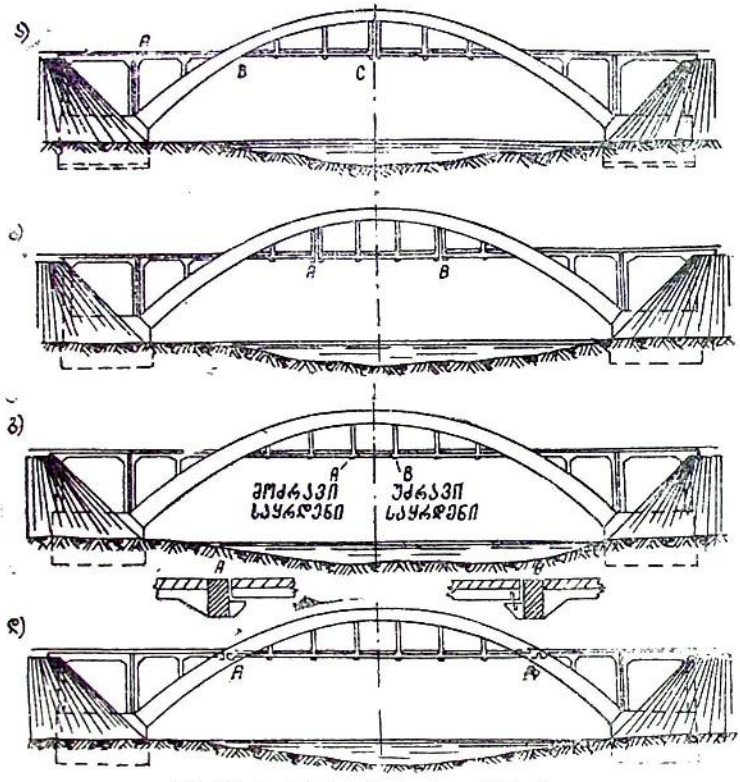
ნახ. 136. შუასავლელი თაღოვანი ხიდი ჭუსლისაკენ გაწვრილებული კამარებით.

მივიღოთ სავალი ნაწილის მუშაობა თარაზულ ძალებზე (ქარის დატვირთვა) და ხიდის გარეგნობა. ნახ. 137, ა-ზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით ნაკერი განხორციელებულია მალის შუაში, რისთვისაც შუა საკიდი ორმაგი კეთდება, ისე რომ სავალი ნაწილის ორივე უბანი ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელია. ადვილი წარმოსადგენია, რომ ქარის განივი დატვირთვის მოქმედების დროს სავალი ნაწილის BC-ს უბანი მუშაობს როგორც კონსოლი, ჩამაგრებული B კვეთში. კონსოლის სიგრძე საკმარისად დიდი გამოდის და ამიტომ ასეთი სქემა არახელსაყრელია, მით უფრო, რომ არქიტექტურულად ორმაგი საკიდები ცუდ შთაბეჭდილებას სტოვებს. არასასურველია ამავე მოსაზრებით სქემა 137, ბ; აქ წყვილი საკიდებით გაკეთებულია ორი ნაკერი. ქარის განივი დაწოლის დროს სავალი ნაწილის შუა AB უბანს საყრდენი არა აქვს და მისი უძრაობა უზრუნველყოფილი უნდა იყოს საკიდების ღუნვაზე მუშაობით, რაც ართულებს მათ კონსტრუქციას.

ნახ. 137, გ-ზე ნაჩვენებია სქემა, სადაც ნაკერები განხორციელებულია მალის შუაში შეკიდული პანელის მოწყობით. ამ პანელის ერთი საყრდენი მოძრავია, ისე რომ თავისუფალი გრძივი დეფორმაციის საშუალება იქმნება. თარაზულ ძალებზე სავალი ნაწილი ისევ კონსოლის სახით მუშაობს, მაგრამ ხიდის გარეგნობა უკეთესია. ნახ. 137, დ სქემაზე ნაკერი გადატანილია სავალი ნაწილის კამარასთან გადაკვეთის წერტილში, სადაც მოწყობილია თავისუფალი საყრდენი (კვანძი A). თარაზული დატვირთვების მოქმედებისას სავალი ნაწილი წარმოადგენს ორ საყრდენზე მდებარე AB კოჭს. ამ სქემას ერთი ნაკლი აქვს: ტემპერატურული გაფართოების დროს საყრდენი ნაწილის კვე-

თები გადაინაცვლებს უძრავი საყრდენიდან მოძრავი A საყრდენისაკენ, ამიტომ ყველაზე მეტი გადაადგილება A ბოლოსთან იქნება და მოკლე საკიდი, მოთავსებული ამ ბოლოსთან, მნიშვნელოვან ღუნვას განიცდის. ამიტომ ეს საკიდი სახსროვანი უნდა გაკეთდეს, რაც ართულებს მის კონსტრუქციას. მიუხედავად ამისა, ყველაზე უფრო გავრცელებულია ნაკერების მოწყობა 137, გ და დ სქემების მიხედვით. ნახ. 135-ზე ნაჩვენებ მალის ნაშენში ნაკერი განხორციელებულია შეკიდული პანელის საშუალებით, ე. ი. 137, გ სქემის თანახმად.

ამგვარად, ჩვენ განვიხილეთ შუასავლელი მალის ნაშენები, შესრულებული მონოლითური რკინაბეტონისაგან. კონსტრუქციის შედარებითი სირთულის გამო



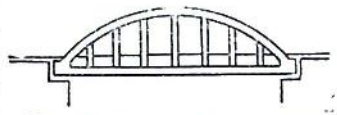
ნახ 137. ნაკერების მოწყობა სავალ ნაწილში.

ნაკრები რკინაბეტონი ასეთ მალის ნაშენებში იშვიათად გამოიყენება. ჩვენში აშენდა რამდენიმე მალის ნაშენი, სადაც სავალი ნაწილი (საკიდები, გრძივი და განივი კოჭები, ფილა) ნაკრები სახით იყო შესრულებული.

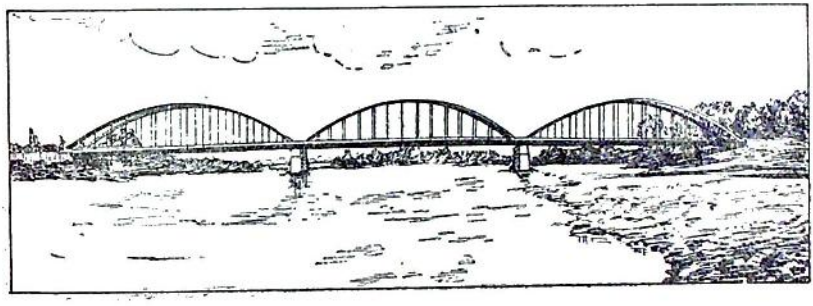
§ 24. ქვესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენები შეკვრელიანი კამარებით. მუშაობის პირობები და ძირითადი ტიპები

შუასავლელი ხიდებისაგან განსხვავებით, ქვესავლელი ხიდების მალის ნაშენში მხიდი კამარები მთლიანად სავალი ნაწილის ზევითაა მოთავსებული. ქვესავლელი (თაღოვანი) კამაროვანი მალის ნაშენის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 138-ზე, ხიდის საერთო ხედი კი—ნახ. 139-ზე.

გარდა სავალი ნაწილის მდებარეობისა, ქვესავლელი მალის ნაშენები განსხვავდება აქამდე განხილული ზესავლელი და შუასავლელი მალის ნაშენებისაგან აგრეთვე მზიდი კონსტრუქციის სქემით და მუშაობის პირობებით. ქვესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის მთავარი მზიდი კონსტრუქცია კომბინირებული სისტემისაა. მის შემადგენლობაში შედის ორი ძირითადი ელემენტი (ნახ. 140): კამარა—1 და შემკვრელი 2, რომელიც კამარის ქუსლება ჰკრავს; გარდა ამისა, კამარასა და შემკვრელს შორის მოთავსებულია საკიდები 3. შემკვრელი თავის თავზე იღებს კამარის განმბრჯენს, ამიტომ საყრდენებს მხოლოდ შეეფული რეაქციები გადაეცემა. ამგვარად, ქვესავლელი მალის ნაშენები გარეგნულად უგანმბრჯენო სისტემას წარმოადგენს, მათი ბურჯების მუშაობის პირობები ისეთივეა, როგორც კოჭური ხიდების ბურჯებისა. რაც შეეხება თვით მალის ნაშენის მუშაობას, იგი, ცხადია, არ განსხვავდება ზესავლელი (ან შუასავლელი) მალის ნაშენის მუშაობისაგან: განმბრჯენი, რომელიც შემკვრელში ვითარდება, იწვევს მალის ნაშენში მღუნავი მომენტების შემცირებას.

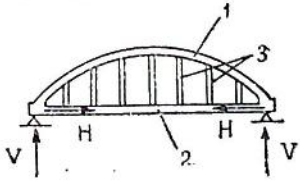


ნახ. 138 ქვესავლელი კამაროვანი მალის ნაშენის სქემა.



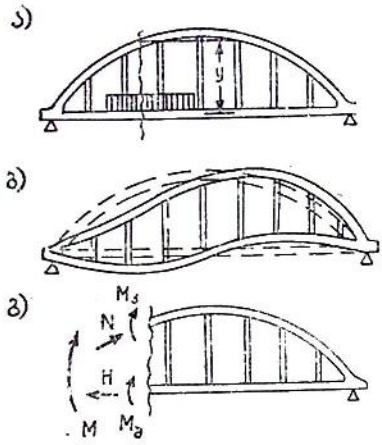
ნახ. 139. ქვესავლელი კამაროვანი ხიდის საერთო ხედი.

ქვესავლელი მალის ნაშენის აღნიშნული თავისებურება განსაზღვრავს მის გამოყენების სფეროს. მომენტების სიმცირის გამო ეს მალის ნაშენი, ისევე როგორც საერთოდ თაღოვანი ხიდები, შეიძლება გამოვიყენოთ დიდი მალების დროს. მეორეს მხრივ, ქვესავლელი მალის ნაშენი, როგორც გარეგნულად კოჭური სისტემა, არ განიცდის არავითარ დამატებით ძაბვებს საყრდენების დაჯდომის ან თარაზული გადაადგილების დროს, ამიტომ მათი ხმარება შეიძლება ნებისმიერ გეოლოგიურ პირობებში, კერძოდ სუსტი გრუნტების დროს. ამაში მდგომარეობს ქვესავლელი თაღოვანი ხიდების ერთ-ერთი უპირატესობა. მეორე დადებითი მხარე ის არის, რომ ამ მალის ნაშენებს მცირე სამშენებლო სიმაღლე ახასიათებს, ამიტომ მათი გამოყენება შესაძლებელია შეზღუდული ადგილობრივი პირობების დროს. ამასთან, ქვესავლელ მალის ნაშენებს უარყოფითი მხარეებიც აქვს. ერთ-ერთი მათგანი, და-



ნახ. 140. ქვესავლელი კამაროვანი მალის ნაშენის მზიდი კონსტრუქციის სქემა.

კავშირებული ქვედა სვლასთან, გაშუქებული იყო შუასაველი ხიდების განხილვის დროს: კამარები მოთავსებული უნდა იყოს გაბარიტის ფარგლებს გარეთ, რის გამო რთულდება სავალი ნაწილის კონსტრუქცია, მძიმდება მალის ნაშენი და მატულობს ბურჯების სიგანე. ამიტომ ეკონომიურობის მხრივ ქვესასვლელი მალის ნაშენი ჩამოუვარდება ზესავლელს. მეორე უარყოფით მხარეს ტექნიკური ხასიათი აქვს: მალის ნაშენის შემადგენლობაში შედის მძლავრი გაჭიმული ელემენტი—შემკვრელი, გაჭიმვას განიცდის სავალი ნაწილის ელემენტებიც; როგორც ქვემოთ დავინახავთ, ეს კონსტრუქციის გართულებას იწვევს და ბზარების წარმოქმნის საშიშროებას ქმნის. ამიტომ უკანასკნელ დრომდე ქვესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენები შედარებით იშვიათად იხმარებოდა; უკანასკნელ წლებში წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს უფრო ფართოდ ვიხმაროთ ასეთი სისტემის მალის ნაშენები; მათი გამოყენების სფერო განისაზღვრება 30—120 მ-ს ტოლი მალებით.



ნახ. 141. შემკვრელიანი კამარის მუშაობის სქემა.

განვიხილოთ შემკვრელიანი კამარების მუშაობის პირობები და ძირითადი ტიპები. გარეშე დატვირთვის მოქმედების დროს კამარა განიცდის კუმშვას, შემკვრელი კი გაჭიმვას; გარდა ამისა, სისტემის ნებისმიერ კვეთში წარმოიშვება მღუნავი მომენტი, რომლის სიდიდე, როგორც § 19-ში იყო აღნიშნული, ტოლი იქნება

$$M = M_0 - Hy, \qquad (24.1)$$

სადაც M_0—მღუნავი მომენტია იმავე მალის ჰრიალ კოჭში იმავე დატვირთვისაგან, H—განშბრჯენი და y—კამარის ორდინატი განსახილველ კვეთში (ნახ. 141, ა).

დატვირთვის მოქმედება შემკვრელიანი კამარის დეფორმაციას იწვევს; მისი სახე ნაჩვენებია ნახ. 141, ბ-ზე. როგორც ვხედავთ, ღუნვას განიცდის ორივე ძირითადი ელემენტი—როგორც კამარა. ისე შემკვრელი. ამიტომ ცხადია, რომ მთლიანი მღუნავი მომენტი M სისტემის ნებისმიერ კვეთში უნდა განაწილდეს ამ ორ ელემენტს შორის. განაწილების კანონის გამორკვევა შემდეგი მოსაზრებით შეიძლება: საკიდები, რომლებიც კამარასა და შემკვრელს აერთებენ, გაჭიმვაზე მუშაობს; მათი გრძივი დეფორმაციები უმნიშვნელოა და შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ. ამიტომ გაღუნვის დროს კამარისა და შემკვრელის განივი დეფორმაციები ყოველ კვეთში ერთნაირი იქნება; ცხადია, რომ ამის გამო ერთნაირი იქნება მათი დრეკადი ხაზის სიმრუდეც ნებისმიერ კვეთში. ახლა მოვიგონოთ ცნობილი დამოკიდებულება მღუნავი მომენტის სიდიდესა და ელემენტის დრეკადი ხაზის სიმრუდეს შორის: $M = \frac{1}{\rho} EI$ (აქ $\frac{1}{\rho}$ სიმრუდეა, EI კი ელემენტის სიხისტე). აქედან ცხადია, რომ ტოლი სიმრუდის გამო მომენტების სიდიდე სიხისტის პროპორციული იქნება. ამგვარად,

საბოლოოდ შეიძლება დავასკვნათ, რომ მღუნავი მომენტი შემკვრელიანი კამარის ნებისმიერ კვეთში ნაწილდება კამარასა და შემკვრელს შორის მათი სიხისტეების პროპორციულად:

$$\frac{M_კ}{M_ჭ}=\frac{E_კ I_კ}{E_ჭ I_ჭ}; \tag{24.2}$$

აქ $M_კ$, $M_ჭ$ —კამარისა და შემკვრელის მღუნავი მომენტებია, $E_კI_კ$, $E_ჭI_ჭ$ კი—ამავე ელემენტების სიხისტე. გარდა ამისა, ცხადია, რომ წონასწორობის პირობის გამო კამარისა და შემკვრელის მომენტების ჯამი სისტემის სრული M მომენტის ტოლი უნდა იყოს (ნახ. 141, გ):

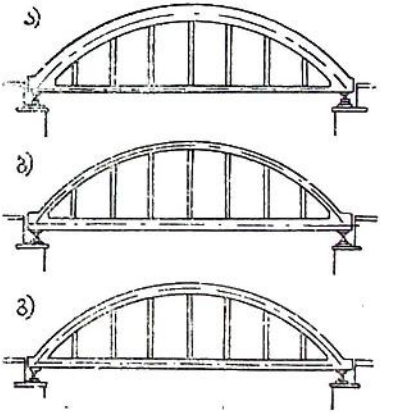
$$M_კ+M_ჭ=M. \tag{24.3}$$

(24.2) და (24.3) განტოლებებიდან შეიძლება მივიღოთ $M_კ$, $M_ჭ$ მომენტების გამოსახულება:

$$M_კ=M\frac{1}{1+\frac{E_ჭ I_ჭ}{E_კ I_კ}};$$
$$M_ჭ=M\frac{1}{1+\frac{E_კ I_კ}{E_ჭ I_ჭ}}; \tag{24.4}$$

აქ M სრული მღუნავი მომენტია შემკვრელიანი კამარის კვეთში, განსაზღვრული (24.1) ფორმულით.

მიღებული ფორმულები გვიჩვენებს, რომ მღუნავი მომენტის განაწილება კამარასა და შემკვრელს შორის მართლაც დამოკიდებულია მათი სიხისტეების ფარდობაზე. შესაბამისად იცვლება სისტემის ელემენტების მუშაობის პირობებიც. სიხისტეთა ფარდობის სხვადასხვა სიდიდის დროს მივიღებთ შემკვრელიანი კამარის სხვადასხვა სახეობას. ძირითადად უნდა განვასხვაოთ შემკვრელიანი კამარის სამი ტიპი: ხისტი კამარა დრეკადი შემკვრელით, დრეკადი კამარა ხისტი შემკვრელით და ხისტი კამარა ხისტი შემკვრელით (ნახ. 142). განვიხილოთ ამ სისტემების ძირითადი დამახასიათებელი თვისებები.



ნახ. 142. შემკვრელიანი კამარების ძირითადი ტიპები.

ხისტი კამარა დრეკადი შემკვრელით ხასიათდება იმით, რომ კამარის კვეთის ზომები და სიხისტე გაცილებით მეტია, ვიდრე შემკვრელისა (ნახ. 142, ა). ასეთ ტიპს მიეკუთვნება ისეთი სისტემები, სადაც კამარის სიხისტე 80÷100-ჯერ სჭარბობს შემკვრელის სიხისტეს.

$$\frac{E_კ I_კ}{E_ჭ I_ჭ}\geqslant 80\div 100.$$

როგორც (24.4) ფორმულები გვიჩვენებს, ასეთი თანაფარდობის დროს თითქმის მთელი მღუნავი მომენტი გადაეცემა კამარას, შემკვრელში კი მო-

მენტი უმნიშვნელოა და ის პრაქტიკულად შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ. ამგვარად, ასეთ სისტემაში კამარა განიცდის კუმშვასა და ღუნვას, შემკვრელი კი სუფთა გაჭიმვას.

შებრუნებულ სურათს წარმოადგენს დრეკადი კამარა ხისტი შემკვრელით. აქ შემკვრელის კვეთის ზომები გაცილებით მეტი უნდა იყოს, ვიდრე კამარის კვეთისა (ნახ. 142, ბ), ისე რომ შემკვრელის სიხისტე სჭარბობდეს კამარის სიხისტეს 80÷100 ჯერ მაინც:

$$\frac{E_შ I_შ}{E_კ I_კ} \geqslant 80 \div 100;$$

ასეთ შემთხვევაში, (24.4) ფორმულების თანახმად, პრაქტიკულად მთელი მღუნავი მომენტი გადაეცემა შემკვრელს. იგი იმუშავებს გაჭიმვასა და ღუნვაზე, კამარა კი—სუფთა კუმშვაზე.

შემკვრელიანი კამარის მესამე ტიპი, ხისტი კამარა ხისტი შემკვრელით, მუშაობის პირობების მიხედვით შუალედ გადაწყვეტას წარმოადგენს (ნახ. 142, გ); კამარისა და შემკვრელის კვეთის ზომები აქ დიდად არ განსხვავდება, ამიტომ მათი სიხისტეებიც ახლოა ერთმანეთთან. მღუნავი მომენტი გადაეცემა ორივე ელემენტს. კამარა განიცდის კუმშვასა და ღუნვას, შემკვრელი კი გაჭიმვასა და ღუნვას. აღსანიშნავია, რომ საკიდები ყველა შემთხვევაში მცირე კვეთისაა და მუშაობს გაჭიმვაზე.

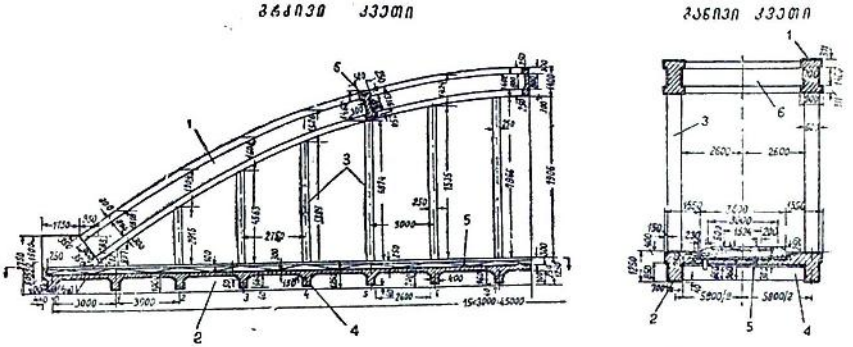
ადვილი გასაგებია, რომ შემკვრელიანი კამარების განხილული ტიპების განხორციელება სხვადასხვა კონსტრუქციულ გადაწყვეტას მოითხოვს. მალის ნაშენების სათანადო კონსტრუქციები შემდეგ პარაგრაფში იქნება განხილული. იქვეა მოცემული შემკვრელიანი კამარების ძირითადი ტიპების ტექნიკური დახასიათება და შედარება.

§ 25. კონსტრუქცია თაღოვანი მალის ნაშენებისა შემკვრელიანი კამარებით

პირველ რიგში განვიხილოთ მალის ნაშენები ხისტი კამარითა და ხისტი შემკვრელით. ასეთი კონსტრუქციის მაგალითი მოყვანილია ნახ. 143-ზე. კამარა 1 და შემკვრელი 2 დაახლოებით ერთნაირი კვეთისაა, რაც იწვევს მათი სიხისტეების სიდიდის მსგავსობას. კამარასა და შემკვრელს შორის მოთავსებულია გაჭიმვაზე მომუშავე საკიდები 3. უკანასკნელთა სიბრტყეში მოთავსებულია განივი კოჭები 4, რომლებზედაც ეყრდნობა სავალი ნაწილის ფილა 5. კამარების განივი მდგრადობის უზრუნველსაყოფად მათ შორის მოწყობილია განმბრჯენები 6. აღსანიშნავია, რომ სავალი ნაწილის შემადგენლობაში ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება დამატებით მოეწყოს გრძივი კოჭები; ხალის ნაშენის განივკვეთის ვარიანტი ასეთი აგებულების სავალი ნაწილის დროს ნაჩვენებია ნახ. 144-ზე.

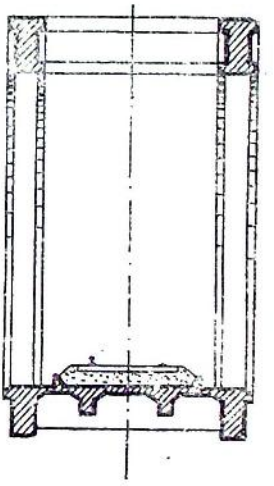
არმირების თვალსაზრისით საგულისხმოა შემკვრელის კონსტრუქცია. კამარის არმირება არავითარ თავისებურებას არ შეიცავს და ხდება ჩვეულებრივი წესით. საკიდები არმირებულია სწორი ღეროებით, რომლებიც გაჭიმვაზე მუშაობენ; ჩვეულებრივ მათი ფართობი შეირჩევა ისე, რომ მთელ გამჭიმავ ძალვას მხოლოდ არმატურა იღებს თავის თავზე, ბეტონი კი დამცველ შრეს წარმოადგენს. რაც შეეხება შემკვრელს, ის, როგორც ვიცით, მუშაობს გაჭიმვასა და ღუნვაზე; ამიტომ მისი არმატურა უნდა შეღებოდეს სწორი ღეროებისაგან, რომლებიც ჩამაგრებულია საყრდენ კვანძებში და თავის თავზე ღებულობს განმბრჯენს. ამასთანავე ერთად იგივე არმატურა უნდა მუშაობდეს

მღუნავ მომენტზე, ამიტომ უმჯობესია იგი განვალაგოთ შემკვრელის კვეთის განაპირა შრეებში. დადებითი და უარყოფითი მომენტების სიდიდე კამა-



ნახ. 143. თაღოვანი მალის ნაშენის კონსტრუქცია შემკვრელიანი კამარებით,

რაში თითქმის ერთნაირია, ამიტომ შემკვრელის არმატურა ჩვეულებრივ სიმეტრიული კეთდება. ჩამაგრების შესაქმნელად შემკვრელის მთავარი არმატურა საყრდენ კვანძში ირიბადაა აღუნული, რაც ზრდის ღეროების ჩაანკერების სიგრძეს. საყრდენი კვანძის კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 145-ზე.

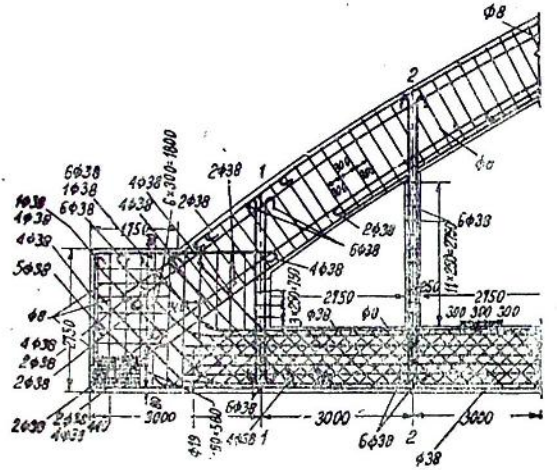


ნახ. 144. სავალი ნაწილის ვარიანტი გრძივი კოჭებით (განივი კვეთი).

განსახილველი მალის ნაშენის კონსტრუქციაში მეტად რთულ ტექნიკურ საკითხს წარმოადგენს ბზარწარმოქმნასთან ბრძოლა. ასეთი საშიშროება არსებობს გაჭიმულ ელემენტებში—შემკვრელში და საკიდებში. გარდა ამისა, შემკვრელთან ხისტადაა შეერთებული სავალი ნაწილის ელემენტები—საბალასტო გობის ფილა, გრძივი კოჭები, ამიტომ ისინიც განიცდიან გამჭიმავ ძაბვებს. ბზარების საწინააღმდეგოდ ყველაზე უფრო რადიკალური საშუალება იქნებოდა ამ ელემენტებში არმატურის წინასწარი დაძაბვის გამოყენება, მაგრამ შემკვრელს, სავალი ნაწილის ფილას ძალიან დიდი კვეთები აქვს და მათი წინასწარ დაძაბვა ტექნიკურად რთული განსახორციელებელია. ამიტომ იძულებული ვართ მივმართოთ ნაკლებად ეფექტურ ხერხებს: შემკვრელის გვერდით ზედაპირებზე იდგმება დამატებითი ბზარსაწინააღმდეგო არმატურა, დახრილი საკიდები (ნახ. 145). სავალი ნაწილის ფილის კვეთში დამატებით ჩაიწყობა გრძივი არმატურა, განაწილებული მისი ზედაპირის გასწვრივ. ეს ღონისძიებანი თუმცა სავსებით ვერ სპობენ ბზარებს, მაგრამ ამცირებენ მათ გახსნილობას დასაშვებ სიდიდემდე. სამწუხაროდ ეს ეფექტი მიიღება არმატურის მნიშვნელოვანი გადახარჯვის შედეგად, ამიტომ მალის ნაშენები ხისტი კამარითა და ხისტი შემკვრელით მეტად არახელსაყრელია. უკანასკნელ ხანებში ისინი თითქმის აღარ იხმარება, ვინაიდან შემკვრელიანი კამარების დანარჩენი ორი ტიპი უკეთეს გადაწყვეტას იძლევა როგორც მონოლითური, ისე ნაკრები რკინაბეტონის ვარიანტში. გადავდივართ მათ განხილვაზე.

მალის ნაშენები ხისტი კამარითა და დრეკადი შემკვრელით შემდეგი უპირატესობით ხასიათდება: მღუნავი მომენტი აქ მთლიანად გადაეცემა კამარას და ამგვარად გაჭიმული ელემენტი—შემკვრელი სავსებით განთავისუფლებულია მომენტის ზეგავლენისაგან. ეს, ცხადია, აუმჯობესებს მისი მუშაობის პირობებს და აადვილებს კონსტრუქციულ გადაწყვეტას. ამგვარად, შიგა ძაბვების განაწილების თვალსაზრისით მალის ნაშენები ხისტი კამარითა და დრეკადი შემკვრელით საუკეთესოდ უნდა ჩაითვალოს. ის ყველაზე უფრო გამოსადეგია მონოლითური სახით განხორციელების დროს. როგორც ქვევით დავინახავთ, ნაკრები რკინაბეტონის გამოყენების დროს ან სამუშაოთა წარმოების სპეციფიკურ პირობებში ზოგჯერ გარკვეული უპირატესობა მალის ნაშენის მესამე ტიპის—ხისტი შემკვრელიანი დრეკადი კამარის მხარეზეა.

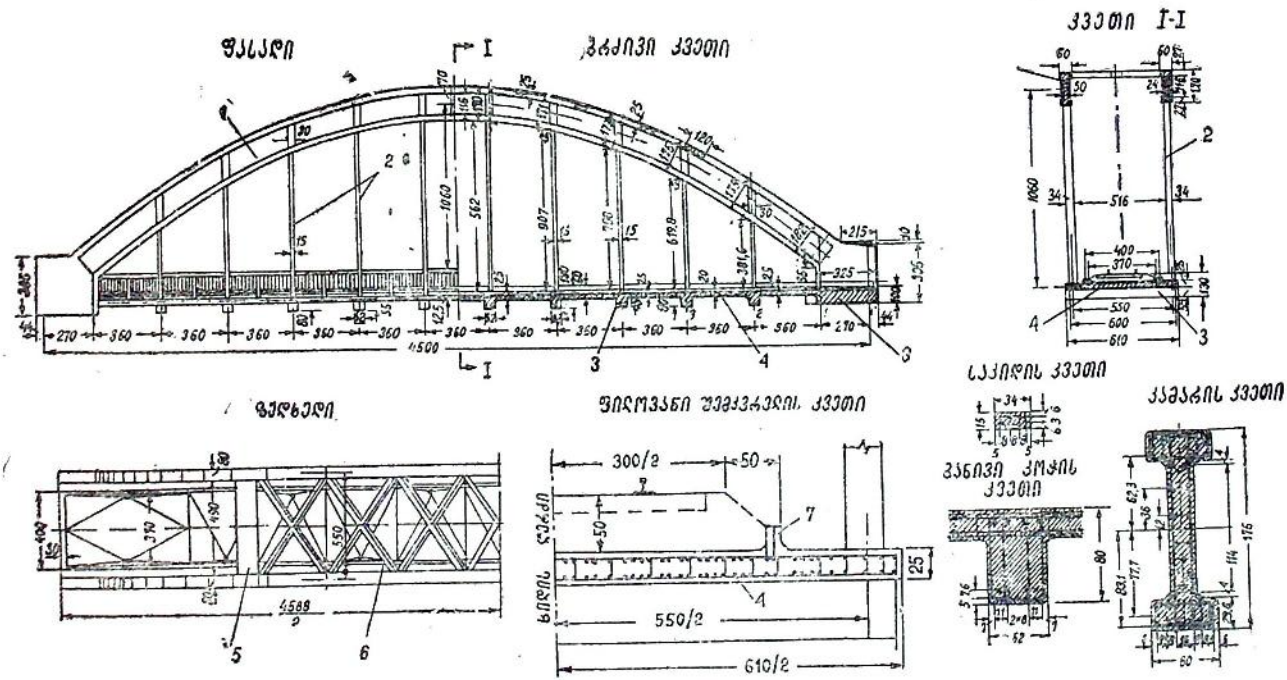
დრეკადი შემკვრელის განხორციელებისათვის საჭიროა მინიმუმამდე დავიყვანოთ მისი სიხისტე, ე. ი. განივკვეთის ზომები. ამას შეიძლება მივაღ-



ნახ. 145. საყრდენი კვანძის კონსტრუქცია.

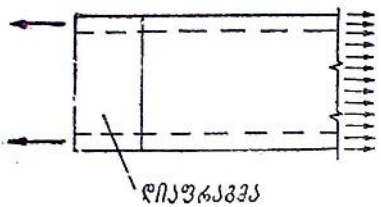
წიოთ ორი ხერხით: ვიხმაროთ თხელი ფილოვანი შემკვრელი ან სუფთა ლითონის შემკვრელი, ბეტონის მინიმალური დამცველი გარსით. ორივე ეს ხერხი გამოყენებას პოულობს ქვესავლელ მალის ნაშენებში. განვიხილოთ მათი კონსტრუქცია.

თაღოვანი მალის ნაშენი ხისტი კამარითა და ფილოვანი შემკვრელით ნაჩვენებია ნახ. 146-ზე. კონსტრუქციის იდეა შემდეგში მდგომარეობს: საგანგებო შემკვრელი არ კეთდება, ამ მიზნით გამოყენებულია სავალი ნაწილის ფილა, რომელსაც მართკუთხა ფორმა აქვს. გაჭიმვაზე მომუშავე არმატურა განაწილებულია ფილის მთელ სიგანეზე. მცირე სიმაღლის გამო ფილის, ე. ი. შემკვრელის სიხისტე გაცილებით ნაკლები გამოდის, ვიდრე კამარებისა, ამიტომ მზიდი კონსტრუქცია მართლაც მუშაობს ხისტი კამარისა და დრეკადი შემკვრელის სქემის მიხედვით. მალის ნაშენის შემადგენლობაში შედის: კამარები 1, საკიდები 2, განივი კოჭები 3 და ფილოვანი შემკვრელი 4. კამარებს შორის მოწყობილია განმბრჯენები 5 და დიაგონალური კავშირები 6. განივი კოჭები უშუალოდ საკიდებზე ჰკიდია და წარმოადგენს საყრდენებს ფილო-



ნახ. 146. თაღოვანი მალის ნაშენი ზისტი კამარითა და დრეკადი ფილოვანი შემკვრელით.

ვანი შემკვრელისათვის. ეს უკანასკნელი, გარდა გაჭიმვაზე მუშაობისა შემკვრელის სახით, მუშაობს აგრეთვე ადგილობრივ ღუნვაზე განივ კოჭებს შორის, როკორც სავალი ნაწილის ფილა. საბალასტო გობის შესაქმნელად ფილა გაკეთებული აქვს ბორტის კედლები 7. საყრდენი კვანძის ფარგლებში ფილა გასქელებულია და ქმნის თარაზულ განივ დიაფრაგმას 8. მისი დანიშნულება შემდეგში მდგომარეობს: თუ განვიხილავთ ფილოვანი შემკვრელის გეგმას (ნახ. 147), დავინახავთ, რომ განმბრჯენი კამარებიდან მას გადაეცემა ნაპირებში, ფილამ კი უნდა იმუშაოს გაჭიმვაზე მთელი კვეთით. ამიტომ საჭიროა კამარებიდან გადმოცემული შეყურსული ძალვების თანაბარი განაწილება შემკვრელის მთელ სიგანეზე. სწორედ ამ როლს ასრულებს დიაფრაგმა, რომელსაც თარაზულ სიბრტყეში დიდი სიხისტე აქვს. გარდა ამისა, დიაფრაგმა გამოყენებულია ფილოვანი შემკვრელის არმატურის უკეთ დასაანკერებლად საყრდენ კვეთში.



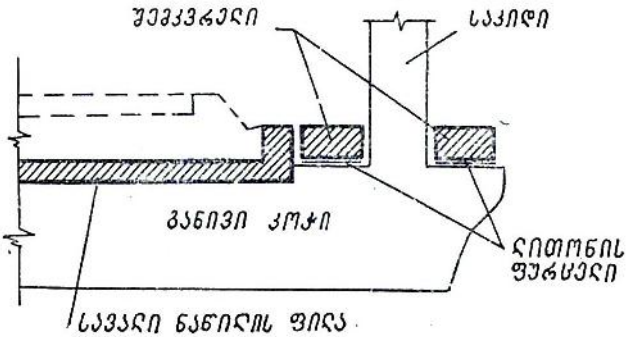
ნახ. 147. ძალვების განაწილება ფილოვანი შემკვრელის კვეთში დიაფრაგმის საშუალებით.

მალის ნაშენები ფილოვანი შემკვრელებით წარმოადგენს საკმარისად რაციონალურ კონსტრუქციას. მათი დადებითი მხარეა მცირე სამშენებლო სიმაღლე და კარგი ეკონომიური მაჩვენებლები, რაც მიღწეულია ფილისა და შემკვრელის ფუნქციების შეთავსებით. მაგრამ მეორეს მხრივ ასეთ შეთავსებას არასასურველი შედეგებიც აქვს: ფილა გაჭიმვაზე მუშაობს და ბზარების თავიდან აცილება საკმარისად ძნელია. შესაძლებელია, რასაკვირველია, ფილოვანი შემკვრელის არმატურის წინასწარ დაძაბვა, მაგრამ ეს გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. ამ მხრივ უკეთეს მდგომარეობაშია მალის ნაშენი მეორე ტიპის დრეკადი შემკვრელით, რომელიც განხორციელებულია მცირე კვეთის გაჭიმული ელემენტების სახით, სავალი ნაწილისგან დამოუკიდებლივ. გადავდივართ მის განხილვაზე.

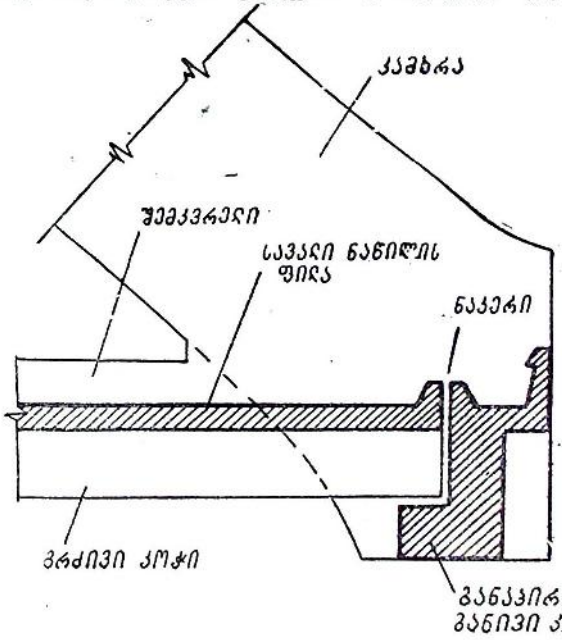
მალის ნაშენი ხისტი კამარითა და მცირეკვეთიანი დამოუკიდებელი დრეკადი შემკვრელებით ხასიათდება იმით, რომ სავალი ნაწილი სავსებით განთავისუფლებულია გამჭიმავ ძალვებზე მუშაობისაგან. ამისათვის მალის ნაშენს განივკვეთში შემდეგი აგებულება აქვს (ნახ. 148): საკიდებზე ჰკიდია განივი კოჭები, რომლებსაც ეყრდნობა სავალი ნაწილის ფილა. ყოველი კამარის შემკვრელი ორტოტიანია. ტოტები მოთავსებულია საკიდის ორივე მხარეს და თავისუფლად ეყრდნობა განივ კოჭს. დაუბრკოლებელი გრძივი ურთიერთგადაადგილების უზრუნველსაყოფად განივკოჭსა და შემკვრელის ტოტებს შორის დატანებულია ლითონის ფურცლები. ამგვარად შემკვრელი სრულებით არ არის დაკავშირებული სავალი ნაწილის ელემენტებთან (განივი კოჭები, საბალასტო გობის ფილა) და მუშაობს მათგან დამოუკიდებლად. სავალი ნაწილი უნდა გამოვრიცხოთ განმბრჯენზე მუშაობისაგან. ამისათვის საკმარისია ფილის ერთ-ერთ კვეთში გამჭოლი ნაკერი გაკეთდეს. ყველაზე ადვილია ეს ნაკერი განხორციელდეს შემდეგნაირად: ფილის შეერთება ერთ-ერთ განაპირა განივ კოჭთან, რომელიც საყრდენ კვანძშია მოთავსებული, კეთდება თავისუფალი დაყრდნობის სახით (ნახ. 149). ამის გამო გამჭიმავი ძალვები კამარიდან სავალ ნაწილს არ გადა-

ეცემა და განმბრჯენს თავის თავზე იღებს მხოლოდ შემკვრელი. ეს დიდი დადებითი მხარეა, რადგან მცირდება სავალ ნაწილში ბზარების წარმოქმნის საშიშროება.

აღწერილ კონსტრუქციაში შემკვრელის კვეთი ძალიან მცირეა, ამიტომ კამარისა და შემკვრელის სიხისტეების შეფარდება სავსებით შეეფერება



ნახ. 148. მალის ნაშენის განივკვეთი მცირეკვეთიანი დამოუკიდებელი შემკვრელების დროს.

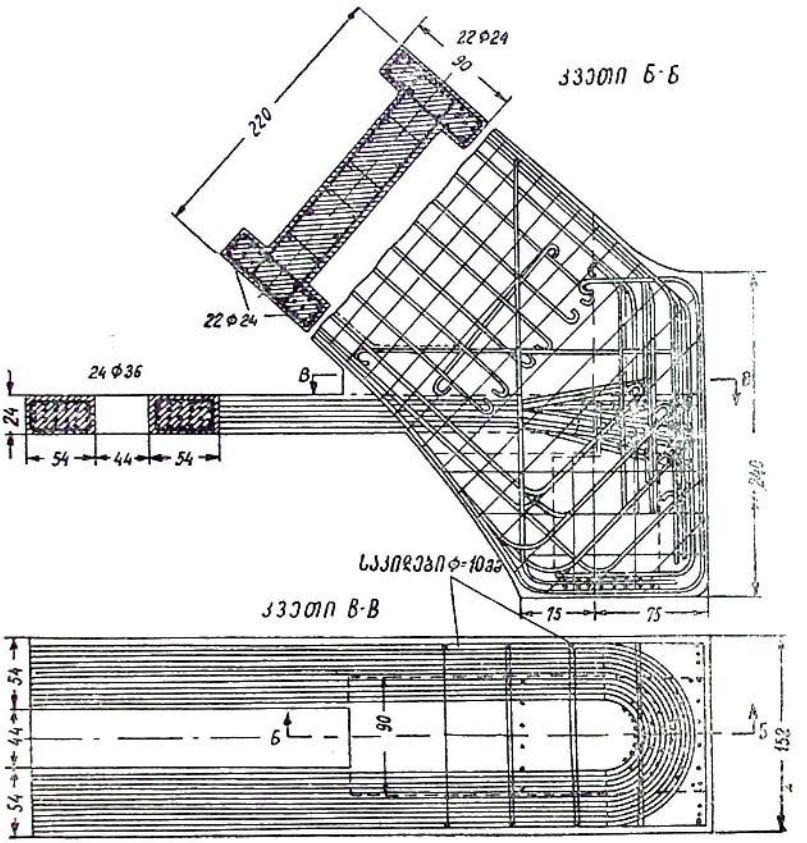


ნახ. 149. მალის ნაშენის საყრდენი კვანძი სავალი ნაწილის თავისუფალი დაყრდნობით.

ხისტი კამარისა და დრეკადი შემკვრელის სქემის პირობებს. კვეთის სიმცირის გამო შემკვრელის არმატურა ძალიან მჭიდროდაა დალაგებული. ფაქტიურად შემკვრელი ფოლადისაა, ბეტონი მხოლოდ დამცველი შრის მოვალეობას ასრულებს. შემკვრელის კვეთი და საყრდენი კვანძის არმირება ნაჩვენებია ნახ.

150-ზე როგორც ვხედავთ, შემკვრელის ორივე ტოტის არმატურა საყრდენ კვეთში ნახევარწრიულადაა მომრგვალებული გეგმაში და ერთმანეთთან დაკავშირებულია შედუღების საშუალებით, ისე რომ შემკვრელის ღეროები გარს უვლიან კვანძში ჩასულ კამარის არმატურას.

მალის ნაშენი ორტოტიანი დამოუკიდებელი შემკვრელებით დაპროექტებულია ინჟინერ ს. ს. ბრიზგაჩოვის მიერ. ადვილი წარმოსადგენია, რომ

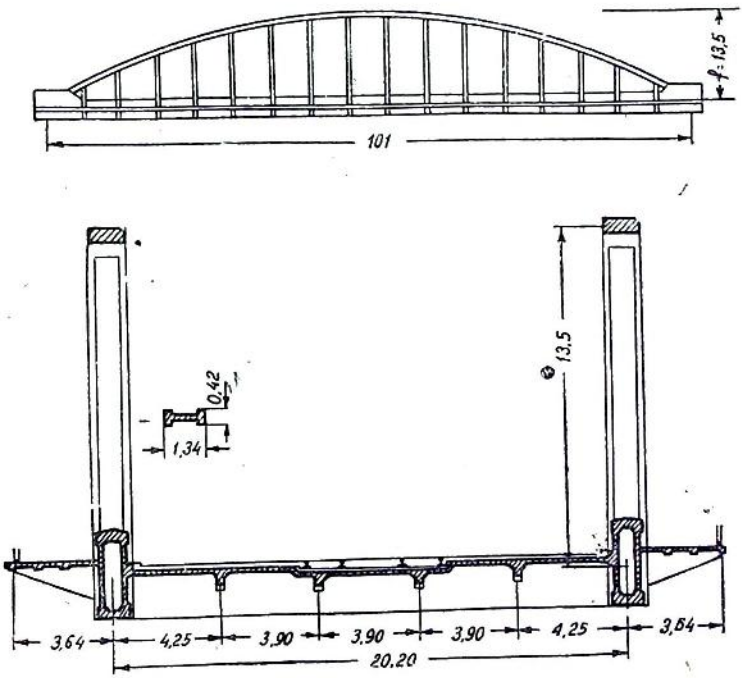


ნახ. 150. საყრდენი კვანძის კონსტრუქცია.

შესაძლებელია შემკვრელის კონსტრუქციის სხვა ვარიანტებიც. კერძოდ, შეიძლება შემკვრელი გაკეთდეს წინასწარდაძაბული არმატურით. მცირე კეთის გამო ეს სიძნელეს არ წარმოადგენს.

განსახილველი დაგვრჩა ქვესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის მესამე ტიპი—დრეკადი კამარითა და ხისტი შემკვრელით. როგორც ვიცით, ასეთ კონსტრუქციაში შემკვრელის სიხისტე იმდენად ჭარბობს კამარის სიხისტეს, რომ ნთელი მღუნავი მომენტი შემკვრელს გადაეცემა, კამარა კი ღუშაობს მხოლოდ კუმშვაზე. ძალვების განაწილება აქ ნაკლებად ხელსაყრელია, ვიდრე ხისტი კამარისა და დრეკადი შემკვრელის

დროს: მღუნავი მომენტის შემკვრელზე გადაცემა არასასურველია, ვინაიდან იგი როგორც გაჭიმული ელემენტი, უფრო ცუდ პირობებში მუშაობს, ვიდრე შეკუმშული კამარა. მიუხედავად ამისა, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ნაკრები კონსტრუქციების გამოყენების თვალსაზრისით დრეკადი კამარა ხისტი შემკვრელით გარკვეული უპირატესობებით სარგებლობს. მართლაც, ასეთ კონსტრუქციაში მონტაჟის მიმდევრობა უნდა იყოს ქვევიდან ზევით. ამიტომ მონტაჟი იწყება მძლავრი ელემენტების—შემკვრელის აწყობით, შემდეგ კი აიწყობა



ნახ. 151. საჭალაჭო ხიდის მალის ნაშენი დრეკადი კამარითა და ხისტი შემკვრელით.

მსუბუქი ზევითა ელემენტები—საკიდები და კამარა. ხისტი კამარის დროს შებრუნებული სურათი გვექნებოდა, რადგან ბოლოს უნდა აგვეწყო კამარის მძიმე ბლოკები. ამგვარად, საწარმოო მოსაზრებები ამ შემთხვევაში დრეკადი კამარისა და ხისტი შემკვრელის მხარეზეა. შემკვრელის კონსტრუქციის გასაუმჯობესებლად იგი უნდა გაკეთდეს წინასწარდაძაბული არმატურით. სათანადო კონსტრუქციები აღწერილი იქნება VI თავში.

ზოგიერთ შემთხვევაში საჭიროა მალის ნაშენის დაბეტონება ან აკრეფა ნაპირზე და შემდეგ მთლიანი სახით გადატანა მალში, გადაგორების ან დაცურების საშუალებით. მშენებლობის ასეთი ხერხი მიზანშეწონილია მდინარის დიდი სიღრმის ან ინტენსიური ნაოსნობის დროს, როდესაც მალში ხარაჩოების მოწყობა რთული ან შეუძლებელია. ასეთ შემთხვევაშიც ხისტშემკვრელიან კამარებს გარკვეული უპირატესობა აქვს: ქვედა ხისტი ელემენტის—მძლავრი შემკვრელის არსებობა აადვილებს მალის ნაშენის გადატანას.

ხისტშემკვრელიანი და დრეკადკამარიანი სქემის მისაღებად საჭიროა გავზარდოთ შემკვრელის კვეთი და მინიმუმამდე დავიყვანოთ კამარის კვეთი. ამისათვის კამარა კეთდება მაღალი მარკის ბეტონისაგან; შეიძლება გამოვიყენოთ ყველა ის ხერხი, რომლებიც ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე რკინაბეტონის ელემენტის ზიდვის უნარს ზრდის: არმირების მაღალი პროცენტი, სპირალური ხვეულები და სხვა. ამ ტიპის მალის ნაშენის ერთ-ერთ შესანიშნავ მაგალითს წარმოადგენს საქალაქო ხიდი, დაპროექტებული და განხორციელებული ცნობილი ხიდმშენებლის აკადემიკოს პ ე რ ე დ ე რ ი ს მ ი ე რ (ნახ. 151). შემკვრელებს მძლავრი კოლოფისებური კვეთი აქვს, კამარებს კი მართკუთხა კვეთი. მისი ზომების შესამცირებლად კამარა დაარმირებულია ფოლადის მილებით, რომლებიც ამოვსებულია მაღალი სიმტკიცის ხსნარით. მალის ნაშენები დაბეტონებული იყო ნაპირზე და შემდეგ პონტონების საშუალებით დაცურებულ მდგომარეობაში მიტანილი იყო მალ'ში. ხიდის მეორე თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ კამარებს შორის ზედა კავშირები არ არის და მათი განივი მდგრადობა საკიდების განივი სიხისტითაა უზრუნველყოფილი. ასეთ ხიდებს ღ ი ა ხ ი დ ე ბ ი ეწოდება.

§ 26. თაღოვანი ხიდების ბურჯების კონსტრუქცია

წინა პარაგრაფებში განხილული იყო თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენების სხვადასხვა ტიპი. ახლა საჭიროა ბურჯების კონსტრუქციის განხილვა.

ქვესავლელი თაღოვანი ხიდების ბურჯების განხილვა საჭირო არ არის: როგორც ვიცით, ასეთი ხიდების მალის ნაშენები საყრდენი რეაქციების თვალსაზრისით კოჭურ სისტემას წარმოადგენს. ამიტომ მათი ბურჯები არაფრით არ განსხვავდება კოჭური ხიდების ბურჯებისაგან, რომლებიც უკვე განხილული იყო § 10 და § 11-ში. აქ ჩვენ გვაინტერესებს მხოლოდ ზესავლელი და შუასავლელი თაღოვანი ხიდების ბურჯები.

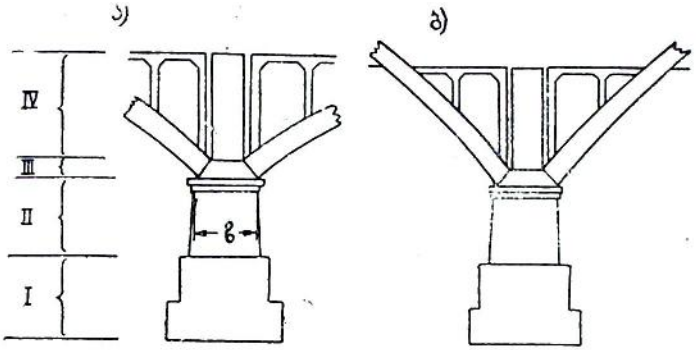
ზესავლელი და შუასავლელი თაღოვანი მალის ნაშენები განმბრჯენიანი სისტემაა. მათი ზემოქმედება ბურჯებზე ისეთივე სახისაა, როგორც ქვის თაღოვანი მალის ნაშენებისა. აქედან ცხადია, რომ ბურჯების მუშაობის პირობები და საერთო სახე ისეთი უნდა იყოს, როგორც ეს ქვის ხიდების კურსში იყო შესწავლილი[1]. თავისებურია მხოლოდ ზოგიერთი ნაწილისა და კვანძის კონსტრუქციული გადაწყვეტა.

განვიხილოთ პირველ რიგში შ უ ა ლ ე დ ი ბ ურ ჯ ე ბ ი ს კ ო ნ ს ტ რ უ ქ ც ი ა. ნახ. 152, ა-ზე ნაჩვენებია ზესავლელი თაღოვანი ხიდის, ხოლო 152,ბ-ზე — შუასავლელი ხიდის შუალედი ბურჯის საერთო სახე. როგორც ვხედავთ, ბურჯების აგებულება ორივე შემთხვევაში ერთნაირია. ქვის ხიდების ბურჯების მსგავსად, ამ ბურჯებსაც შემდეგი ძირითადი ნაწილები აქვს: I—საძირკველი, II—ბურჯის ტანი, III—გარდამავალი ნაწილი და IV—თაღზედა ნაწილი. ბურჯის ტანი არავითარ თავისებურებას არ შეიცავს და ისეთივე აგებულებისაა, როგორც ქვის ხიდების ბურჯებში. ამ მხრივ ძალაში რჩება ქვის ხიდების კურსში მოცემული მასალა. ცნობები ბურჯის ტანის თარაზული განივკვეთის შესახებ მოცემული იყო § 10-ში. რაც შეეხება ბურჯის ტანის მასალას, ისევე როგორც კოჭურ ხიდებში, იხმარება ბეტონი ან ყორებეტონი 150—200 მარკისა.

გარდამავალი ნაწილი ხასიათდება იმით, რომ მის ფარგლებში ბურჯს თაღები ან კამარები ეყრდნობა. ეს უკანასკნელნი, როგორც ვიცით, უმეტეს

[1] იხ. წიგნის პირველი ნაწილი, თავი 9.

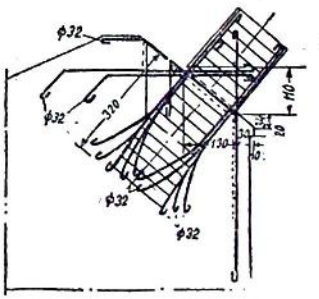
შემთხვევაში უსახსრო კეთდება და მათი არმატურა ჩამაგრებული უნდა იყოს ბურჯის ტანის წყობაში. ამიტომ ბურჯის გარდამავალ ნაწილში კეთდება საგანგებოდ არმირებული საქუსლე. მისი კონსტრუქცია ნახ. 153-ზეა ნაჩვენები. როგორც ვხედავთ, ბურჯის ტანის გარდამავალი ნაწილიდან გამოშვე-



ნახ. 152. თაღოვანი ხიდების შუალედი ბურჯის საერთო სახე:
ა—ზესავლელი ხიდის; ბ—შუასავლელი ხიდის.

რილია ღეროები, რომლებსაც შემდეგში თაღის ან კამარის არმატურა შეუერთდება. შეერთება ორ სიბრტყეში უნდა მოხდეს, ამიტომ გამოშვერილი ღეროები სხვადასხვა სიგრძისაა. გარდა ამისა, საქუსლის კონსტრუქცია დაარმირებულია დამატებითი ღეროებით.

ქვის ხიდებში თაღზედა ნაწილი მუდამ მასიური კეთდებოდა. რკინაბეტონის თაღოვანი ხიდების ბურჯებში შეიძლება სხვადასხვა კონსტრუქცია ვიხმაროთ (ნახ. 154). ცხადია, რომ შესაძლებელია ეს ნაწილი ჩვეულებრივი მასიური სვეტის სახით გაკეთდეს (ნახ. 154, ა). ბურჯის წონის შემცირების მიზნით შეიძლება ვიხმაროთ ფულურო, კოლოფისებური კონსტრუქცია (ნახ. 154, ბ). ამავე მიზნით თაღზედა ნაწილს შეიძლება გეგმაში ორტესებრი ფორმა მივცეთ (ნახ. 154, გ). ზოგჯერ შეიძლება თაღზედა ნაწილი გაკეთდეს გამჭოლი ტიპის, რკინაბეტონის მსუბუქი ჩარჩოს სახით (ნახ. 154, დ). ასეთი კონსტრუქციის დროს მალის ნაშენები არქიტექტურულად უწყვეტად უერთდება ერთმანეთს. დაბოლოს შესაძლებელია ისეთი გადაწყვეტაც, როდესაც თაღზედა ნაწილი სრულებით არა გვაქვს და მეზობელი მალის ნაშენები დაკავშირებულია ერთმანეთთან შეკიდული პანელით (ნახ. 154, ე). ცხადია, რომ ყველა შემთხვევაში ბურჯის ტანსა და მალის ნაშენს შორის დატოვებული უნდა იყოს სადეფორმაციო ნაკერი, როგორც ეს § 20-ში იყო აღნიშნული. ბურჯის ამა თუ იმ კონსტრუქციის ამორჩევა დამოკიდებულია როგორც კონსტრუქციულ, ისე არქიტექტურულ მოსაზრებებზე.

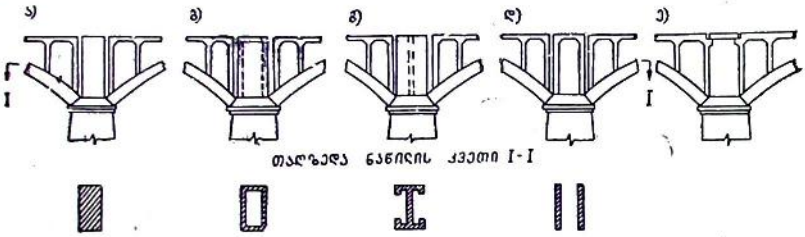


ნახ. 153. თაღების ან კამარების დაყრდნობა ბურჯზე (საქუსლის კონსტრუქცია).

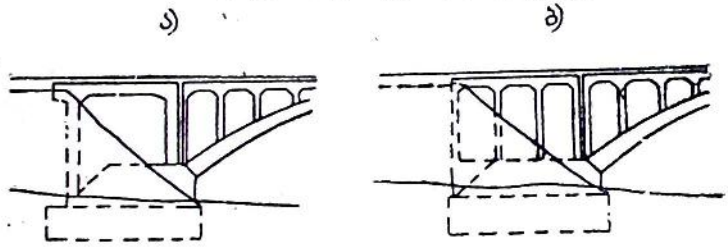
განვიხილოთ ახლა სანაპირო ბურჯები. რკინაბეტონის თაღოვანი ხიდების სანაპირო ბურჯების მუშაობის პირობები სავსებით იგივეა, რაც ქვის

ხიდების ბურჯებისა. ადვილი გასაგებია, რომ ბურჯის ყრილთან შეუღლების პირობები, აღწერილი § 11-ში, აქაც ძალაში რჩება. ამიტომ რკინაბეტონის ხიდების სანაპირო ბურჯების საერთო სახეც ძირითადად იმეორებს ქვის ხიდების ბურჯების აღნაგობას. ჩვენ აქ განვიხილავთ მხოლოდ იმ თავისებურებას, რაც რკინაბეტონის ხიდების ბურჯებს ახასიათებს.

ერთ-ერთი ასეთი თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ თაღის ან კამარის არმატურის ჩასამაგრებლად ამ უკანასკნელთა ტუსლის დონეზე, შუალედი ბურჯების მსგავსად, უნდა მოეწყოს საგანგებოდ დაარმირებული საქუსლე. საქუსლის კონსტრუქცია ისეთივეა, როგორც ეს ნახ. 153-ზე იყო მოცემული და ჩვენ მასზე აღარ შევჩერდებით.



ნახ. 154. შუალედი ბურჯის ზედა ნაწილის გადაწყვეტა.



ნახ. 155. სანაპირო ბურჯების ზედა ნაწილის ტიპები.

რკინაბეტონის ხიდების ბურჯების მეორე თავისებურება მათი ზედა ნაწილის მოწყობაში მდგომარეობს. ქვედა ნაწილი, მოთავსებული თაღის ან კამარის ტუსლის დონის ქვევით, მასიური კონსტრუქციისაა და არაფრით არ განსხვავდება ქვის ხიდის ბურჯის სათანადო ნაწილისაგან (თუ საქუსლის არმირებას არ მივიღებთ მხედველობაში). რაც შეეხება ზედა ნაწილს, ისიც შეიძლება მასიური წყობისაგან განხორციელდეს, ისეთივე წესით, როგორც ეს ქვის ხიდების კურსში იყო აღწერილი. მაგრამ რკინაბეტონის ხიდებისათვის უფრო დამახასიათებელია მეორე გადაწყვეტა, როდესაც ბურჯის ზედა ნაწილი გამჭოლი კონსტრუქციისაა (ნახ. 155). ასეთი გადაწყვეტა ამცირებს ბურჯის წონას და უფრო შეეფერება რკინაბეტონის ხიდის საერთო სახეს. მისი აზრი იმაში მდგომარეობს, რომ თაღის ან კამარის ტუსლის დონის ზევით მასიურ წყობაზე კეთდება გამჭოლი ზედნაშენი. იგი შეიძლება წარმოადგენდეს ერთმალიან ჩარჩოს, როგორც ეს ნახ. 155, ა-ზეა ნაჩვენები. ზედნაშენის მეორე ვარიანტს წარმოადგენს მრავალმალიანი ჩარჩო, რომელიც მალის ნაშენის ზედნაშენის გაგრძელებას ქმნის (ნახ. 155, ბ); ასეთი კონსტრუქცია ხშირად უმჯობესია არქიტექტურული თვალსაზრისით.

თ ა ვ ი VI

წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ხიდების კონსტრუქცია

§ 27. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის საერთო თვისებები, ძირითადი სახეები და გამოყენების სფერო

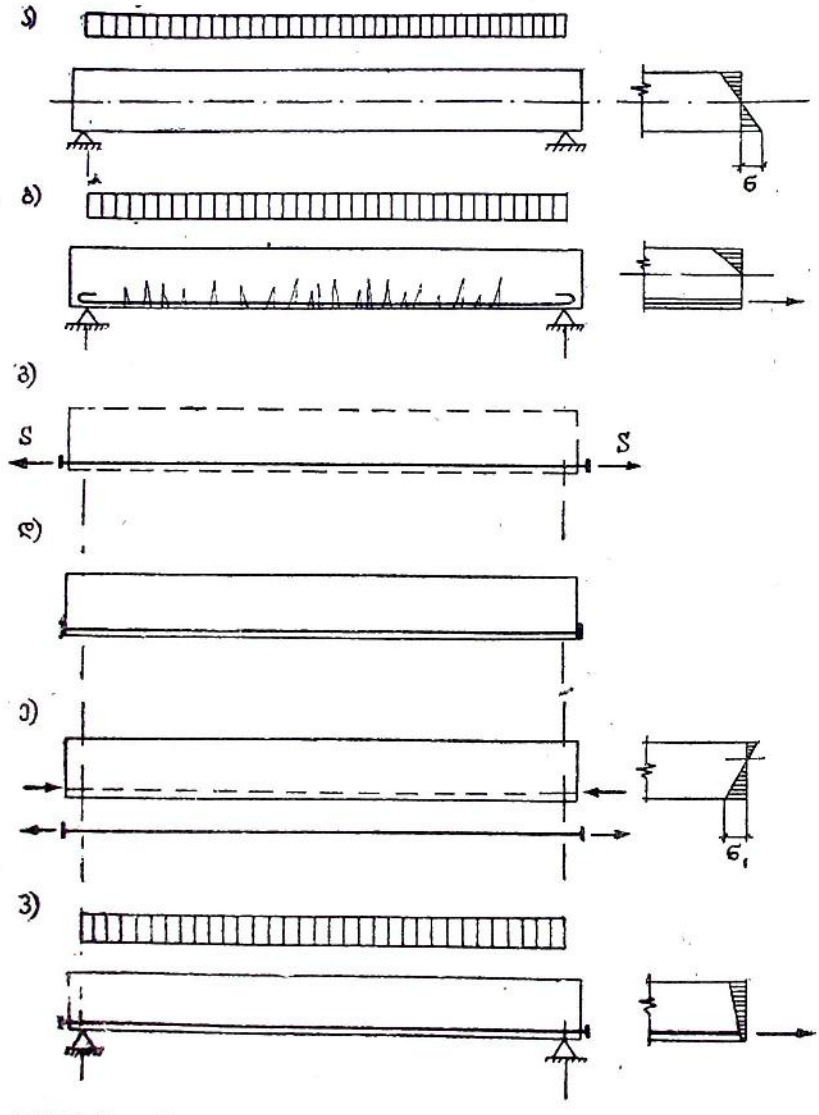
წინასწარდაძაბული რკინაბეტონი წარმოადგენს რკინაბეტონის კონსტრუქციების საუკეთესო, პროგრესულ სახეს; მრავალი დადებითი მხარეების გამო მას დიდი გამოყენება აქვს ყოველგვარი სახის ნაგებობებში. ამ მხრივ, რასაკვირველია, არც ხიდები შეადგენს გამონაკლისს: უკანასკნელ ხანებში წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ხიდების მშენებლობა დიდი წარმატებით მიმდინარეობს და მნიშვნელოვან ეფექტს იძლევა. თამამად შეიძლება ითქვას, რომ მომავალში რკინაბეტონის ხიდების უმრავლესობა წინასწარი დაძაბვით განხორციელდება. აქედან გასაგებია, თუ რა დიდი მნიშვნელობა აქვს ამ სახის ხიდების კონსტრუქციის შესწავლას.

როგორც ცნობილია, წინასწარდაძაბული ეწოდება რკინაბეტონის ისეთ კონსტრუქციებს ან ელემენტებს, რომლებშიც დამზადების პროცესში წინასწარ ხელოვნურად იქმნება მკუმშავი ძაბვები ბეტონში და გამჭიმავი ძაბვები არმატურაში[1]. რკინაბეტონის კონსტრუქციის დამზადების ასეთი წესი მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს მის მუშაობის პირობებს დატვირთვის მოქმედების დროს, რაც წინასწარ შექმნილი დაძაბული მდგომარეობის შედეგად ხდება; ამიტომ წინასწარდაძაბული კონსტრუქცია მნიშვნელოვანი ტექნიკური და ეკონომიური უპირატესობებით ხასიათდება. მათ გამოსარკვევად უფრო დაწვრილებით უნდა განვიხილოთ დაძაბული კონსტრუქციების დამზადებისა და მუშაობის პირობები.

წარმოვიდგინოთ ორ საყრდენზე მდებარე რკინაბეტონის კოჭი, დაარმირებული ჩვეულებრივი, არადაძაბული არმატურით (ნახ. 156,ბ). საექსპლოატაციო დატვირთვის მოქმედების დროს კოჭი გაიღუნება, მისი ზედა ზონა კუმშვას განიცდის, ქვედა კი გაჭიმვას. კოჭი რომ ერთგვაროვანი მასალისაგან ყოფილიყო შედგენილი, გარე დატვირთვისაგან მის კვეთებში წარმოიშობოდა ძაბვების ეპიურა, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 156, ა-ზე. მაგრამ ბეტონი გაჭიმვაზე ცუდად მუშაობს, ამიტომ ქვედა ზონაში ჩნდება ბზარები, გაჭიმული ბეტონი მუშაობიდან გამოირთვება და მთელი გამჭიმავი ძალვა გადაეცემა არმატურას. ბზარების სახე და ძაბვების განაწილება კოჭის კვეთში, საექსპლოატაციო დატვირთვის მოქმედების დროს, ნაჩვენებია ნახ. 156, ბ-ზე.

[1] ასეთი ძაბვები შეიძლება შეიქმნას ბეტონის ან არმატურის მთელ ფართობზე, ან მხოლოდ ნაწილზე.

ასეთი სურათი დამახასიათებელია ჩვეულებრივი რკინაბეტონის კოჭების უმრავლესობისათვის: თითქმის ყველა მათგანში ექსპლოატაციის დროს გაჭიმული ზონა დაბზარულია. ბზარების წარმოქმნა, როგორც ვიცით, ჩვეულებრივი რკინაბეტონის ერთ-ერთი ძირითადი უარყოფითი მხარეა: იგი ამოკლებს სამსახურის ვადას არმატურის ჟანგვის გამო და ამცირებს ელემენტის სიხისტეს.



ნახ. 156. ჩვეულებრივი და წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კოჭების მუშაობის სქემები.

ერთი მნიშვნელოვანი უარყოფითი მხარეა საკუთარი წონის სიდიდე. ადვილი გასაგებია, რომ ეს გარემოება ელემენტების ზიდვის უნარზე არის დამოკიდებული: თუ შევძელით რკინაბეტონის ელემენტის ან კონსტრუქციის ზიდვის უნარის გაზრდა, მაშინ მოცემული დატვირთვის საზიდავად ნაკლები კვეთი იქნება საჭირო და კონსტრუქციის საკუთარი წონაც შემცირდება. ამიტომ უნდა ვიფიქროთ, თუ რა საშუალებით შეიძლება რკინაბეტონის ელემენტის ან კონსტრუქციის ზიდვის უნარის გაზრდა. განვიხილოთ ღუნვადი ელემენტები, რომლებისთვისაც ეს საკითხი ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანია. მათ ზიდვის უნარს კვეთის ზომები, ბეტონის მარკა, არმატურის ფართობი და ხარისხი განსაზღვრავს. როგორც ცნობილია, ბეტონის მარკა ძალიან მცირე გავლენას ახდენს ღუნვადი ელემენტის ზიდვის უნარზე; კვეთის ზომების გადიდება, ცხადია, არასასურველია, ვინაიდან საკუთარი წონა მოიმატებს. არმატურის ფართობის გაზრდა მართალია დიდ ეფექტს იძლევა, მაგრამ არც ეს ხერხია მიზანშეწონილი, რადგან ფოლადის გადახარჯვას იწვევს. ამიტომ ზიდვის უნარის გაზრდის ყველაზე უფრო ეფექტური საშუალება იქნებოდა არმატურისათვის მაღალხარისხოვანი ფოლადების გამოყენება. ასეთი არმატურა მაღალი სიმტკიცით ხასიათდება და მნიშვნელოვნად ზრდის კვეთის ზიდვის უნარს. მაგრამ საქმე სწორედ იმაშია, რომ მაღალხარისხოვანი ფოლადების გამოყენება ჩვეულებრივი რკინაბეტონის ელემენტებში შეუძლებელია. მართლაც, გამჭიმავი მუშა ძაბვები ასეთ არმატურაში კოჭის ექსპლოატაციის დროს გაცილებით უფრო მაღალი იქნება, ვიდრე ჩვეულებრივ არმატურაში; ამიტომ მოიმატებს არმატურის წაგრძელებაც, ეს კი გამოიწვევს ინტენსიურ ბზარწარმოქმნას ბეტონის გაჭიმულ ზონაში—ბზარების გახსნილობა გადააჭარბებს დასაშვებ ზღვარს და კონსტრუქცია გამოუსადეგარი იქნება. ამგვარად, ბზარების წარმოქმნის საშიშროება საშუალებას არ გვაძლევს გამოვიყენოთ მაღალხარისხოვანი არმატურა ჩვეულებრივ რკინაბეტონის ელემენტებში. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ბზარების გაჩენა გამორიცხულია, ამიტომ აღნიშნული დაბრკოლება არ არსებობს და საშუალება გვაქვს გამოვიყენოთ მაღალხარისხოვანი არმატურა ყოველგვარი შეზღუდვის გარეშე. ამგვარად, წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ ზიდვის უნარი და შევამციროთ კვეთის ზომები, ბეტონის და არმატურის ხარჯი და კონსტრუქციის საკუთარი წონა მაღალხარისხოვანი ფოლადების გამოყენების საფუძველზე[1]. დამატებით ეფექტს იძლევა მაღალხარისხოვანი ბეტონების გამოყენება.

აღსანიშნავია, რომ მაღალხარისხოვანი ფოლადის და ბეტონის გამოყენება ეკონომიურადაც გამართლებულია; მართალია ასეთი ფოლადის ერთი ტონა ან ბეტონის ერთი კუბური მეტრი ჩვეულებრივზე ცოტათი მეტი ღირს, მაგრამ რაოდენობის შემცირების გამო სრული ღირებულება მაინც კლებულობს.

ზემოაღნიშნულ უპირატესობასთან ერთად წინასწარდაძაბულ რკინაბეტონს ერთი მნიშვნელოვანი უარყოფითი მხარეც აქვს. ეს არის დამზადების სირთულე. ჩვეულებრივ რკინაბეტონთან შედარებით, დაძაბული კონსტრუქ-

[1] აღსანიშნავია, რომ თვით წინასწარი დაძაბვის ოპერაცია არ ცვლის ელემენტის ზიდვის უნარს. ამ უკანასკნელის გაზრდა ხდება მხოლოდ მაღალხარისხოვანი არმატურის გამოყენების ხარჯზე.

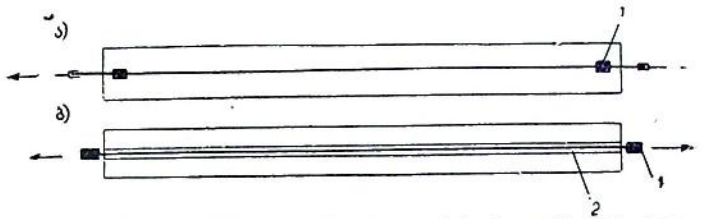
ციების დამზადება გაცილებით უფრო რთულ ტექნოლოგიას და რთულ მოწყობილობას მოითხოვს. მაგრამ დასაჭიმი ხელსაწყოები და დამზადების ტექნოლოგია დღითიდღე უმჯობესდება, რაც საშუალებას გვაძლევს ვიფიქროთ, რომ ეს ნაკლი თანდათან აღმოიფხვრება.

წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის აღწერილი თვისებები განსაზღვრავს მის გამოყენების სფეროს. ადვილი გასაგებია, რომ წინასწარი დაძაბვა გამართლებული იქნება ისეთი კონსტრუქციებისათვის, სადაც ბზარების გაჩენაა მოსალოდნელი. ასეთია ცენტრალურ ან ექსცენტრულ გაჭიმვაზე, ღუნვაზე მომუშავე ელემენტები და აგრეთვე ექსცენტრულ კუმშვაზე მომუშავე ელემენტები დიდი ექსცენტრისიტეტის დროს. რაც შეეხება იმ ელემენტებს, რომლებიც მუშაობენ ცენტრალურ კუმშვაზე, ან ექსცენტრულ კუმშვაზე მცირე ექსცენტრისიტეტის დროს, მათთვის წინასწარი დაძაბვა არ იძლევა ეფექტს და იშვიათად გამოიყენება. აქედან ცხადია, რომ ხიდების კონსტრუქციებში წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენების ძირითად სფეროს კოჭური ხიდების მალის ნაშენები წარმოადგენს. დიდი გავრცელება აქვს მას ჩარჩოვან ხიდებშიც. ზესავლელ და შუასავლელ თაღოვან ხიდებში წინასწარი დაძაბვა შეიძლება ვიხმაროთ ზედნაშენის და სავალი ნაწილის ელემენტებში. მეტად მიზანშეწონილია წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენება ქვესავლელი თაღოვანი ხიდების შემკვრელებში და საკიდებში.

ჩამოთვლილი ტიპის ხიდების კონკრეტული აღნაგობის განხილვამდე მიზანშეწონილია მოკლედ გავეცნოთ წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციული გადაწყვეტის ძირითად სახეებს. აღსანიშნავია, რომ წინასწარდაძაბული ელემენტების კონსტრუქცია მჭიდროდაა დაკავშირებული მათი დამზადების ტექნოლოგიასთან და არ შეიძლება განხილულ იქნას მის გარეშე. ამ თვალსაზრისით ხიდებში ხმარებული წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები შეიძლება ორ დიდ ჯგუფად დაიყოს. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება ყველა ის კონსტრუქცია, რომლის არმატურის დაძაბვა დაბეტონებამდე ხდება. ასეთი კონსტრუქციების დამზადების ტექნოლოგიური სქემა შემდეგში მდგომარეობს (ნახ. 158, ა): მზადდება ელემენტის ქარგილი და შიგ ეწყობა არმატურა; არმატურის ბოლოები გამოშვებულია ელემენტის ტორსების გარეთ და მათ ემაგრება სპეციალური მოწყობილობა, რომლითაც ხდება არმატურის წინასწარი დაჭიმვა. ასეთ მდგომარეობაში ხდება ელემენტის დაბეტონება. ბეტონის გამაგრების შემდეგ დამჭიმავი მოწყობილობა იხსნება და არმატურის გამოშვერილი ბოლოები ჩამოიჭრება. ბეტონისა და არმატურის ერთობლივი მუშაობა უზრუნველყოფილია მათ შორის მოქმედი შეჭიდულობის ძალებით და იმ ანკერებით, რომლებიც არმატურის ბოლოებთან კეთდება, ბეტონის ფარგლებში (ნახ. 158,ა). მეტად მცირე დიამეტრის არმატურის დროს (1—2 მმ-მდე) შეჭიდულობის ძალები იმდენად დიდია, რომ ისინი უზრუნველყოფენ არმატურისა და ბეტონის ერთობლივ მუშაობას და სპეციალური ანკერები აღარ არის საჭირო. ასეთ კონსტრუქციებს, დაარმირებულს წვრილი ღეროებით—სიმებით, სიმბეტონი ეწოდება. ხიდებში ის იშვიათად იხმარება.

წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების მეორე ჯგუფში შედის ისეთი კონსტრუქციები, რომელთა არმატურის დაძაბვა დაბეტონების შემდეგ ხდება. მათი დამზადების ტექნოლოგია შემდეგში მდგომარეობს (ნახ. 158,ბ): ყალიბებში არმატურის მოწყობის დროს ამ უკანასკნელს უკეთდება გარსი, რომელიც იცავს მას ბეტონთან შეჭიდულობისაგან. ამ მიზნით ჩვეულებრივ იხმარება თუნუქის მილები, რომლებშიც

თავსდება არმატურის ღეროები. ღეროებს ბოლოში გაკეთებული აქვს ანკერები, მოთავსებული ელემენტის ტორსების გარეთ. ელემენტი ბეტონდება არმატურის დაუჭიმავად. ბეტონის გამაგრების შემდეგ ანკერებს ემაგრება დასაჭიმი მოწყობილობა და ხდება არმატურის დაჭიმვა[1]. ხარეზი, რომელიც ჩნდება ელემენტის ტორსსა და ანკერს შორის არმატურის წაგრძელების გამო, ამოივსება ფოლადის საყელურებით და დამჭიმავი მოწყობილობა იხსნება. არმატურა ცდილობს შემოკლდეს და კუმშავს ბეტონს. მართალია ბეტონსა და არმატურას შორის შეჭიდულობა არ არის, მაგრამ მათი ერთობლივი მუშაობა მაინც უზრუნველყოფილია, ვინაიდან არმატურა ჩამაგრებულია ბეტონ-



ნახ. 158. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ელემენტების დამზადების სქემები. ა—არმატურის დაჭიმვა ელემენტის დაბეტონებამდე; ბ—არმატურის დაჭიმვა დაბეტონების შემდეგ. 1—ანკერი; 2—არმატურის გარსი.

ში ანკერების საშუალებით. მიზანშეწონილია აგრეთვე არმატურის დაჭიმვის შემდეგ ღეროების გარსებში (მილებში) ცემენტის ხსნარის ჩაწნეხვა, რაც აღადგენს შეჭიდულობას ბეტონსა და არმატურას შორის და იცავს ამ უკანასკნელს ჟანგვისაგან.

წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების ორივე აღწერილი სახეობა გარკვეული დადებითი მხარეებით ხასიათდება და ფართოდ გამოიყენება ხიდმშენებლობაში.

§ 28. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების მასალა

როგორც წინა პარაგრაფში აღვნიშნეთ, წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ეფექტურობისათვის საჭიროა მაღალხარისხოვანი მასალების—ბეტონისა და ფოლადის გამოყენება. წინასწარდაძაბულ ხიდებში ყველაზე უფრო ხელსაყრელია მაღალი სიმტკიცის მძიმე ბეტონის ხმარება. ჩვეულებრივ ბეტონის მარკა აიღება 350—600 კგ/სმ²-ს ფარგლებში. ავტოგზის ხიდებისათვის შეიძლება მაღალი სიმტკიცის მსუბუქი ბეტონის გამოყენებაც, მარკით 150—250 კგ/სმ² [48].

წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების არმატურისათვის სხვადასხვა სახის ფოლადი იხმარება. ერთგვარ გამოყენებას პოულობს ცხლად-ნაგლინი პერიოდული პროფილის არმატურა მომატებული სიმტკიცის ფოლადებისაგან. სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის კონსტრუქციებში, თანამედროვე ნორმების მიხედვით, ასეთი არმატურისათვის რეკომენდებულია ფოლადის მარკა 30ХГ2С; მისი დენადობის ზღვარი (ნორმატიული წინაღობა) 6000 კგ/სმ²-ის ტოლია. შეიძლება აგრეთვე ვიხმაროთ უფრო დაბალი მარკის ფოლადები

[1] არმატურის დაჭიმვა შეიძლება მოხდეს მაშინ, როდესაც ბეტონი საპროექტო სიმტკიცის 70—80%-ს მიაღწევს. დამჭიმავი დომკრატები შეიძლება უშუალოდ მიეყრდნოს ელემენტის ტორსს.

251'2C და Cr-5, გამტკიცებული წინასწარი გაჭიმვით[1]; მათი ნორმატიული წინაღობა ტოლია სათანადოდ 5500 და 4500 კგ/სმ²-სა.

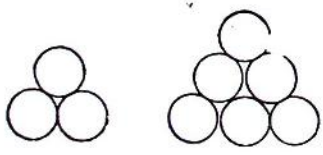
მიუხედავად შედარებით მაღალი სიმტკიცისა, ზემომოყვანილი არმატურის ზიდვის უნარი მაინც მცირეა, ამიტომ ხიდებში მას დიდი გამოყენება არა აქვს. ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია ხიდების წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების არმატურისათვის ვიხმაროთ მაღალხარისხოვანი ფოლადის ცივად-ნაჭიმი მავთული. ასეთი მავთულის დიამეტრი 2—8 მმ-ის ფარგლებში იცვლება, სიმტკიცის ზღვარი (ნორმატიული წინაღობა) კი 10000—20000 კგ/სმ²-ს აღწევს. ამიტომ მაღალხარისხოვანი მავთულების გამოყენება უზრუნველყოფს არმატურის კვეთის მაქსიმალურ შემცირებას და უდიდეს ეფექტს იძლევა.

მაღალხარისხოვანი მავთული შეიძლება იყოს გლუვი მრგვალი კვეთის ან პერიოდული პროფილის. წინასწარდაძაბულ კონსტრუქციებში იგი იხმარება ცალკე მავთულების სახით ან წინასწარ იკვრება ნაწნავებად და კონებად. ცალკეული მავთულები, ე. წ. სიმები, მსუბუქ კონსტრუქციებში იხმარება, რადგან მათ მცირე ზიდვის უნარი აქვთ (სიმბეტონი). ასეთივე ხასიათისაა ნაწნავები, რომლებიც უმეტეს შემთხვევაში ორ-ორი ერთმანეთზე გადახვეული მავთულისაგან შედგება.

ხიდების კონსტრუქციებში უმეტეს შემთხვევაში დიდი სიმძლავრის ელემენტებია საჭირო. მათი ცალ-ცალკე მავთულებით ან ნაწნავებით არმირება პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან ღეროების რიცხვი ძალიან დიდი გამოდის. ამიტომ ხიდების კონსტრუქციებში მაღალხარისხოვანი მავთულები ძირითადად გამოიყენება საარმატურო კონების სახით. ყოველი კონა რამდენიმე მავთულს შეიცავს და დიდი ზიდვის უნარით ხასიათდება. მავთულების კონები წინასწარდაძაბული ხიდების არმატურის ძირითად საბეობას წარმოადგენს, ამიტომ მათ კონსტრუქციაზე უფრო დაწვრილებით უნდა შევჩერდეთ.

საარმატურო კონების ტიპები სხვადასხვაგვარია. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მავთულების რაოდენობით, მათი განლაგებით, ანკერების (მისაყრდენების) კონსტრუქციით. დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე კონების დამზადების წესს. ამა თუ იმ ტიპის კონის არჩევა დამოკიდებულია წინასწარდაძაბული ელემენტის მუშაობის პირობებზე და მისი დამზადების ტექნოლოგიაზე, რაც წინა პარაგრაფში იყო აღწერილი.

მცირე სიმძლავრის საარმატურო კონები 3—6 მავთულისაგან შედგება. მავთულები მჭიდროდაა ერთმანეთთან დალაგებული და სამკუთხა კვეთს ქმნის (ნახ. 159); კონა შეკრულია თხელი მავთულის სპირალით (დიამეტრით 1,5—2 მმ) ან ასეთივე მავთულის ცალკეული მარყუჟებით. ასეთი კონები უმთავრესად იხმარება იმ კონსტრუქციებში, რომელთა დაძაბვა დაბეტონებამდე ხდება:

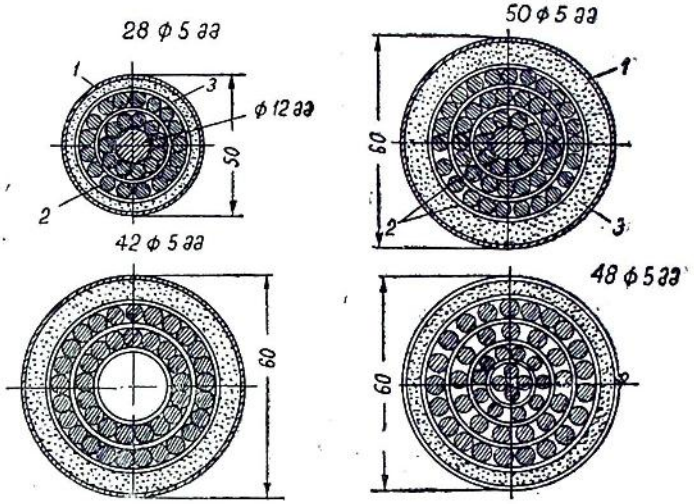


ნახ. 159. მცირე სიმძლავრის კონების კონსტრუქცია.

დიდი სიმძლავრის საარმატურო კონებში მავთულების რაოდენობა გაცილებით მეტია; იგი შეიძლება 50—70-ს აღწევდეს. კონას განივკვეთში ჩვეულებრივ წრიული ფორმა აქვს და

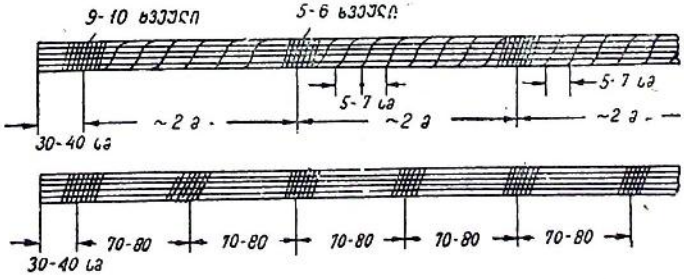
[1] გაჭიმვით გამტკიცება იმაში მდგომარეობს, რომ ღეროები სპეციალური ხელსაწყოს საშუალებით იჭიმება ცივ მდგომარეობაში, ისე რომ სიგრძე მატულობს 3—6%-ით. ამის შედეგად დენადობის ზღვარი მაღლდება.

მავთულები განლაგებულია კონცენტრული ფენების სახით; ყოველი ფენა იკვრება მავთულის სპირალებით ან რამდენიმე ცალკეული ხვეულით. ასეთი კონები იხმარება იმ კონსტრუქციებში, რომელთა დაძაბვა დაბეტონების შემდეგ ხდება. კონა ჩვეულებრივ მოთავსებულია თუნუქის გარსში, რომლის დანიშნუ-



ნახ. 160. მძლავრი საარმატურო კონების განივკვეთი.
1—კონის გარსი; 2—მავთულის სპირალი; 3—ცემენტის ხსნარი.

ლებაა ელემენტის დაბეტონების დროს არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის თავიდან აცილება. მრავალფენიანი კონების განივკვეთის ტიპები ნაჩვენებია ნახ. 160-ზე, გარეგანი მავთულის ნახვევის სქემა კი—ნახ. 161-ზე.

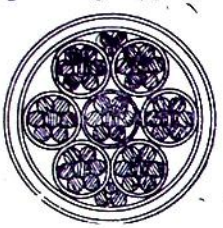


ნახ. 161. კონების შემოკვრა სპირალებით და ცალკეული ხვეულებით.

ზოგიერთ შემთხვევაში იხმარება აგრეთვე საარმატურო კონა, შედგენილი რამდენიმე ცალკეული კონისაგან; მისი განივკვეთი ნაჩვენებია ნახ. 162-ზე. საზღვარგარეთის პრაქტიკაში გავრცელებულია აგრეთვე ერთ ფენად განლაგებული მავთულებისაგან შემდგარი საარმატურო კონები (ინჟ. ფ რ ე ი ს ი ნ ე ს სისტემა, ნახ. 163). ასეთ კონას აქვს გულა, რომელიც მავთულის სპირალს წარმოადგენს; მის გარშემო 12 მავთული ლაგდება და იკვრება მავთულისავე ხვეულებით. აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელ ხანებში საკითხი დგას წინასწარ-

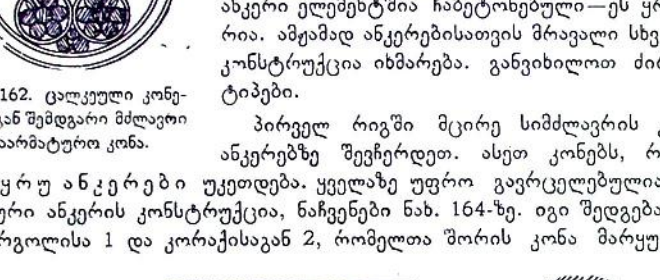
დაძაბული არმატურისათვის ჩვეულებრივი ტროსების გამოყენების შესახებ; იხმარება აგრეთვე მართკუთხა განივკვეთის კონები.

საარმატურო კონების მნიშვნელოვან დეტალს წარმოადგენს **ანკერები ანუ მისაყრდენები**. როგორც ვიცით, ანკერების დანიშნულებაა ძალვების გადაცემა არმატურიდან ბეტონზე და მათი ერთობლივი მუშაობის უზრუნველყოფა. ზოგიერთ შემთხვევაში ანკერი გამოიყენება არმატურის დამჭიმავი მოწყობილობის მისამაგრებლად და მას დამჭიმავი ანკერი ეწოდება. ზოგჯერ, პირიქით, ანკერი ელემენტშია ჩაბეტონებული—ეს ყრუ ანკერია. ამჟამად ანკერებისათვის მრავალი სხვადასხვა კონსტრუქცია იხმარება. განვიხილოთ ძირითადი ტიპები.

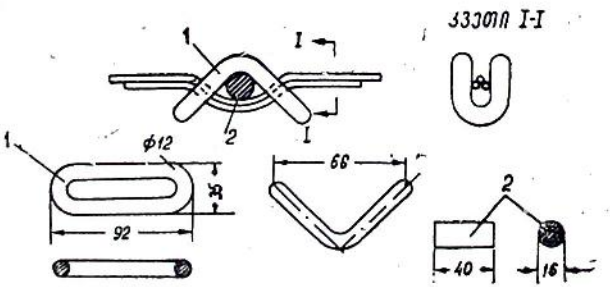


ნახ. 162. ცალკეული კონებისაგან შემდგარი მძლავრი საარმატურო კონა.

პირველ რიგში მცირე სიმძლავრის კონების ანკერებზე შევჩერდეთ. ასეთ კონებს, როგორც წესი, **ყრუ ანკერები** უკეთდება. ყველაზე უფრო გავრცელებულია რგოლისებური ანკერის კონსტრუქცია, ნაჩვენები ნახ. 164-ზე. იგი შედგება გაღუნული რგოლისა 1 და კორაქისაგან 2, რომელთა შორის კონა მარყუჟისებურად გადის, ისე რომ მისი ანკერიდან გამოძრობა ძალიან დიდ ძალას მოითხოვს. თვით კონა ანკერის შემდეგ გაგრძელებულია ისეთნაირად, რომ მისი ბოლო ჩამაგრდეს გამჭიმავ ხელსაწყოში.



ნახ. 163. ფრეისინეს ტიპის ერთფენოვანი კონა.

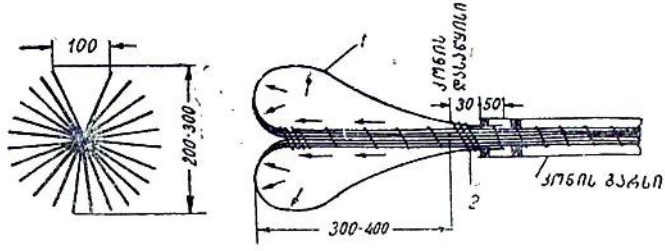


ნახ. 164. მცირე სიმძლავრის კონის რგოლისებური ყრუ ანკერი.

დიდი სიმძლავრის საარმატურო კონების ანკერების კონსტრუქცია სხვადასხვაგვარია. ბეტონში ჩამაგრებული ყრუ ანკერები შემდეგნაირად კეთდება (ნახ. 165): კონის ბოლო იშლება და მავთულები იღუნება მსხლისებური ფორმის მარყუჟების სახით, რომელთა შორის მანძილი ბეტონით ამოივსება. კონის ბოლოს ანკერით ჩამაგრება უზრუნველყოფილია მავთულების ბეტონთან შეჭი-

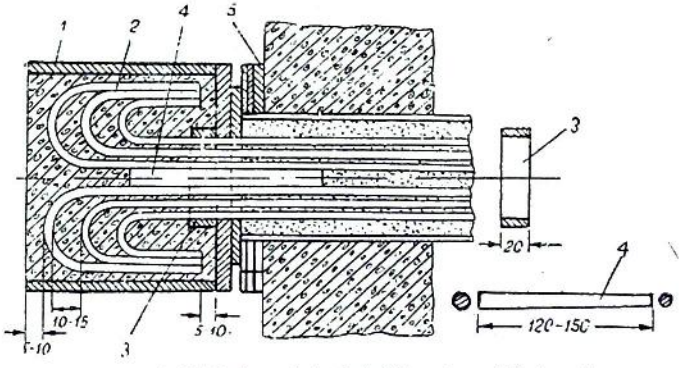
დულობით, ხახუნითა და მთელი ანკერის სოლისებური ჩაჭედვით გარშემორტყმულ ბეტონის მასაში.

მძლავრი კონებისათვის ყრუ ანკერები შედარებით იშვიათად იხმარება. უფრო გავრცელებულია ანკერები, რომლებიც რკინაბეტონის ელემენტის ზე-



ნახ. 165. დიდი სიმძლავრის კონების ყრუ ანკერი.

დაპირზე გამოდის. ასეთი ანკერის ერთ-ერთ გავრცელებულ [23] კონსტრუქციას წარმოადგენს ნახ. 166-ზე ნაჩვენები ჰიქისებური ანკერი. მის შემადგენლობაში შედის ჰიქა 1, რომლის კედლები ფოლადის მილის ნაჭერს წარმოადგენს და მიდუღებულია ლითონისავე ძირთან. ძირს აქვს ნახვრეტი, რომელშიც კონის მავთულები 2 შემოდის. მავთულების ბოლოები ჰიქაში მარყუჟისებურად იღუ-

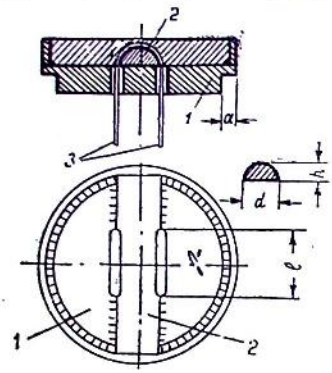


ნახ. 166. ჰიქისებური ტიპის ანკერი მძლავრი კონებისათვის.

ნება. მარყუჟების მდგომარეობის ფიქსირებისათვის მავთულებზე ჩამოცმულია ლითონის რგოლი 3, მათ შორის კი ჩაჭედილია სოლი 4. ჰიქა ამოიღსება მაღალხარისხოვანი ბეტონით. ანკერი ეყრდნობა რკინაბეტონის ელემენტის ზედაპირს საყელურების 5 საშუალებით.

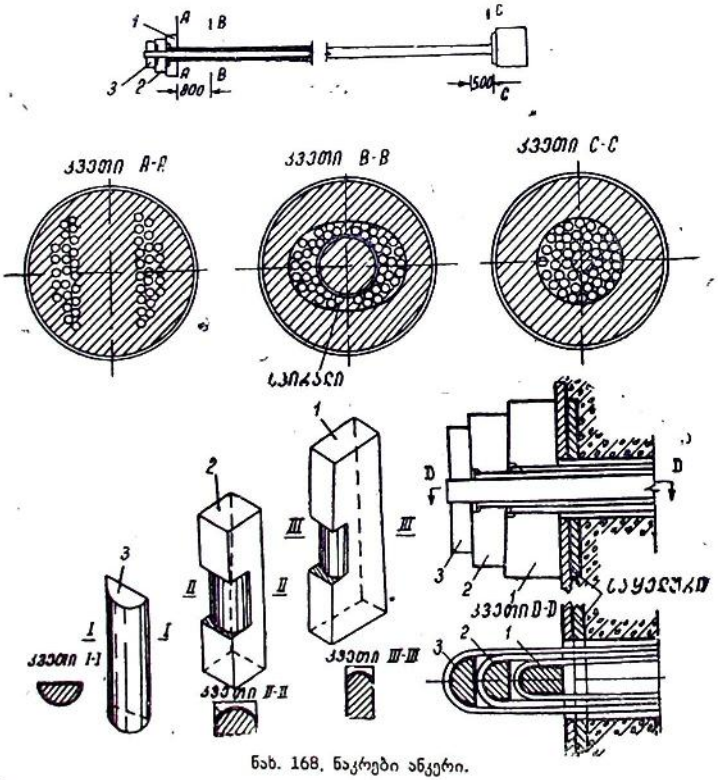
აღწერილი ანკერის ნაკლია ჰიქის დიდი სიმაღლე. ზოგიერთ შემთხვევაში უფრო მიზანშეწონილია ვიხმაროთ შემცირებული სიმაღლის ანკერები, ნაჩვენები ნახ. 167-ზე. აქ მიღებულია მავთულების ჩამაგრების სხვა კონსტრუქცია: კონის ბოლოში მავთულები ორ სწორხაზოვან რიგადაა დალაგებული და უწყვეტ მარყუჟებს ქმნის. ჰიქის ფუძეზე 1 მიდუღებულია მომრგვალებული საყრდენი 2, რომელსაც შემოევლება მავთულების მარყუჟები 3. ჰიქა ამოივსება ცემენტის ხსნარით. ამავე პრინციპზეა აგებული ნაკრები ანკერის კონსტრუქცია, რომელიც მავთულების დიდი რაოდენობის დროს იხმარება (ნახ.

168). კონის ერთი ბოლო ჩვეულებრივი (ჰიქისებური ან ყრუ) ანკერით თავდება, მეორე ბოლოში მავთულები უწყვეტ მარყუჟებს ქმნის. სხვადასხვა ფენის მავთულების მარყუჟები სხვადასხვა დონეზე თავდება და ფოლადის საყრდენებს 1, 2, 3 შემოევლება. განაპირა საყრდენი 1 ებრჯინება რკინაბეტონის ზედაპირს საყელურების საშუალებით. როგორც ვხედავთ, ანკერები მართკუთხა კვეთისაა, მათი ერთი ზომა ჰიქისებური ანკერის დიამეტრზე ნაკლებია, რაც საშუალებას გვაძლევს უფრო მჭიდროდ განვალაგოთ საარმატურო კონები.



ნახ. 167. შემცირებული სიმაღლის ანკერი.

ამგვარად, ჩვენ განვიხილეთ წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების არმატურის ძირითადი სახეები და დეტალები. ზემომოყვანილი მასალა, ცხადია, ვერ ამოსწურავს ყველა ხმარებულ ტიპს, მით უფრო, რომ ისინი ყოველდღიურად ვითარდება და უმჯობესდება. აღნიშნული საკითხის უფრო დეტალურად შესწავლა სპეციალური ლიტერატურის საშუალებით შეიძლება [24, 50, 56, 65].



ნახ. 168. ნაკრები ანკერი.

§ 29. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ჭრილი კოჭური ხიდების კონსტრუქცია

კოჭური მალის ნაშენების ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია ღუნვაზე მუშაობს და მასში ბზარების წარმოქმნა ხშირი მოვლენაა. ამასთანავე, როგორც ვიცით, საშუალო და დიდი მალების დროს კონსტრუქცია მძიმე გამოდის და საკუთარი წონის შემცირება დიდ სარგებლობას იძლევა. ამიტომ კოჭურ მალის ნაშენებში წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენება განსაკუთრებით მიზანშეწონილია. სიმარტივის გამო ჭრილი კოჭური მალის ნაშენები განსაკუთრებით მოსახერხებელია წინასწარდაძაბული არმატურის მოსაწყობად.

წინასწარდაძაბული კოჭური მალის ნაშენები შეიძლება გაკეთდეს როგორც მონოლითური, ისე ნაკრები. როგორც ქვემოთ დავინახავთ, არსებობს აგრეთვე ნაკრებ-მონოლითური კონსტრუქციებიც. განსაკუთრებით ეფექტურია ნაკრები წინასწარდაძაბული მალის ნაშენების კონსტრუქცია, ამიტომ პირველ რიგში მათზე შევჩერდებით.

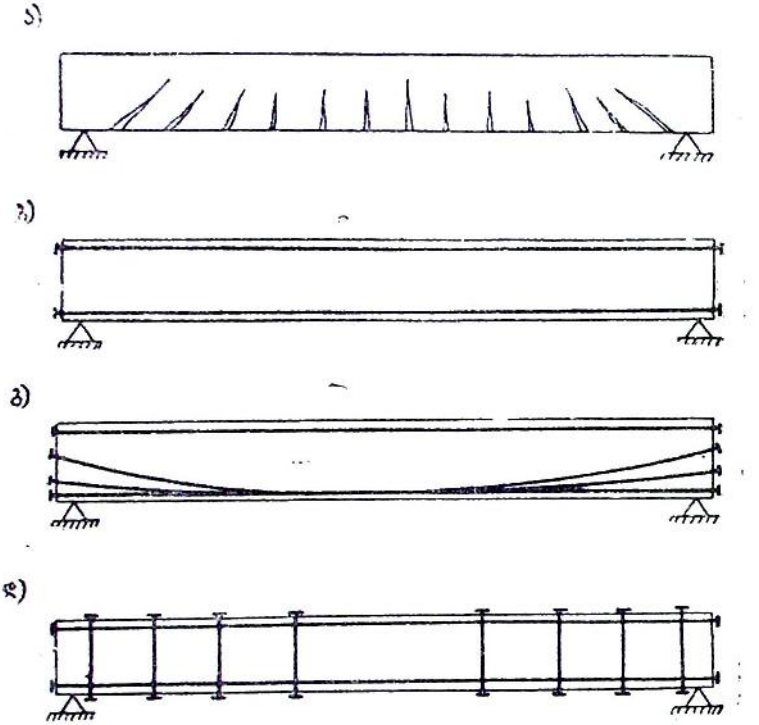
ნაკრები წინასწარდაძაბული ჭრილი მალის ნაშენები რკინიგზის ხიდებში ჩვეულებრივ იხმარება საშუალო და დიდი მალებისათვის, 12—40 მ-ის ფარგლებში[1]. მათი საერთო გადაწყვეტა დიდად არ განსხვავდება ჩვეულებრივი რკინაბეტონის ნაკრები მალის ნაშენებისაგან, რომლებიც § 13-ში იყო აღწერილი: წინასწარდაძაბული მალის ნაშენები, მალის სიდიდის მიხედვით, კეთდება მთლიანად-საზიდი ან ორსექციური ტიპისა, ორტესებრი ფორმის თხელკედლიანი მთავარი კოჭებით. სავალი ნაწილის ფილის კონსტრუქცია ჩვეულებრივია. კონსტრუქციის თავისებურებას შეადგენს მთავარი კოჭები, რომლებიც წინასწარდაძაბული არმატურით ხორციელდება. ამიტომ ცხადია, რომ ჩვენთვის ძირითად ინტერესს მთავარი კოჭების კონსტრუქცია წარმოადგენს.

განვიხილოთ ჭრილი კოჭური მალის ნაშენების მთავარი კოჭების არმირების შესაძლო სქემები. როგორც ვიცით, წინასწარდაძაბული არმატურა უნდა მოთავსდეს იმ უბნებში, სადაც გამჭიმავი ძაბვები წარმოიშვება და მოსალოდნელია ბზარების წარმოქმნა. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭში ასეთი უბნებია ქვედა სარტყელი, სადაც ნორმალური გამჭიმავი ძაბვები შვეულ ბზარებს წარმოქმნის, და კოჭის კედლის საყრდენი უბნები, სადაც მთავარი გამჭიმავი ძაბვების ზეგავლენით შეიძლება ირიბი ბზარები წარმოიშვას (ნახ. 169, ა). ამისდა მიხედვით შესაძლებელია ვიხმაროთ კოჭის არმირების რამდენიმე სქემა. პირველი მათგანი ნაჩვენებია ნახ. 169, ბ-ზე. აქ ქვედა სარტყელში მოთავსებულია სწორხაზობრივი წინასწარდაძაბული არმატურა, რომელიც ძირითად ზუშა არმატურას წარმოადგენს და სპობს შვეული ბზარების წარმოშობის საშუალებას ნორმალური გამჭიმავი ძაბვებისაგან. ირიბი ბზარების თავიდან აცილებისათვის საჭიროა კოჭის კედლის საკმარისი სისქის დანიშვნა. როგორც ვიცით, კოჭის ზედა ზონამი დამატებით უნდა გაკეთდეს წინასწარდაძაბული გრძივი არმატურა, რომ თავიდან ავიცილოთ ამ ზონის დაბზარვა წინასწარი დაძაბვის პროცესში.

კოჭის არმირების მეორე სქემა, მოყვანილი ნახ. 169, გ-ზე, ძირითად ისახავს წინასწარი მკუმშავი ძაბვების შექმნას როგორც ქვედა სარტყელში, ისე

[1] მცირე მალისათვის ხოგჯერ იხმარება ფილოვანი კონსტრუქციის წინასწარდაძაბული მალის ნაშენები, მაგრამ დამზადების სირთულის გამო მათი გამოყენება დიდ ეფექტს არ იძლევა. დადებითი მხარეა მხოლოდ სამშენებლო სიმაღლის შემცირება.

კოჭის კედლის საყრდენ უბნებში. ამისათვის ძირითადი წინასწარდაძაბული მუშა არმატურის ნაწილი სწორხაზობრივად მიდის კოჭის ბოლომდე, ნაწილი კი საყრდენებისაგან იღუნება ზევით, გლუვი მრუდების გასწვრივ, რომლებიც დაახლოებით მისდევს მთავარი გამჭიმავი ძაბვების ტრაექტორიას. ამგვარი არმირების გამო ირიბი ბზარების წარმოქმნა გამორიცხულია და კოჭის კედლის სისქე შეიძლება შემცირდეს.

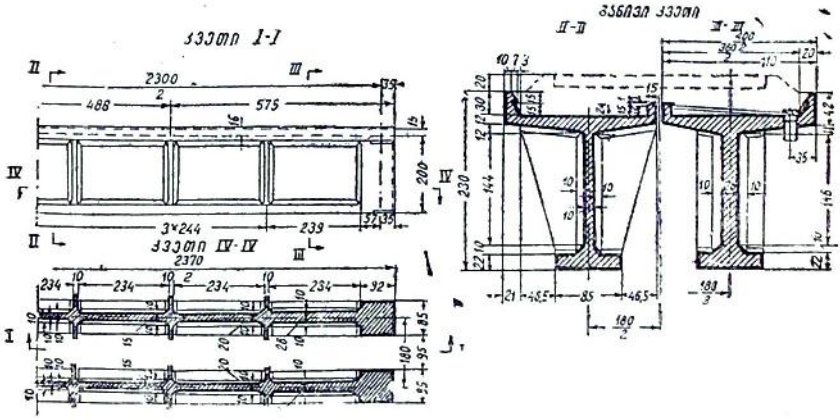


ნახ. 169. წინასწარდაძაბული მთავარი კოჭის არმირების სქემები.

კედლის სისქის შემცირების მიზნით შეიძლება ვიხმაროთ არმირების მესამე სქემა, ნაჩვენები ნახ. 169, დ-ზე. აქ ძირითადი მუშა არმატურა სწორხაზობრივია. მთავარი გამჭიმავი ძაბვების შესამცირებლად კეთდება წინასწარდაძაბული საკიდები, რომლებიც ქმნიან ბეტონის წინასწარ კუმშვას შეეული მიმართულებით.

მთავარი კოჭების არმირების ყველა განხილული სქემები გამოყენებას პოულობს წინასწარდაძაბული კოჭური მალის ნაშენების სხვადასხვა ტიპებში, რომლებიც დაპროექტებული და განხორციელებული იყო სხვადასხვა ორგანიზაციების მიერ. ქვევით ჩვენ განვიხილავთ მალის ნაშენების ძირითადი ტიპების კონსტრუქციას. უკვე აღნიშნული იყო, რომ წინასწარდაძაბული ელემენტების კონსტრუქციული გადაწყვეტა განუყოფელია დამზადების ტექნოლოგიისაგან, ამიტომ პარალელურად გაშუქებული იქნება მალის ნაშენების დამზადების წესიც.

პირველ რიგში განვიხილოთ ნაკრები მალის ნაშენები სწორხაზობრივი წინასწარდაძაბული არმატურით (არმირების პირველი სქემა). ასეთი კონსტრუქცია დაპროექტებული იყო ხიდმშენებლობის მთავარი სამმართველოს ცენტრალური საპროექტო-საკონსტრუქტორო ბიუროს მიერ (ЦПКБ Главмостостроя), ინჟინერ ნ. ნ. ბოგდანოვის ხელმძღვანელობით. დამზადების წესის მიხედვით მალის ნაშენი მიეკუთვნება წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების იმ ჯგუფს, სადაც არმატურის დაძაბვა ელემენტის დაბეტონებამდე ხდება. მაგალითისათვის ნახ. 170-ზე ნაჩვენებია ასეთი ტიპის მალის ნაშენი საანგარიშო მალით 23,0 მ. როგორც ვხედავთ, მალის ნაშენი ორსექციურია და შედგება ორი დამოუკიდებელი სამონტაჟო ბლოკისაგან. ყოველი ბლოკის შემადგენლობაში შედის ერთი მთავარი კოჭი და საბალასტო გობის ფილა, რომელიც მუშაობს თავისუფალი კონსოლების სქემით. მთავარი კოჭი ორტესებრი კვეთისაა; კედელი გამაგრებულია დიაფრაგმებით.



ნახ. 170. ცენტრალური საპროექტო-საკონსტრუქტორო ბიუროს სისტემის მალის ნაშენის საერთო ხედი.

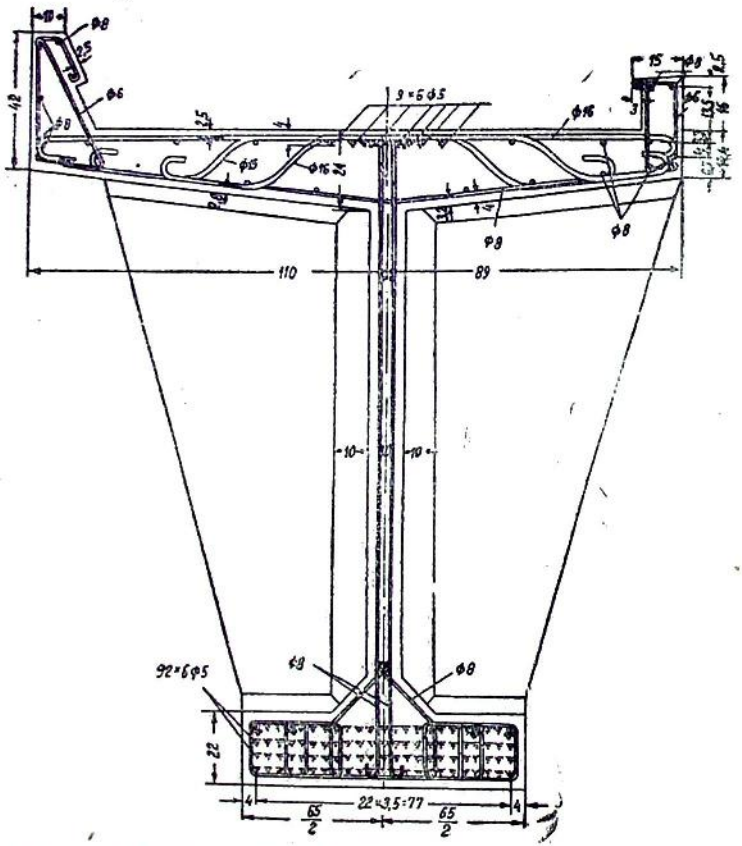
მთავარი კოჭის არმირება ნაჩვენებია ნახ. 171 ზე. ძირითადი მუშა არმატურა მოთავსებულია კოჭის ქვედა სარტყელში. იგი შედგება მცირე სიმძლავრის საარმატურო კონების დიდი რაოდენობისაგან. კონების კონსტრუქცია წინა პარაგრაფში იყო მოყვანილი (იხ. ნახ. 159). განსახილველ მალის ნაშენში ყოველი კონა შედგება 5 მმ დიამეტრის ექვსი მავთულისაგან, კონების რიცხვი კი თითოეული კოჭის ქვედა სარტყელში 96-ს აღწევს. კონები სწორხაზობრივი მიმართულებისაა; კოჭის ტორსების მახლობლად მათ გაკეთებული აქვს რგოლისებური ყრუ ანკერები, აღწერილი წინა პარაგრაფში (ნახ. 164), თვით კონების ბოლოები კი გამოშვერილია ტორსების გარეთ, დასაჭიმ ხელსაწყოზე მისამაგრებლად. თუმცა საარმატურო კონების ბეტონთან შეჭიდულობა უზრუნველყოფილია, მაგრამ ანკერები მაინც კეთდება, ერთობლივი მუშაობის დამატებითი გარანტიისათვის. კოჭის ზედა ზონაში კეთდება ამავე ტიპის 9 საარმატურო კონა; მათი დანიშნულება ჩვენთვის უკვე ცნობილია. კოჭის კედელი დაარმირებულია ჩვეულებრივი ტიპის საკიდებით (ნახ. 171).

მალის ნაშენის სექციების დამზადება ქარხნული წესით წარმოებს,

საგანგებო სტენდზე. სტენდის გეგმა და ფასადი ნაჩვენებია ნახ. 172-ზე, განივი კვეთი კი ნახ. 173-ზე.

სტენდის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს რკინაბეტონის მძლავრი საბრჯენი კოჭი 1, რომელიც საძირკვლებს 7 ეყრდნობა. მის ბოლოებში განივად დაყენებულია საყრდენი კოლოფები. უძრავი კოლოფი 4 ყრუდ არის დამაგრებული კოჭთან, მოძრავი კოლოფი 2 კი ეყრდნობა კოჭის ტორსს ჰიდრავლიკური დომკრატების 3 საშუალებით და შეუძლია გადაადგილება საბრჯენი კოჭის გასწვრივ. მოძრავი კოლოფი დროებით შეიძლება ზევით აიწიოს, რისთვისაც მასთან მოწყობილია სპეციალური ჩარჩო 6 ჯალამბარით.

მალის ნაშენის ორივე სექციის დამზადება ერთდროულად ხდება. და-

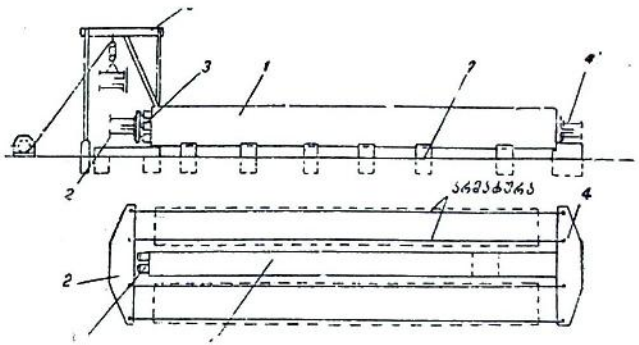


ნახ. 171. ცენტრალური საპროექტო-საკონსტრუქტორო ბიუროს სისტემის მალის ნაშენის არმირება.

ბეტონება თარაზულ მდგომარეობაში წარმოებს. სექციების ქარგილები მოწყობილია საყირავებლებზე 5 (ნახ. 173), რომლებიც საშუალებას გვაძლევს შეეულ მდგომარეობაში გადმოვაბრუნოთ სექცია დამზადების შემდეგ.

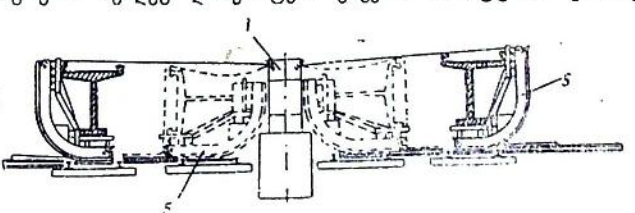
მალის ნაშენის დამზადების მიმდევრობა ასეთია: ორივე სექციის ქარ-

გილები დამოუკიდებელ საყირავებელზე ეწყობა. ეს უკანასკნელები მოტომავალის საშუალებით იდგმება საბრჯენი კოჭის გასწვრივ, რისთვისაც მოძრავი საყრდენი კოლოფი დროებით ზევით აიწევა. ჭარგილებში ეწყობა საარმატურო კონები; მათი ბოლოები გამოშვერილია სექციის ტორსის გარეთ და მაგრდება საყრდენ კოლოფებზე, სპეციალური დამჭერების საშუალებით. ამის შემდეგ ხდება არმატურის დაჭიმვა: დომკრატები, მოთავსებული საბრჯენი კოჭისა და



ნახ. 172 ცენტრალური საპროექტო-საკონსტრუქტორო ბიუროს სისტემის მალის ნაშენის დასამზადებელი სტენდი.

მოძრავ საყრდენ კოლოფს შორის, იწყებს მუშაობას და ამ უკანასკნელს გადააადგილებს კოჭის გასწვრივ, არმატურის საჭირო დაძაბულობის მიღებამდე. მოძრავი კოლოფი მაგრდება ასეთ მდგომარეობაში და ხდება სექციების დაბეტონება. ბეტონის გამაგრების დასაჩქარებლად იხმარება სექციების გაორთქლება. გამაგრების შემდეგ დომკრატები ეშვება, არმატურის გამოშვერილი



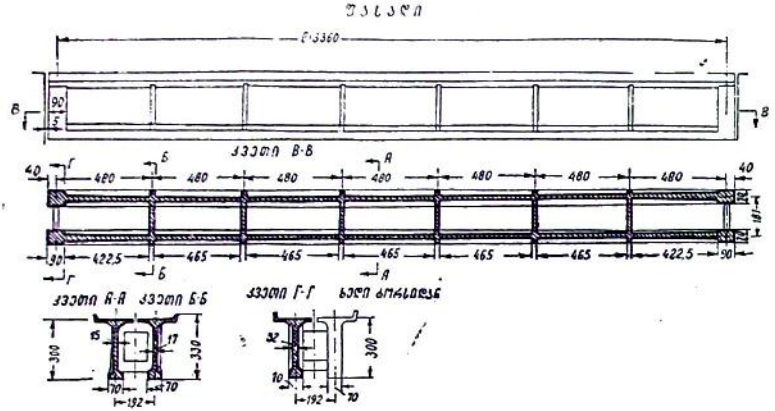
ნახ. 173. სტენდის განივკვეთი.

ბოლოები იჭრება და მზა სექციები საყირავებლების საშუალებით ბრუნდება შვეულ მდგომარეობაში.

აღწერილი მალის ნაშენის ყოველი სექცია 59,5 ტ-ს იწონის. საყრდენებზე დადგმის შემდეგ სექციების ერთმანეთთან შეერთება საჭირო არ არის, რაც ასეთი ტიპის მალის ნაშენის დადებით მხარეს წარმოადგენს.

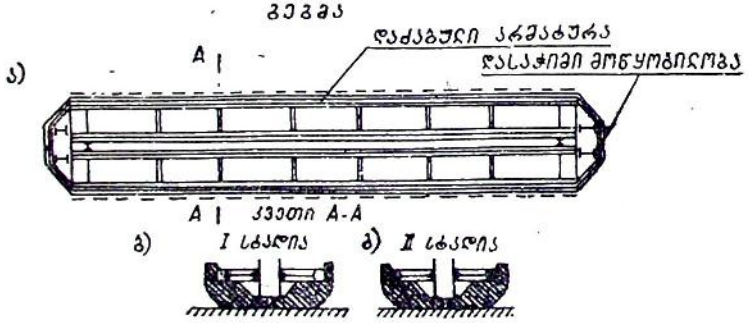
ანალოგიური კონსტრუქციის მეორე მაგალითის სახით მოგვყავს ლენინგრადის ხიდმშენის ტიპის მალის ნაშენი საანგარიშო მალით 33,6 მ (ინჟინერი ვ. ა. ჩეკინი და ა. ს. ბაჩელისი). მისი საერთო ხედი ნაჩვენებია ნახ. 174-ზე. მალის ნაშენის ძირითადი კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური გადაწყვეტა ისეთივეა, როგორც ზემოთ იყო განხილული: მთავარი კოჭები დაარმირებულია მცირე სიმძლავრის სწორხაზოვანი საარმატურო კო-

ნებით[1], არმატურის დაჭიმვა დაბეტონებამდე ხდება. მაგრამ სექციების დამზადების პროცესი თავისებურად წყდება. საქმე შემდეგშია: ზემოთ აღწერილი ცენტრალური საკონსტრუქტორო ბიუროს ტიპის მალის ნაშენის დასამზადებელი სტენდი თუმცა კარგადაა გადაწყვეტილი, მაგრამ საკმარისად ძვირი გამოდის—ამიტომ მისი გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ სპეციალურ ქარხნებში, სადაც მალის ნაშენების მასობრივი დამზადება ხდება. ადგილზე



ნახ. 174. ლენინგრადის ხიდმშენის ტიპის მალის ნაშენი.

დამზადების დროს, როდესაც დასამზადებელი ელემენტების რიცხვი მცირეა, უნდა ვეცადოთ შევამციროთ დროებითი მოწყობილობის ღირებულება. ამ მიზნით მიღებულია დამზადების ასეთი ტექნოლოგია: სპეციალური სტენდი

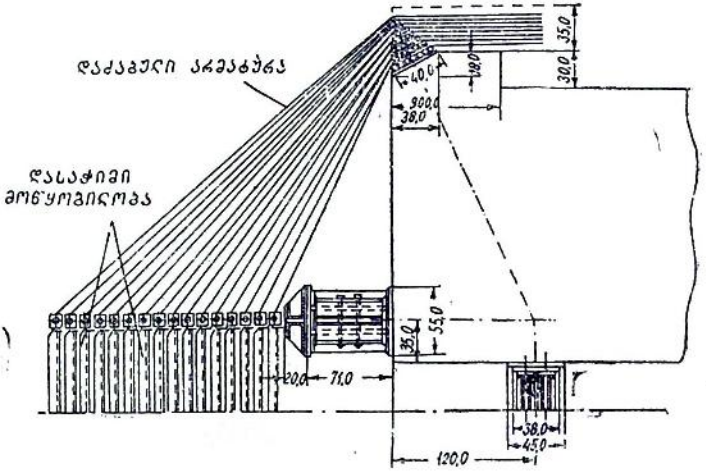


ნახ. 175. ლენინგრადის ხიდმშენის მალის ნაშენების დაბეტონების სქემა.

საბრჯენი კოპით და საყრდენი კოლოფებით არ კეთდება. მალის ნაშენის ორივე სექცია ერთდროულად ბეტონდება, თარაზულ მდგომარეობაში, ისე რომ კოპების ზედა ნაწილი ერთმანეთისაკენ არის მიმართული (ნახ. 175, ა). დაბეტონება ორ სტადიად ხდება. პირველ სტადიაში ბეტონდება ორივე სექციის სავალი ნაწილის ფილა და მთავარი კოპის კედლები (ნახ. 175, ბ). ამ ნა-

[1] მალის ნაშენის თითო კოპის ქვედა სარტყელში მოთავსებულია 128 წინასწარდაძაბული საარმატურო კონა, თითოში 5 მავთულით (დიამეტრი 5 მმ). გარდა ამისა, მალის შუა უბანში დამატებით ჩაწყობილია 20 ასეთივე კონა წინასწარ დაძაბვის გარეშე.

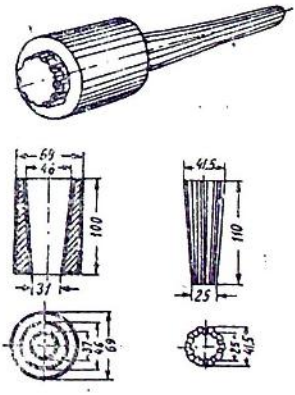
წილის გამაგრების შემდეგ იგი გამოიყენება არმატურის დასაჭიმ სტენდად: ორი კოჭის საარმატურო კონები ტორსებთან ირიბად გადაიღუნება და ერთმანეთს უერთდება დასაჭიმი ხელსაწყოების საშუალებით, ისე როგორც ეს ნახ. 176-ზეა ნაჩვენები. დაჭიმვის შემდეგ ხდება კოჭების დარჩენილი ნაწილის, ე. ი. ქვედა სარტყულების დაბეტონება (ნახ. 175, გ). უკეთესი შეკიდულები-



ნახ. 176. არმატურის დაჭიმვის სქემა ლენინგრადის ხიდმშენის მალის ნაშენების დამზადების დროს.

სათვის ძველი ბეტონის ზედაპირი დაბეტონების მეორე სტადიის წინ საგანგებოდ უნდა დამუშავდეს.

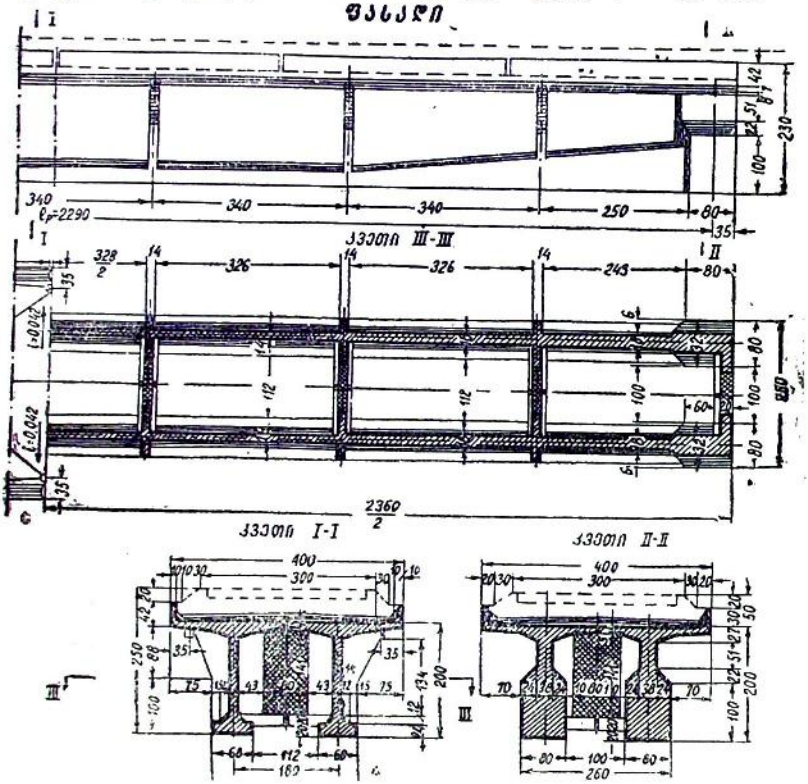
თვით დასაჭიმი მოწყობილობის კონსტრუქციაც ამ ტექნოლოგიის დროს გამარტივებულია. მძლავრი ჰიდრავლიკური დომკრატების ბატარეა საჭირო არ არის. არმატურის კონების მავთულები თავდება სპეციალური დამჭერებით, რომლის კონსტრუქცია ნახ. 177-ზეა ნაჩვენები; დამჭერები თავისმხრივ ჩამაგრებულია დასაჭიმავ ხელსაწყოებში. თვით დაჭიმვა წარმოებს გადასატანი დომკრატული მანქანის საშუალებით. ამ ხელსაწყოების აღწერა სპეციალურ ლიტერატურაშია მოცემული [42].



ნახ. 177. საარმატურო დამჭერების კონსტრუქცია.

განვიხილოთ ახლა მალის ნაშენის მეორე ტიპი, დაარმირებული სწორი და მრუდხაზობრივი არმატურით (არმირების მეორე სქემა, ნახ. 169, გ). დამზადების ტექნოლოგიის თვალსაზრისით ამ ტიპის მალის ნაშენები მიეკუთვნება მეორე ჯგუფს, ე. ი. არმატურის დაჭიმვა ხდება კონსტრუქციის დაბეტონების შემდეგ. დამახასიათებელია აგრეთვე ის გარემოება, რომ არმატურის სახით იხმარება მძლავრი საარმატურო კონები მავთულების დიდი რაოდენობით, აღწერილი წინა პარაგრაფში.

ასეთი ტიპის მალის ნაშენების კონსტრუქცია წამოყენებული იყო ინჟინერ ა. პ. კოროვკინის მიერ [21], შემდეგ კი დამუშავდა რკინიგზის მშენებლობის და დაპროექტების საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში (ЦНИС), ინჟ. ე. ა. ტროიცკის მიერ [42]. მაგალითისათვის განვიხილოთ ЦНИС-ის ტიპის მალის ნაშენი საანგარიშო მალით 22,9 მ. მისი საერთო სახე მოცემულია ნახ. 178-ზე. როგორც ვხედავთ, მალის ნაშენი ორსექციურია; ყოველი სექცია შეიცავს თითო მთავარ კოჭს და ჩვეულებრივი სახის საბალასტო გობის ფილას. მალის ნაშენის გამონოლითება ხდება დიაფრაგმების საშუალებით. დიაფრაგმების პირაპირი ადგილზე სრულდება, ორივე სექციის

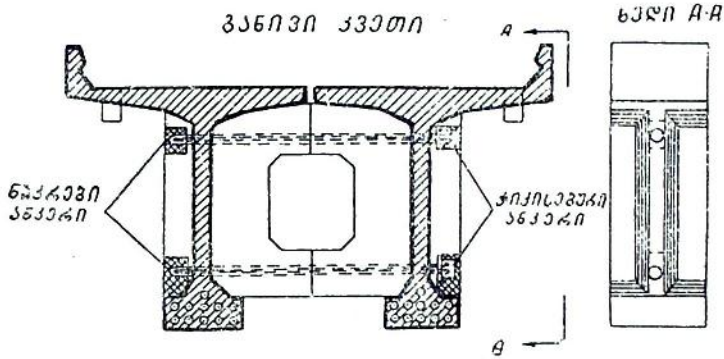


ნახ. 178. ЦНИС-ის სისტემის მალის ნაშენის საერთო სახე.

დაყენების შემდეგ და შეიძლება განხორციელდეს როგორც ჩვეულებრივი წესით (იხ. § 13), ისე წინასწარდაძაბული საარმატურო კონების გამოყენებით. დიაფრაგმების ამ უკანასკნელი ტიპის პირაპირი ნაჩვენებია ნახ. 179-ზე. დიაფრაგმების ზედა და ქვედა ნაწილში წინასწარ კეთდება ხვრელები. ადგილზე დადგმის შემდეგ შიგ იყრება საარმატურო კონები; ერთი მხრიდან მათ ნაკრები ანკერები უკეთდება (ნახ. 168), მეორე მხრიდან კი ჩვეულებრივი ტიპის ჰიქისებური ანკერი, რომლის საშუალებით ხდება კონის დაჭიმვა. ხვრელი და ანკერის ბუდეები ამოივსება ცემენტის ხსნარით.

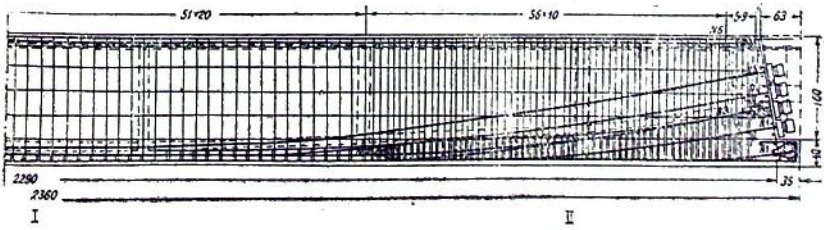
განსახილველ მალის ნაშენში ჩვენთვის ძირითად ინტერესს მთავარი კოჭების კონსტრუქცია წარმოადგენს. კოჭის არმირების ფასადი ნაჩვენებია ნახ. 180-ზე, განივკვეთები კი ნახ. 181-ზე.

მოგვყავს არმირების აღწერა. წინასწარდაძაბული არმატურა შედგება 11 მძლავრი საარმატურო კონისაგან. ყოველი კონა შეიცავს 54 მავთულს დიამეტრით 5 მმ. არმატურის ეკონომიის თვალსაზრისით სასურველია კონების რაოდენობა შემცირდეს მალის შუიდან საყრდენებისაკენ, მღუნავი მომენტის შემცირების თანახმად. ამისათვის ნახმარია ასეთი ხერხი: კონების ნაწილი კოჭის მთელ სივრძეზე მიდის (ნახ. 180, კონები №№ 1, 3, 4, 5), ნაწილი კი



ნახ. 179. სექციების შეერთება დიაფრაგმების წინასწარდაძაბული პირაპირით.

იწყება კოჭის ერთ ბოლოში, სცილდება მალის შუა კვეთს და შემდეგ წყდება საწინააღმდეგო მეოთხედის მახლობლად (კონები № 2), ასეთივე კონები იდგმება სიმეტრიულად კოჭის მეორე ბოლოდან. ამგვარად, მალის შუა უბანში ძირითადი მუშა არმატურა 11 კონას შეიცავს, განაპირა უბნებში კი კონების რაოდენობა შემცირებულია 9-მდე. ამ უბნებში კონები ზევითაა აღუნული და ეწინააღმდეგება მთავარ გამჭიმავ ძაბვებს. კოჭის ზედა ზონაში კეთდება ორი დამატებითი საარმატურო კონა № 6. კონების ბოლოში კეთდება § 28-ში აღწერილი ანკერები. ყოველი კონის ერთ ბოლოში მოწყობილია ყრუ ანკერი, ჩაბეტონებუ-



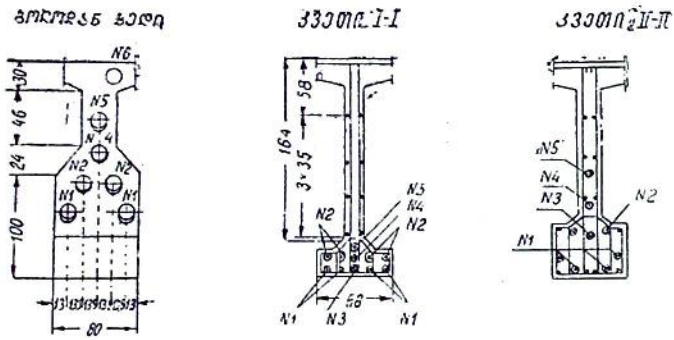
ნახ. 180. ЦНИС-ის სისტემის მალის ნაშენის მთავარი კოჭის არმირება.

ლი კოჭში, მეორე ბოლო კი დასაჭიმად გამოდის კოჭის ტორსზე და აქ ჭიქისებური ტიპის ანკერი კეთდება. ყველა საარმატურო კონა მოთავსებულია გარსებში, რომლებიც წარმოადგენს თუნუქის მილებს. მათი დიამეტრი 15—

20 მმ-ით სჭარბობს კონის გარეგან დიამეტრს. ამგვარად, ბეტონში იქმნება ხვრელები, რომლებშიაც მოთავსებულია საარმატურო კონები.

გარდა წინასწარდაძაბული კონებისა, კოჭში კეთდება საკიდები და თარაზული ღეროები კედლის ფარგლებში, ჩვეულებრივი მრგვალი რკინისაგან.

გადავიდეთ მალის ნაშენის დამზადების წესზე. დამზადებულ ყალიბებში ეწყობა კოჭის არმატურა. საარმატურო კონები წინასწარ ჩასმულია თუნუქის გარსში და ამ სახით იდგმება ყალიბში, სათანადო მოხაზულობის დაცვით. ჰიქისებური ანკერები გამოტანილია კოჭის ტორსებზე. ასეთ მდგომარეობაში ხდება კოჭის დაბეტონება. თუნუქის გარსების გამო საარმატურო კონების ბეტონთან შეჭიდვა არ ხდება. ბეტონის გამაგრების შემდეგ (საპროექტო სიმტკიცის 70—80%-მდე) შეიძლება არმატურის დაძაბვა. ამისათვის იხმარება მძლავრი ჰიდრავლიკური დომკრატები. დაჭიმვის პროცესი შემდეგში მდგომა-

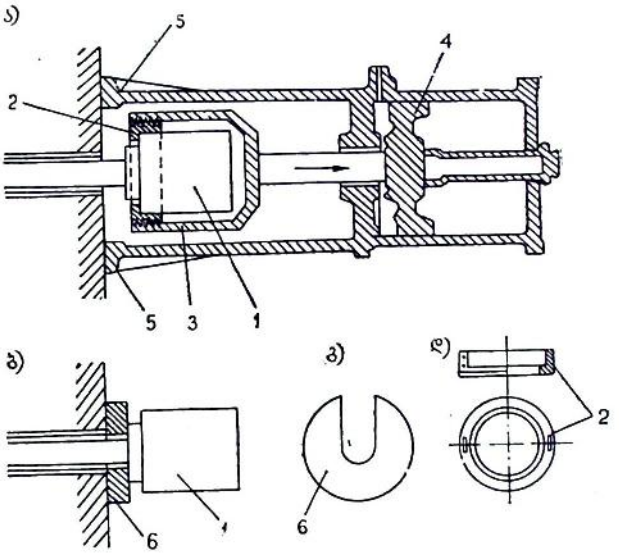


ნახ. 181. მთავარი კოჭის განივკვეთები.

რეობს (ნახ. 182): ჰიქისებურ ანკერს 1 წინასწარ მიემაგრება რგოლური დამჭერი 2 (ნახ. 182, ა). იგი ორი ნაწილისაგან შედგება, გარედან ჩამოეცმება ანკერს და შემდეგ ორივე ნახევარი იკვრება ჭანჭიკებით. დამჭერს გარედან ხრახნი აქვს და მას მიეხრახნება დომკრატის ქურო 3, შეერთებული დგუშთან 4. თვით დომკრატი სპეციალური ფეხებით 5 ეყრდნობა ბეტონის ზედაპირს. დამაგრების შემდეგ დომკრატი იწყებს მუშაობას, დგუში გამოსწევს ქუროს და ანკერს და ამგვარად სჭიმავს არმატურას. ამ დროს მკუმშავი ძალა დომკრატის ფეხებიდან გადაეცემა კოჭის ტორსს. საარმატურო კონის გაჭიმვის გამო ანკერი სცილდება ბეტონის ზედაპირს და მათ შორის ჩნდება ხარვეზი. ეს ხარვეზი ამოივსება საჭირო სისქის ჩანგლისებური საყელურებით 6 და დომკრატი მოიხსნება (ნახ. 182, ბ). რგოლური დამჭერის და ჩანგლისებური საყელურის დეტალები ნაჩვენებია ნახ. 182, დ და 182, გ-ზე. დომკრატების ტიპები და აღწერა მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში [42,56].

არმატურის დაჭიმვის შემდეგ საჭიროა ცემენტის ხსნარით ამოვავსოთ ის ხვრელები, რომლებშიც საარმატურო კონები გადის. მართალია, ანკერები უზრუნველყოფს არმატურისა და ბეტონის ერთობლივ მუშაობას, მაგრამ ხვრელების ამოვსება მაინც სასარგებლოა: ცემენტის ხსნარი აღადგენს შეჭიდულებას ბეტონსა და არმატურას შორის, იცავს ამ უკანასკნელს კოროზიისაგან და აუმჯობესებს კონსტრუქციის მუშაობის პირობებს. ხვრელების ამოვსება შემდეგნაირად ხდება: თუნუქის გარსებს, რომლებშიც საარმატურო კო-

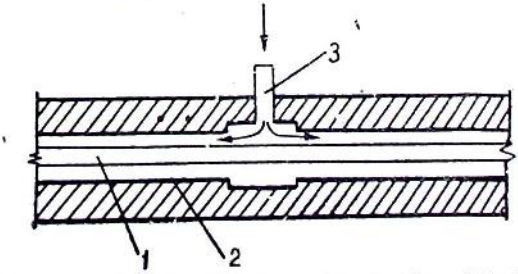
ნებია მოთავსებული, წინასწარ უკეთდება გვერდითი მილაკები; ისინი კოჭის ზედაპირზე გამოდის (ნახ. 183). მილაკის საშუალებით ხდება გარსში ცემენტის ხსნარის ჩატუმბვა (ინექცია), სათანადო წნევის ქვეშ. ხსნარი მილაკიდან ორივე მხარეს მიიმართება და ავსებს გარსს. ჩასატუმბავ მილაკებს შორის მანძილი ჩვეულებრივ 6—8 მ-ის ფარგლებში [illegible]აიღება. ხვრელების [illegible]ამოვსე-



ნახ. 182. საარმატურო კონების დაჭიმვის პროცესი.

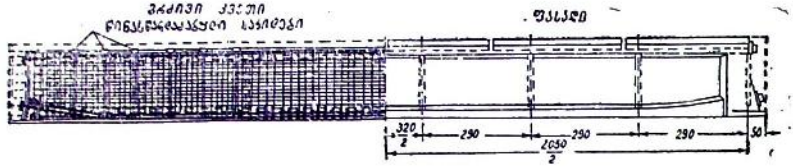
ბის გარდა საჭიროა აგრეთვე ანკერების დაფარვა ბეტონის გარსით. ამისათვის დაჭიმვის დამთავრების შემდეგ ხდება კოჭების ტორსების დაბეტონება. ეს ნაწილი ნახ. 180-ზე პუნქტირითაა ნაჩვენები.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, შეიძლება ვიხმაროთ კიდევ მთავარი კოჭების არმირების მესამე სქემა, სწორხაზობრივი ძირითადი არმატურით და წინასწარდაძაბული შვეული საკიდებით. განვიხილოთ ასეთი ტიპის მალის ნაშენის მაგალითი. იგი დაპროექტებულია ЦНИС-ის მიერ (დ. ა. გრიგორიევი, ე ა. ტროიცკი). მალის ნაშენის საანგარიშო მალია 20,5 მ. მის განივკვეთში ეწყობა ოთხი მთავარი კოჭი, დაყოფილი ორ სექციად. მთავარი კოჭის ფასადი ნაჩვენებია ნახ. 184-ზე, განივი კვეთი კი ნახ. 185-ზე. წინასწარდაძაბული



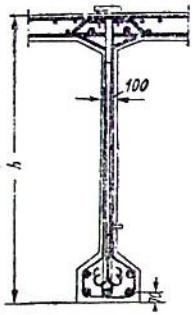
ნახ. 183. საარმატურო კონების გარსების ამოვსება ცემენტის ხსნარით.
1—საარმატურო კონა; 2—თუნუქის გარსი; 3—ჩასატუმბავი მილაკი.

საკიდები განხორციელებულია საარმატურო კონების სახით. კონა თავსდება თუნუქის გარსში; მას ქვევით ყრუ ანკერი აქვს, ზევით კი შემცირებული კვეთის ჰიქისებური ანკერი, აღწერილი წინა პარაგრაფში (ნახ. 167); ამ უკანასკნელის საშუალებით ხდება საკიდის დაჭიმვა კოჭის დაბეტონების შემდეგ. დაჭიმვის წესი ისეთივეა, როგორც ზემოთ იყო განხილული. ძირითადი მუშა



ნახ. 184. წინასწარდაძაბული საკიდებიანი მთავარი კოჭის ფასადი.

არმატურა მძლავრი სწორხაზოვანი კონების სახით კეთდება და არავითარ თავისებურებას არ შეიცავს. წინასწარდაძაბული საკიდები იდგმება ერთმანეთისაგან 80—100 სმ-ის მანძილზე. მათი მუშაობა საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ კოჭის კედლის სისქე 10 სმ-მდე. მალის შუა უბანში მთავარი გამჭიმავი ძაბვების სიდიდე მცირდება და დაძაბული საკიდების დაყენება საჭირო აღარ არის. აღწერილმა კონსტრუქციამ ჯერჯერობით დიდი გავრცელება ვერ მოიპოვა.



ნახ. 185. მთავარი კოჭის განივკვეთი.

ამგვარად, ჩვენ განვიხილეთ რკინიგზის ხიდების ჭრილი კოჭური წინასწარდაძაბული მალის ნაშენების ძირითადი ტიპები. ქვემოთ მოგვყავს ცხრილი 13, რომელშიც შეგროვილია ძირითადი მონაცემები დაპროექტებული მალის ნაშენების შესახებ. 15,8—26,9-მეტრიანი მალის ნაშენები დაპროექტებულია ლენტრანსმოსტპროექტის, ხოლო 33,6-მეტრიანი—ლენინგრადის ხიდმშენის მიერ.

ნაკრები წინასწარდაძაბული მალის ნაშენების ყველა მოყვანილი ტიპი ტექნიკურად თითქმის ტოლფასია. ამიტომ ამა თუ იმ კონსტრუქციის არჩევის დროს გადამწყვეტი მნიშვნელობა ეკონომიურ მაჩვენებლებს

ცხრილი 13

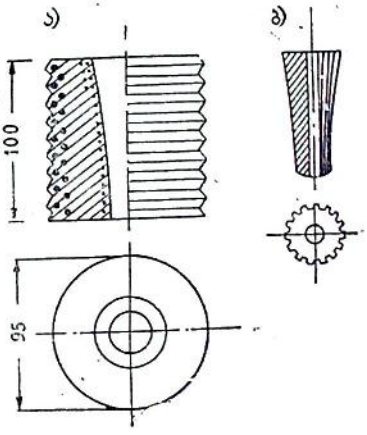
ძირითადი მონაცემები

რკინიგზის ხიდების ჭრილი კოჭური ნაკრები წინასწარდაძაბული მალის ნაშენების შესახებ

საანგარიშო მალი	სრული სიგრძე	სამშენებლო სიმაღლე: კონსტრუქციის ძირამდე	სამშენებლო სიმაღლე: საჭრდენ ბანებამდე	h	$\frac{h}{l}$	ბეტონის მარკა	ბეტონის მოცულობა	არმატურის წონა: მალის რისხვიანი ჩარჩო	არმატურის წონა: ბურჯის ჩარჩო	არმატურის წონა: მრგვალი ფოლადი—V	არმატურის წონა: დანარჩენი	არმატურის წონა: სულ	ბლოკების რაოდენობა	ერთი ბლოკის წონა
მ	მ	მ	მ	მ		კგ/სმ²	მ³	ტ	ტ	ტ	ტ	ტ	ცალი	ტ
15,8	16.5	1,93	2,14	1,45	1/10,9	400	22,7	2,43	1,61	2,18	0,47	6,69	1	60,4
18.0	18,7	2,18	2,39	1,70	1/10,6	400	29,3	3,06	1,98	2,62	0,53	8,19	1	77,6
18,0	18,7	2,20	2,41	1,70	1/10,6	400	34,5	3,06	1,64	2,22	0,53	7,45	2	41,8
22,9	23,6	2,50	2,90	2,00	1/11,4	400	49,4	4,29	1,65	4,10	0,78	10,82	2	60,0
26.9	27,6	2,75	3,15	2,25	1/12	400	62,6	6,37	2,62	4,26	0,96	14,21	2	75,5
33,6	—	3,50	3,90	3,00	1/11	500	82,6	7,06	—	15,34	—	22,40	2	103,0

და დამზადების სიადვილეს აქვს. ჯერჯერობით გადაჭრით არ შეიძლება ითქვას, თუ რომელ ტიპს უნდა მიეცეს საბოლოო უპირატესობა. აღსანიშნავია მხოლოდ ერთი გარემოება: როგორც პრაქტიკულმა გამოცდილებამ გამოარკვია, იმ კონსტრუქციებს, რომელთა არმატურის დაძაბვა დაბეტონების შემდეგ ხდება (მეორე ჯგუფის კონსტრუქციები), გარკვეული ნაკლოვანება ახასიათებს: ხსნარის ინექცია ხვრელებში ხშირად ვერ აღწევს სასურველ შედეგს, არმატურის გარშემო ხშირად რჩება ცარიელი სიღრუეები და მისი ჟანგვის საშიშროება იქმნება. ამიტომ უკანასკნელ ხანებში უმჯობესად ითვლება პირველი ჯგუფის კონსტრუქციები, სადაც არმატურის დაძაბვა დაბეტონებამდე ხდება. ეს, რასაკვირველია, იმას არ ნიშნავს, რომ მეორე ჯგუფის კონსტრუქციები უვარგისია. პირიქით, მათი გაუმჯობესება და დამზადების ტექნოლოგიის სრულყოფა აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

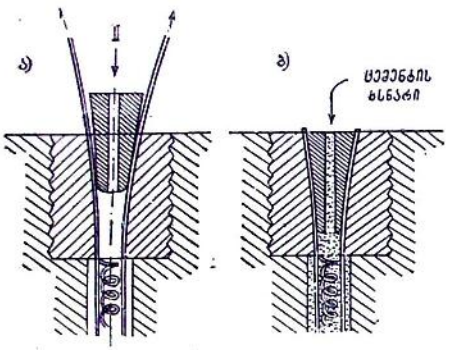
აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტის ერთ-ერთი ხერხი ფრეისინეს ტიპის საარმატურო კონების გამოყენებაში მდგომარეობს. ეს კონები წინა პარაგრაფში იყო აღწერილი. როგორც აღვნიშნეთ, ასეთი კონის გულას შეადგენს მავთულის სპირალი, რომელსაც გარშემო მუშა მავთულების ერთი რიგი აკრავს (იხ. ნახ. 163). სპირალური გულას გამო კონა განსაკუთრებით მოქნილი გამოდის და ადვილად იღებს მრუდხაზოვან ფორმას. მისთვის დამუშავებულია სპეციალური ანკერის ტიპი და დასაჭიმი დომკრატის კონსტრუქცია. შევჩერდეთ მათზე.



ნახ. 186. ფრეისინეს ტიპის ანკერი.

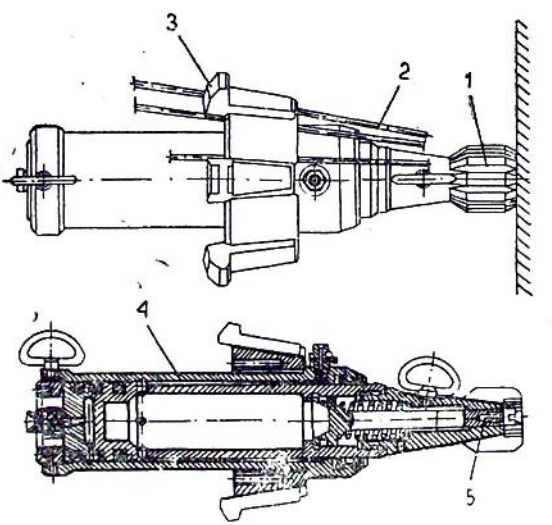
ფრეისინეს ტიპის ანკერი ორი ნაწილისაგან შედგება. ერთი არის რკინაბეტონის ცილინდრი კონუსისებური ხვრელით, რომელიც მაღალი სიმტკიცის ბეტონისაგან კეთდება და დაარმირებულია სპირალური არმატურით (ნახ. 186, ა). ცილინდრს ტალღოვანი ზედაპირი აქვს. მეორე ნაწილი წარმოადგენს ფოლადის კონუსურ გულას (ნახ. 186, ბ). შუაში მას გამჭოლი ხვრელი აქვს, გარედან კი არხები მავთულების ჩასაჯდომად. აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელ ხანებში რკინაბეტონის ცილინდრის მაგივრად ხშირად იმავე ფორმის ლითონის ცილინდრს (რგოლს) ხმარობენ. არმატურის ბოლოების დაანკერება შემდეგნაირად ხდება: რკინაბეტონის ცილინდრი ჩამაგრებულია დასამზადებელი ელემენტის მასივში. საარმატურო კონის მავთულები ცილინდრის ხვრელის საშუალებით გარეთაა გამოყვანილი და მათ შორის იდგმება ფოლადის გულა, ისე რომ მავთულები მის არხებში გადის, მაგრამ გულა ჯერ ჩაჭედილი არ არის (ნახ. 187, ა). ამის შემდეგ იწყება არმატურის დაჭიმვა. ამ ოპერაციას სპეციალური ორმაგი მოქმედების დომკრატი ასრულებს. მისი საერთო სახე ნაჩვენებია ნახ. 188-ზე. დომკრატის ფეხი 1 მიდგმულია ელემენტის ზედაპირზე, მავთულების გამოშვერილი ბოლოები 2 კი მაგრდება დომკრატის კორპუსზე საგანგებო სოლების 3 საშუალებით. დაჭიმვის და დაანკერების ოპერაცია ორ სტადიად ხდება. პირველად დომკრატის მოქმედების შედეგად მისი ფეხი

ებრჯინება ბეტონს, კორპუსი 4 უკან იწევს და სჭიმავს მავთულებს. საკმარისი დაძაბულობის მიღების შემდეგ იწყება მეორე სტადია: ამუშავდება დგუში 5 და ჩაუდავს ანკერის გულას ცილინდრის კონუსურ ხვრელში, ისე რომ მავთულები გაიჭედება ანკერში. ამის შემდეგ დომკრატი იხსნება და მავთულების გამოშვერილი ბოლოები მოიჭრება. საარმატურო ხვრელის ამოსავსებად ანკერის გულას ხვრელიდან ხდება ცემენტის ხსნარის ჩატუმბვა. იგი შიგნიდან შედის კონის სპირალურ გულაში, ვრცელდება ხვრელის გასწვრივ და ადვილად ამოავსებს მას. ანკერის საბოლოო სახე ნაჩვენებია ნახ. 187,ბ-ზე.



ნახ. 187. მავთულების დაანკერება ფრეისინეს ტიპის ანკერით:
ა—დაანკერების პროცესი;
ბ—ანკერის საბოლოო სახე.

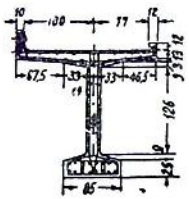
აღწერილი ტექნოლოგია აადვილებს კონსტრუქციის დამზადებას და აუმჯობესებს ხვრელების ამოვსების პროცესს. მაგრამ ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ ფრეისინეს ტიპის ერთფენოვანი კონები უფრო ნაკლებ მავთულებს შეიცავს და ნაკლები ზიდვის უნარით ხასიათდება, ვიდრე მძლავრი საარმატურო კონები ჰიქისებური ანკერებით. ამიტომ ასეთ ტექნოლოგიაზე გადასვლა კონების რიცხვის მომატებას მოითხოვს, რაც, ცხადია, არასასურველია. მეტად მიზანშეწონილია შევათავსოთ მძლავრი საარმატურო კონების დადებითი მხარეები დაბეტონებამდე დაჭიმვის უპირატესობებთან. ასეთი გადაწყვეტა წარმოუენებულია მოსკოვის რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა ინსტიტუტის ხიდების კათედრის მიერ (ლ. ი. იოსილევსკი, მ. ნ. მალკო და ა. ს. ივანოვი, პროფ. გ. კ. ეფგრაფოვის ხელმძღვანელობით). მალის ნაშენი დააპროექტა ლენტრანსმოსტპროექტმა, 18,2 და 23,0 მ-ის მალებისათვის. იგი ორსექციურია. ყოველი სექცია წარმოადგენს ორტესებრ კოჭს (ნახ. 189). მის ქვედა სარტყელში მოთავსებულია 16 მძლავრი საარმატურო კონა ისეთივე ტი-



ნახ. 188. ორმაგი მოქმედების დომკრატი.

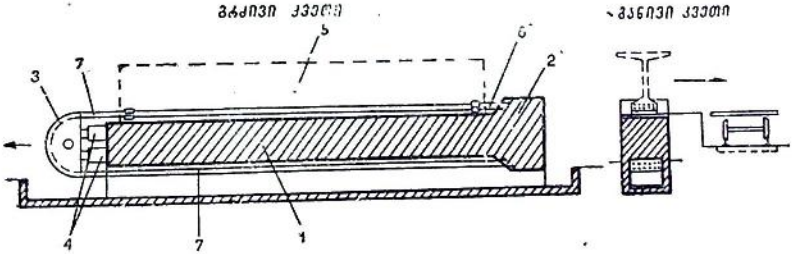
პისა, როგორც ცენტრალურ საკონსტრუქტორო ბიუროს მალის ნაშენებში გვქონდა. კონებს სწორხაზობრივი მიმართულება აქვს და თავდება ყრუ ანკერებით; მთავარი გამჭიმავი ძაბვების ასატანად კოჭის კედელში დადგმულია ჩვეულებრივი საკიდები და ირიბი ღეროები.

არმატურის დაძაბვა ხდება კოჭის დაბეტონებამდე. ამისათვის დაპროექტებულია მარტივი სტენდი (ნახ. 190). მის მთავარ ნაწილს წარმოადგენს რკინაბეტონის მძლავრი საბრჯენი კოჭი 1, დაყენებული სპეციალურ საძირკვლებზე. ერთ ბოლოში კოჭს უძრავი კუდი 2 აქვს, მეორე ბოლოში კი მოთავსებულია რკინაბეტონის სათავე კოჭი 3, მრუდხაზოვანი გარეგანი ზედაპირით. საბრჯენ კოჭსა და სათავეს შორის ჩადგმულია მძლავრი ჰიდრავლიკური დომკრატების ბატარეა 4, რომელთა საშუალებით სათავე გადაადგილდება თარაზული მიმართულებით.



ნახ. 189.

დასაბეტონებელი მალის ნაშენის ყალიბები 5 იდგმება სტენდის კოჭზე, ნორმალურ შეეულ მდგომარეობაში. დასაჭიმი არმატურის ანკერებს ინვენტარული ჭიმები ემაგრება. ჭიმები 6 აერთებს ანკერებს სტენდის კუდთან, ჭიმები 7 კი უკლის სათავე კოჭს და იმავე კუდს ემაგრება სტენდის ქვევიდან. ამით უზრუნველყოფილია საბრჯენი კოჭის მუშაობა ცენტრალურ კუმშვაზე და გაადვილებულია მისი არმირება. ჭიმების დამაგრების შემდეგ დომკრატები იწყებს მუშაობას და გამოსწევს სათავე კოჭს მარცხნივ. ამით ხდება საარმატურო კონების დაჭიმვა. დომკრატები მაგრდება ასეთ მდგომარეობაში და წარმოებს მალის ნაშენის დაბეტო-



ნახ. 190. მოსკოვის სატრანსპორტო ინსტიტუტის სისტემის სტენდის სქემა.

ნება. ბეტონის გამაგრების შემდეგ დომკრატები ეშვება და ჭიმები იხსნება; დამზადებული მალის ნაშენი თარაზული მიმართულებით გადაადგილდება სტენდის განივად, საგორავების საშუალებით.

აღწერილი ტექნოლოგია დიდი უპირატესობით ხასიათდება: მძლავრი კონების არსებობა ამცირებს მათ რიცხვს და დამზადების შრომატევადობას. სტენდი საკმარისად მარტივია და არ მოითხოვს ლითონის კონსტრუქციებს. საჭირო აღარ არის თუნუქის გარსების მოწყობა კონების გარშემო და ხსნარის ინექცია, ყველა აქედან გამომდინარე დადებითი მხარეებით. კოჭის შეეულად დაბეტონებაც სასარგებლოა, რადგან შემდგომი გადაყირავება გამორიცხულია. ამჟამად მოსკოვის რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა ინსტიტუტის ტექნოლოგია რეკომენდებულია ფართო გამოყენებისათვის.

ადვილი გასაგებია, რომ წინასწარდაძაბული კოჭური მალის ნაშენების

მონოლითური სახით განხორციელება არავითარ თავისებურებას არ შეიცავს. დამზადების ესა თუ ის ტექნოლოგია მთლიანად უცვლელი რჩება, განსხვავება მხოლოდ იმაში მდგომარეობს, რომ ყველა ოპერაცია უნდა შესრულდეს არა პოლიგონზე ან ქარხანაში, არამედ უშუალოდ მალში, მთლიან ქარგილებზე. ამიტომ ნაკრები კონსტრუქციების შესწავლის შემდეგ მონოლითურ წინასწარდაძაბულ კონსტრუქციებზე საგანგებოდ შეჩერება საჭირო არ არის. აღსანიშნავია, რომ რთული წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების ადგილზე დამზადება გაცილებით უფრო ძნელია, ვიდრე, მაგალითად, საგანგებოდ მოწყობილ პოლიგონზე, ამიტომ მონოლითური წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები უფრო ნაკლებად ხელსაყრელია, ვიდრე ნაკრები.

რამდენიმე სიტყვა უნდა ვთქვათ ნაკრებ-მონოლითური ანუ კომბინირებული კონსტრუქციების შესახებ. ასეთი კონსტრუქციების იდეა შემდეგში მდგომარეობს: ქარხნული და პოლიგონური წესით მზადდება წინასწარდაძაბული ნაკრები ელემენტები, რომლებიც შემდეგ მალში იდგმება და მთლიანი კონსტრუქციის მზიდ ნაწილს წარმოადგენს. კონსტრუქციის დანარჩენი ნაწილი ადგილზე ბეტონდება, ისე რომ ნაკრები ელემენტები ყალიბების როლს ასრულებს. უკანასკნელ ხანებში ასეთი კონსტრუქციები მნიშვნელოვან ყურადღებას იპყრობს [18].

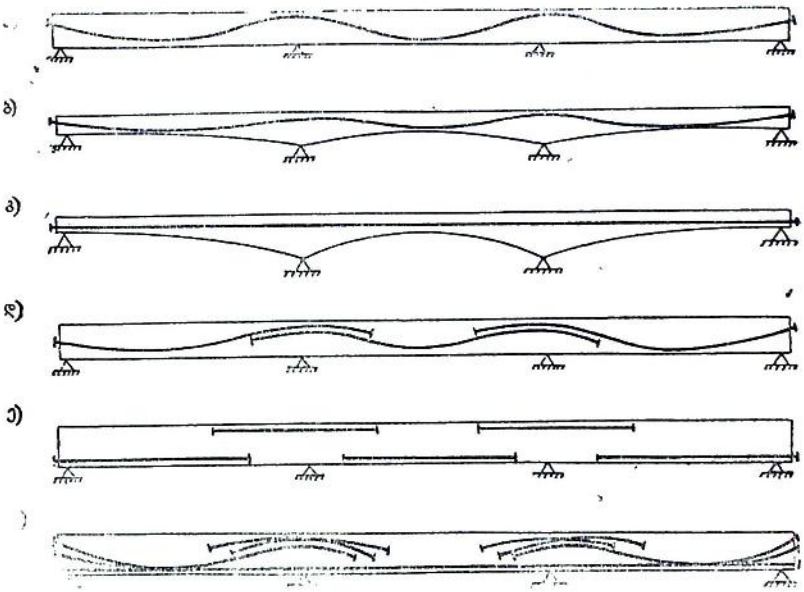
§ 30. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის უჯრი კოჭური და ჩარჩოვანი ხიდების კონსტრუქცია. კოჭური ხიდები წინასწარდაძაბული ფერმებით

წინა პარაგრაფში ჩვენ განვიხილეთ ჭრილი კოჭური ხიდების მალის ნაშენების წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები. უჯრი კოჭური მალის ნაშენების განხორციელება წინასწარდაძაბული რკინაბეტონისაგან გაცილებით უფრო რთული ტექნიკური პრობლემაა. მართლაც, უჯრი მალის ნაშენის მთავარ კოჭებში ორნიშნა მომენტები წარმოიშვება, ამიტომ საჭირო ხდება წინასწარდაძაბული არმატურის დადგმა როგორც ქვედა ზონაში (მალების ფარგლებში), ისე ზედა ზონაში (საყრდენ უბნებზე). ადვილი გასაგებია, რომ ეს მნიშვნელოვნად ართულებს კონსტრუქციას. სირთულეს ქმნის კოჭების შედარებით დიდი სიგრძეც, რადგან ძნელი ხდება არმატურის დაჭიმვა. ამ მიზეზების გამო უჯრი წინასწარდაძაბული მალის ნაშენები გაცილებით უფრო ნაკლებადაა გავრცელებული, განსაკუთრებით რკინიგზის ხიდებში. ამიტომ ჩვენ მხოლოდ არმირების პრინციპებს და ძირითად სქემებს გავეცნობით, მით უფრო, რომ კონსტრუქციული დეტალები აქ ისეთივეა, როგორც ჭრილი კოჭური ხიდების დროს. უფრო დაწვრილებით ამ საკითხს შეიძლება გავეცნოთ სპეციალური ლიტერატურის საშუალებით [12,24].

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, უჯრი სისტემის მთავარი კოჭის მალების ფარგლებში წინასწარდაძაბული არმატურა ქვედა ზონაში უნდა მოთავსდეს, საყრდენებზე კი ზედა ზონაში. ასეთი არმირების განხორციელება სხვადასხვა სქემით შეიძლება. განვიხილოთ, მაგალითისათვის სამმალიანი კოჭის არმირების სქემები (ნახ. 191). მალების სხვა რიცხვის დროს იგივე სქემები გვექნება.

მუდმივი სიმაღლის კოჭისათვის ყველაზე უფრო ლოგიკური იქნებოდა მრუდხაზოვანი არმატურის მოწყობა, რომელიც უწყვეტად გადავა მალის ქვედა ზონიდან საყრდენის ზედა ზონაში და ა. შ. (ნახ. 191, ა). მაგრამ სამუშაოთა წარმოების თვალსაზრისით ასეთი არმირება დიდ სიძნელეებს იწვევს: მრუდხაზობრივი არმატურის დაჭიმვა, ცხადია, მხოლოდ დაბეტონების შემდეგ შეიძლება, ამას კი ეწინააღმდეგება ხახუნის ძალები საარმატურო კონებსა და

ხვრელების კედლება ძორის. არმატურის დიდი სიგრძისა და კლაკნილი მოხაზულობის გამო ეს ძალები მეტად მნიშვნელოვანია და ხშირად დამჭიმავი ძალვის 70%-მდე შთანთქავს, რაც დომკრატების მეტისმეტად გაძლიერებას მოითხოვს. ამ თვალსაზრისით უფრო ხელსაყრელია ცვლადი კვეთის კოჭი, რომელსაც საყრდენ უბნებში მომატებული სიმაღლე აქვს[1] (ნახ. 191, ბ). ასეთ შემთხვევაში არმატურის მოხაზულობის სიმრუდე ნაკლებია და ხახუნის ძალებიც მცირდება. სიმაღლეების მეტად მკვეთრი განსხვავების დროს შეიძლება არმატურას სწორხაზობრივი სახეც კი მივცეთ (ნახ. 191, გ). ასეთი არმა-



ნახ. 191. უჭრი მთავარი კოჭების არმირების სქემები წინასწარდაძაბული არმატურის დროს

ტურა განსაკუთრებით მიზანშეწონილია ხახუნის შემცირების თვალსაზრისით და შეიძლება განხორციელდეს ნებისმიერი ტექნოლოგიით, არმატურის დაჭიმვით კოჭის დაბეტონებამდე ან დაბეტონების შემდეგ.

არმატურის სიგრძის შემცირების მიზნით შეიძლება ვიხმაროთ წყვეტილი არმირება. ნახ. 181, დ-ზე ნაჩვენებია სქემა, სადაც ყოველ მალში დამოუკიდებელი საარმატურო კონები იდგმება. საყრდენებზე თავს იყრის ორივე მეზობელი მალის არმატურა. წყვეტილი არმატურის მეორე სახე ნაჩვენებია ნახ. 191, ე-ზე. აქ მალები და საყრდენები დაარმირებულია დამოუკიდებელი სწორხაზოვანი არმატურით. არსებობს დამოუკიდებელი არმირების უფრო რთული სქემები, ნახ. 191, ვ-ზე ნაჩვენები ტიპისა: წინასწარდაძაბული არმატურის განაწილება აქ მსგავსია უჭრი კოჭის ჩვეულებრივი სახის არმირებისა.

[1] როგორც ვიცით, ცვალებადი სიმაღლის გამოყენება სასურველია აგრეთვე კოჭის მუშაობის პირობების თვალსაზრისით, რადგან საყრდენ კვეთებში მომენტების სიდიდე მეტია, ვიდრე მალში.

არმირების განხილული სისტემების შედარების დროს მხედველობაში უნდა გვქონდეს შემდეგი: წყვეტილი არმირების დროს მეზობელი მალების და საყრდენის არმატურა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელია. ეს საშუალებას გვაძლევს შევარჩიოთ ყოველი კვეთის არმატურის ფართობი შესაბამისი მღუნავი მომენტის მიხედვით. ამისაგან განსხვავებით უწყვეტი არმირების დროს არმატურის განივკვეთის ფართობი კოჭის მთელ სიგრძეზე ერთნაირია, ამიტომ არმატურის, ხარჯი ამ შემთხვევაში უფრო მეტი გამოდის. განსაკუთრებით ხელსაყრელია არმატურის ხარჯის შემცირების თვალსაზრისით ნახ. 191, ვ-ზე ნაჩვენები სქემა. მაგრამ, მეორეს მხრივ, უწყვეტი არმატურის უპირატესობაა მეტი სიმარტივე. დაჭიმვა აქ შეიძლება მოხდეს მხოლოდ კოჭის ტორსებიდან, რაც უდავოდ დადებითი მხარეა. არმატურის კონების შეწყვეტა მალის ფარგლებში (სქემები 191, დ, ე, ვ) არასასურველია კიდევ ერთი მოსაზრებით: კოჭის შუალედ კვეთებში მოთავსებული ანკერები ბეტონს დიდ შეყურსულ ძალებს გადასცემს და ამან შეიძლება გამოიწვიოს ადგილობრივი ბზარების გაჩენა. ამიტომ შინაგანი ანკერების უბნები გამაგრებული უნდა იყოს სათანადო ადგილობრივი არმატურით.

უჭრი წინასწარდაძაბული მალის ნაშენების დაპროექტების დროს მხედველობაში უნდა გვქონდეს ერთი გარემოება: არმატურის დაძაბვა უჭრ კოჭში, როგორც სტატიკურად ურკვევ სისტემაში, დამატებით ძალვებს იწვევს. ამიტომ საარმატურო კონების დაჭიმვის მიმდევრობა საგანგებოდ უნდა იყოს დამუშავებული, რომ დამატებითი ძაბვების განაწილების სასურველი სურათი მივიღოთ.

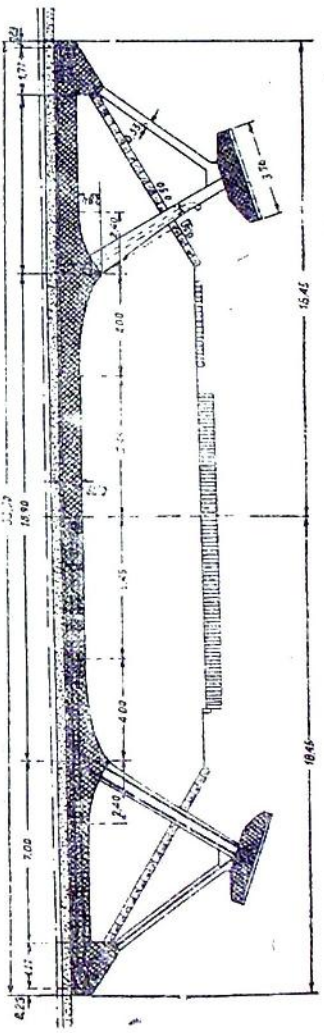
უჭრი მალის ნაშენების არმატურა უმეტესად ხორციელდება მძლავრი საარმატურო კონების სახით. მათი დაძაბვა დიდი სიმძლავრის ჰიდრავლიკური დომკრატებით ხდება. არმატურის დეტალები საკმარისად იყო აღწერილი ჩრილი მალის ნაშენების განხილვის დროს, ამიტომ აქ მათზე აღარ ვჩერდებით.

ადვილი გასაგებია, რომ დამზადების სირთულის გამო უჭრი წინასწარდაძაბული ხიდების გამოყენება გამართლებულია მხოლოდ საშუალო და დიდი მალების დროს.

განვიხილოთ ახლა წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენება ჩარჩოვან ხიდებში. აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელ დროს დამუშავებული და განხორციელებულია წინასწარდაძაბული ჩარჩოვანი ხიდების ბევრი სხვადასხვა სისტემა, მაგრამ ისინი ძირითადად ავტოგზის ხიდებისათვის იხმარება (იხ. § 33). რკინიგზის ხიდებში ერთგვარი გამოყენება ჰპოვა ჩარჩოებმა დახრილი დგარებით (ჩარჩოვან-მისაბრჯენიანი კონსტრუქცია). მაგალითისათვის ნახ. 192-ზე მოგვყავს ერთი ასეთი სახის გზამტარი, განხორციელებული საზღვარგარეთ. როგორც ვხედავთ, ჩარჩოს რიგელი ფილოვანი კვეთისაა და დაარმირებულია სუსტად გამრუდებული საარმატურო კონებით. შუალედი დგარები დახრილია, რაც ორგვარ სარგებლობას იძლევა. ერთის მხრივ იზრდება თაეისუფალი არე ხიდის ქვეშ და უმჯობესდება ხილვადობა ქვეშ გამავალ გზაზე; მეორეს მხრივ დგარების ძალვების თარაზული მდგენელები იძლევა დამატებით მკუმშავ ძალვებს რიგელის შუა მალში. განაპირა საყრდენების მაგივრად დადგმულია ირიბი ღეროები, რომლებიც გაჭიმვაზე მუშაობენ. დგარები და ირიბი ღეროები აგრეთვე დაარმირებულია წინასწარდაძაბული არმატურით. აღსანიშნავია, რომ ავტოგზის ხიდებში განხორციელებულია ასეთი ტიპის კონსტრუქციები 100-მეტრიანი სიდიდის შუალედი მალით.

მოყვანილი მაგალითი ნათლად გვიჩვენებს, თუ რა დიდ შესაძლებლობებს ჰბადებს წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენება ჩარჩოვან ხიდებში.

კოჭური ხიდების წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების მიმოხილვის დასამთავრებლად უნდა განვიხილოთ კიდევ ერთი ტიპის მალის ნაშენები. ყველა ზემოთმოყვანილ მალის ნაშენში ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია მთლიანკედლიანი წინასწარდაძაბული კოჭების (ან მთლიანი ფილის) სახით სრულდებოდა. არსებობს, გარდა ამისა, მალის ნაშენები, რომელთა მზიდ კონსტრუქციას რკინაბეტონის გამჭოლი წინასწარდაძაბული ფერმები წარმოადგენს.



ნახ. 192. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ჩარჩოვანი ხიდი.

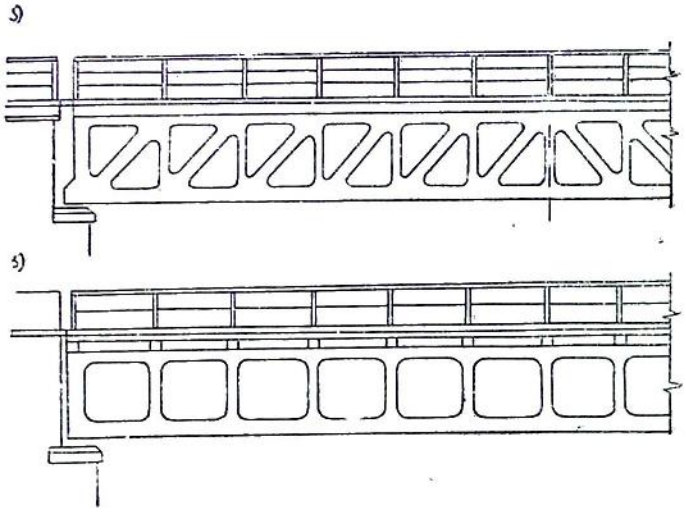
აღსანიშნავია, რომ ხიდებში რკინაბეტონის გამჭოლი ფერმების გამოყენების იდეა ახალი არ არის. ჯერ კიდევ მიმდინარე საუკუნის დასაწყისში განხორციელებული იყო მალის ნაშენები გამჭოლი ირიბნიანი ფერმებით (ე. წ. ვიზინტინის სისტემა). ასეთი მალის ნაშენის სქემა მოცემულია ნახ. 193, ა-ზე. ამავე პერიოდს ეკუთვნის ხიდებში რკინაბეტონის უირიბნო ფერმების გამოყენების პირველი ცდები. ეს ფერმები წამოყენებული იყო პროფ. ვირენდელის მიერ და თავისი მუშაობის პირობების მხრივ წარმოადგენს არა ფერმას, არამედ ჩარჩოს. ნახ. 193, ბ-ზე ნაჩვენებია უირიბნო ფერმებიანი მალის ნაშენის სქემა. ორივე სახის ფერმა მონოლითური რკინაბეტონისაგან კეთდებოდა და იხმარებოდა ძირითადად ავტოგზის ხიდებში.

ჩვეულებრივი რკინაბეტონისაგან განხორციელებული გამჭოლი ფერმები ხასიათდებოდა მთელი რიგი უარყოფითი მხარეებით: სუფთა გაპრიმვაზე მომუშავე ელემენტები (ქვედა სარტყელი, გისოსის ღეროები) მოითხოვდა მძლავრ არმირებას და არ იყო დაცული ბზარების წარმოქმნისაგან; რთული იყო ფერმების კვანძები, სადაც აგრეთვე ჩნდებოდა ბზარები. ამიტომ ჩვეულებრივი რკინაბეტონის გამჭოლმა ფერმებმა ხიდებში თითქმის ვერავითარი გავრცელება ვერ მოიპოვა.

უკანასკნელ ხანებში, წინასწარდაძაბული რკინაბეტონისა და მაღალხარისხოვანი მასალების გამოყენების საფუძველზე, გამჭოლფერმებიანი კოჭური

მალის ნაშენები კვლავ პოულობს გავრცელებას. მართლაც, გაჭიმულ ელემენტებში წინასწარდაძაბული არმატურის გამოყენება სპობს ბზარწარმოქმნის საშიშროებას, მაღალი სიმტკიცის ბეტონის ხარჯზე კი შეიძლება საგრძნობლად შემცირდეს შეკუმშული ელემენტების კვეთები და გამარტივდეს კვანძების კონსტრუქცია. ამიტომ გამჭოლი ფერმები საკმარისად რაციონალური გამოდის და შეიძლება ზოგიერთ შემთხვევაში თამამად შეეჯიბროს მთლიანკედლიან კოჭებს.

წინასწარდაძაბული ფერმებიანი მალის ნაშენის ერთ-ერთი სახე რკინიგზის კოჭური ხიდებისათვის წამოყენებულია პროფ. ვ. ი. გ ნ ე დ ო ვ ს კ ი ს



ნახ. 193. რკინაბეტონის მალის ნაშენები ირიბნიანი (ვიზინტინის სისტემის) და უირიბნო (ვირენდელის ტიპის) ფერმებით.

მიერ (ნახ. 194). მალის ნაშენი შედგება ორი მთავარი ფერმისაგან; სავალი ნაწილი მოწყობილია ხის განივებზე (უბალასტო სელა). ფერმის გისოსი აღმავალი ირიბნებისა და შვეული დგარებისაგან შედგება. გაჭიმული ელემენტები—ქვედა სარტყელი და დგარები—დაარმირებულია წინასწარდაძაბული არმატურით, რომელიც მძლავრი საარმატურო კონების სახით კეთდება. ზედა სარტყელი და ირიბნები კუმშვაზე მუშაობს, ამიტომ ჩვეულებრივი არმატურით არმირდება; მხოლოდ მალის შუა პანელებში, სადაც ირიბნებში ნიშანცვლადი ძალღონეა მოსალოდნელი, შეიძლება დაგვჭირდეს მათი არმატურის დაძაბვა. საარმატურო კონები გარსებშია მოთავსებული და მათი დაჭიმვა ფერმის დაბეტონების შემდეგ ხდება. მალის ნაშენი ან მთლიანად საზიდია, ან იყოფა ორ სამონტაჟო ბლოკად, რომელთა პირაპირი ნაკერის შუაშია მოწყობილი, შუა დგარის ღერძზე.

ფერმებიანი მალის ნაშენის მეორე ტიპი დამუშავდა უკანასკნელ პერიოდში, მოსკოვის რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა ინსტიტუტში (ლ. ი. იოსილევსკი, მ. ნ. მალკო) [17]. ასეთი მალის ნაშენები საშუალო და დიდი მალებისთვისაა განკუთვნილი (44—88 მ). თავისი გადაწყვეტის ძირითადი პრინციპით მათი მთავარი ფერმები მოგვაგონებს ფოლადის ხიდების ფერმებს:

ზომების შერჩევა, რომლებიც უზრუნველყოფენ მის წესიერ მუშაობას, ე. ი. ყველა იმ პირობის დაცვას, რაც საჭიროა ნორმალური ექსპლოატაციისათვის. არასწორი ან არაწესიერი გაანგარიშების შედეგად კონსტრუქცია ვერ შეასრულებს თავის დანიშნულებას: გარე ძალების ზეგავლენით მან შეიძლება ისეთი მდგომარეობა განიცადოს, რომ ნორმალური ექსპლოატაციის პირობები დარღვეული იქნება. მაშინ ამბობენ, რომ კონსტრუქცია ზღვრულ მდგომარეობაში იმყოფება. ამგვარად, ზღვრული მდგომარეობა ეწოდება კონსტრუქციული ელემენტის ისეთ მდგომარეობას, როდესაც გარეშე ძალების ზეგავლენით იგი აღარ აკმაყოფილებს ექსპლოატაციო მოთხოვნილებებს[1].

განვიხილოთ უფრო დაწვრილებით, თუ რა მიზეზების გამო შეიძლება დაირღვეს ნორმალური ექსპლოატაციის პირობები. პირველი მიზეზი შეიძლება იყოს კონსტრუქციის მიერ ზიდვის უნარის დაკარგვა: შესაძლებელია გარე ძალების შედეგად იმდენად გაიზარდოს ძალვები კონსტრუქციაში, რომ გადაილახოს მასალის სიმტკიცის ზღვარი; მაშინ კონსტრუქცია სიმტკიცეს კარგავს და ირღვევა. იგივე შედეგს მივიღებთ, თუ რღვევა გამოწვეულია მასალის გამძლეობის დაკარგვით, მისი დაღლილობის შედეგად, მრავალჯერადი ნიშანცვლადი ძალვების მოქმედების გამო. დაბოლოს ასეთივე შედეგი გვექნება კონსტრუქციის მდგრადობის დაკარგვის დროს. აღსანიშნავია, რომ მდგრადობის დაკარგვა ორგვარი სახისაა: შეიძლება მოხდეს ელემენტის ფორმის შეცვლა, მაგალითად, შეკუმშული ღეროს გაღუნვა გრძივი ღუნვის გამო. ასეთ მოვლენას ფორმის მდგრადობის დაკარგვა ეწოდება. მეორეს მხრივ შეიძლება ელემენტმა ფორმა არ შეიცვალოს, მაგრამ გარე ძალების მოქმედებით მთლიანად გადაადგილდეს—მაგალითად, ბურჯის გადაბრუნება ან წაცურება. ასეთ შემთხვევებს მდგომარეობის მდგრადობის დაკარგვა ეწოდება. ყველა ჩამოთვლილ მოვლენას ერთი და იგივე შედეგი მოსდევს: კონსტრუქციის ექსპლოატაცია შეუძლებელი ხდება; ამიტომ ყველა ისინი გაერთიანებულია პირველი ზღვრული მდგომარეობის სახელწოდებით. ამგვარად, პირველი ზღვრული მდგომარეობა ეწოდება კონსტრუქციის ისეთ მდგომარეობას, როდესაც ექსპლოატაცია შეუძლებელი ხდება მის მიერ სიმტკიცის, გამძლეობის ან მდგრადობის დაკარგვის გამო.[2]

მეორე საშიშროებაც არსებობს: შეიძლება კონსტრუქციას საკმარისი ზიდვის უნარი ჰქონდეს, მაგრამ მცირე სიხისტის გამო მან დაუშვებელი საერთო დეფორმაციები (მაგ. ჩაღუნვა) ან რხევები განიცადოს. ცხადია, რომ ესეც აბრკოლებს ნორმალურ ექსპლოატაციას და ამიტომ ზღვრულ მდგომარეობას წარმოადგენს. ამგვარად, მეორე ზღვრული მდგომარეობა ეწოდება კონსტრუქციის ისეთ მდგომარეობას, როდესაც მისი ნორმალური ექსპლოატაცია შეფერხებულია დაუშვებელი საერთო დეფორმაციების ან რხევების განვითარების გამო.

---

[1] უფრო ზუსტი ტერმინია „საანგარიშო ზღვრული მდგომარეობა". შემოკლების მიზნით ჩვენ აქ სიტყვა „საანგარიშო" აღარ ვიხმარეთ.

[2] სიმტკიცის დაკარგვა აქ ფართო გაგებით იხმარება და გულისხმობს არა მარტო უშუალოდ რღვევას, არამედ აგრეთვე მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებასაც (როგორც ეს ლითონის კონსტრუქციებში ხდება).

დაბოლოს, ზოგჯერ შესაძლებელია ნორმალური ექსპლოატაციის შეფერხება კონსტრუქციაში დაუშვებელი ადგილობრივი დაზიანებების (დეფორმაციების) წარმოქმნის გამო. მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ბზარების გაჩენა რკინაბეტონის ელემენტებში. ამის შესაბამისად, მესამე ზღვრული მდგომარეობა ეწოდება კონსტრუქციის ისეთ მდგომარეობას, როდესაც მისი ნორმალური ექსპლოატაცია შეფერხებულია დაუშვებელი ადგილობრივი დაზიანებების (ბზარების) წარმოქმნის გამო.

როგორც ვხედავთ, ხიდების ელემენტების გაანგარიშება უნდა ჩატარდეს სამი ზღვრული მდგომარეობით. პირველი ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება სავალდებულოა ყველა კონსტრუქციისათვის და აგრეთვე საძირკვლების ფუძისათვის. იგი მიზნად ისახავს მათი სიმტკიცის, გამძლეობის და მდგრადობის უზრუნველყოფას. ეს იგივეა, რაც სიმტკიცის, გამძლეობის და მდგრადობის შემოწმება ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად. მეორე ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება სავალდებულოა მხოლოდ იმ ელემენტებისათვის, სადაც მოსალოდნელია მნიშვნელოვანი საერთო დეფორმაციების განვითარება: კოჭების ჩაღუნვა, საყრდენების დაჯდომა, ელემენტების რხევა. გაანგარიშება მიზნად ისახავს ამ დეფორმაციების დასაშვები სიდიდის უზრუნველყოფას. ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად შესაბამისად გვქონდა ჩაღუნვის, საყრდენების დაჯდომის შემოწმება და ა. შ. მესამე ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება წარმოებს მხოლოდ რკინაბეტონის ელემენტებისათვის და მიზნად ისახავს ბზარების დასაშვები სიდიდის უზრუნველყოფას. ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად ასეთ გაანგარიშებას ეწოდება ბზარების წარმოქმნის შემოწმება[1].

ამგვარად, ჩვენ გამოვარკვიეთ კონსტრუქციების გაანგარიშების მიზნობრივი დანიშნულება. ახლა უნდა ვიფიქროთ, თუ როგორ მივაღწიოთ დასახულ მიზანს, ე. ი. როგორ ჩავატაროთ გაანგარიშება ისე, რომ ზღვრული მდგომარეობის არარსებობა კონსტრუქციისათვის გარანტირებული იყოს მისი საშსახურის მთელი ვადის განმავლობაში. ამისათვის მაგალითის სახით განვიხილოთ პირველი ზღვრული მდგომარეობა. სიმტკიცის, მდგრადობისა და გამძლეობის შესამოწმებელ ფორმულებს სამშენებლო მექანიკა გვაძლევს. ამ ფორმულებით გაანგარიშების შედეგი დამოკიდებულია მათში შეტანილ დატვირთვებზე და მასალის მექანიკურ მაჩვენებლებზე. გაანგარიშება ექსპლოატაციის ნორმალურ პირობებს გულისხმობს. ასეთ პირობებში კონსტრუქციაზე გარკვეული, ნორმალური სიდიდის დატვირთვები მოქმედებს. ამ დატვირთვების მნიშვნელობა ნორმებითა და ტექნიკური პირობებითაა დადგენილი და მათ ნორმატიული დატვირთვები ეწოდება. იგულისხმება აგრეთვე, რომ კონსტრუქცია განხორციელებულია გარკვეული, სტანდარტული ხასიათის მასალებისაგან; მათი მექანიკური თვისებები ხასიათდება სათანადო წინაღობებით. წინაღობა, როგორც ვიცით, ეწოდება ისეთ ძაბვას, რომელიც მასალის რღვევას ან დენადობას იწვევს. მაგალითად, მრღვევი მკუმშაი ძაბვა (სიმტკიცის ზღვარი) ბეტონისათვის, დენადობის ზღვარი ფოლადისათვის და სხვა. სტანდარტული მასალების წინაღობა გამოცდის საშუალებით

---

[1] გაანგარიშების სხვადასხვა სახელწოდება ძველი და ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად, რასაკვირველია, ფორმალურ განსხვავებას წარმოადგენს. არსებითი განსხვავებები გაანგარიშების მეთოდებს შორის მოყვანილია ქვემოთ.

ირკვევა; მათი სიდიდე მოცემულია ტექნიკურ პირობებში და ნორმატიული წინაღობის სახელს ატარებს. ამგვარად, ნორმალურ პირობებში კონსტრუქციის მუშაობა ნორმატიული დატვირთვებით და ნორმატიული წინაღობებით ხასიათდება. საკითხი ისმის, შეიძლება თუ არა ვაწარმოოთ კონსტრუქციის გაანგარიშება დატვირთვების და წინაღობების უშუალოდ ნორმატიული სიდიდეების მიხედვით? საყოველთაოდ ცნობილი მოსაზრებები გვიჩვენებს, რომ ეს დაუშვებელია: არსებობს მთელი რიგი ისეთი არახელსაყრელი ფაქტორებისა, რომლებსაც შეუძლიათ კონსტრუქციის მუშაობის ნორმალური პირობები გააუარესოს და იგი ზღვრულ მდგომარეობამდე მიიყვანოს. ჩამოვთვალოთ ძირითადი ასეთი ფაქტორები:

1. კონსტრუქციის სამსახურის ვადის განმავლობაში მოქმედმა ფაქტიურმა დატვირთვებმა შეიძლება გადააჭარბოს ნორმატიულ მნიშვნელობებს, რომლებიც მუშაობის ნორმალური პირობებისთვისაა დადგენილი.

2. კონსტრუქციის განსახორციელებლად ხმარებული მასალა შეიძლება შემთხვევით სტანდარტულზე უარესი იყოს, ე. ი. მისი ფაქტიური წინაღობები ნორმატიულ მნიშვნელობებზე ნაკლები იყოს.

3. კონსტრუქციის კვეთების ფაქტიური ზომები შეიძლება შემთხვევით უფრო ნაკლები იყოს, ვიდრე ეს გაანგარიშებითა და პროექტითაა მიღებული. შესაძლებელია, რომ კვეთის ზომები კონსტრუქციის სამსახურის პერიოდში შემცირდეს რაიმე მავნე ზეგავლენის შედეგად (მაგალითად, არმატურის კვეთის შემცირება კოროზიის გამო).

4. გაანგარიშების მეთოდებს ხშირად პირობითი ხასიათი აქვს. ამიტომ შესაძლებელია კონსტრუქციის ელემენტებში ფაქტიური ძალვები და ეაბვები უფრო მეტი იყოს, ვიდრე ეს გაანგარიშებით არის მიღებული.

ჩამოთვლილი ფაქტორები გვაიძულებს ვაწარმოოთ კონსტრუქციის გაანგარიშება გარკვეული მარაგით, ე. ი. მივცეთ მის კვეთებს მეტი ზომები, ვიდრე ეს დატვირთვების და წინაღობების ნორმატიული სიდიდის მიხედვით არის საჭირო. მარაგის სიდიდე უნდა იძლეოდეს იმის გარანტიას, რომ კონსტრუქცია არ გადავა ზღვრულ მდგომარეობაში, მიუხედავად ზემოჩამოთვლილი ფაქტორების არახელსაყრელი ზეგავლენისა.

მარაგის დანიშვნა სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიის ძირითადი ამოცანაა: მცირე მარაგის დროს არ იქნება გარანტირებული კონსტრუქციის ნორმალური მუშაობა, დიდი მარაგის დროს კი მასალების გადახარჯვას მივიღებთ. გაანგარიშების სხვადასხვა მეთოდები ამ საკითხს სხვადასხვაგვარად სწყვეტს.

დასაშვები ძაბვების მეთოდში გაანგარიშება წარმოებს ნორმატიულ დატვირთვებზე. ნორმატიულ წინაღობათა მაგიერ ანგარიშში მიღებულია დასაშვები ძაბვები. ეს უკანასკნელი სიდიდეები ერთმანეთთან დაკავშირებულია შემდეგი თანაფარდობით:

$$[\sigma]=\frac{R^{\text{н}}}{k}, \tag{40.1}$$

სადაც $[\sigma]$—დასაშვები ძაბვაა, $R^{\text{н}}$—სათანადო ნორმატიული წინაღობა, k—მარაგის კოეფიციენტი. ამ უკანასკნელის სიდიდე მიიღება ისეთნაირად, რომ იგი ჰფარავს ზემომოყვანილი ყველა არახელსაყრელი ფაქტორის ზეგავლენას. გაანგარიშების მსვლელობა დასაშვები ძაბვების მეთოდით შემდეგნაირია: ნორმატიული დატვირთვების მიხედვით გამოითვლება ძალვები

დაბოლოს, ზოგჯერ შესაძლებელია ნორმალური ექსპლოატაციის შეფერხება კონსტრუქციაში დაუშვებელი ადგილობრივი დაზიანებების (დეფორმაციების) წარმოქმნის გამო. მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ბზარების გაჩენა რკინაბეტონის ელემენტებში. ამის შესაბამისად, მესამე ზღვრული მდგომარეობა ეწოდება კონსტრუქციის ისეთ მდგომარეობას, როდესაც მისი ნორმალური ექსპლოატაცია შეფერხებულია დაუშვებელი ადგილობრივი დაზიანებების (ბზარების) წარმოქმნის გამო.

როგორც ვხედავთ, ხიდების ელემენტების გაანგარიშება უნდა ჩატარდეს სამი ზღვრული მდგომარეობით. პირველი ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება სავალდებულოა ყველა კონსტრუქციისათვის და აგრეთვე საძირკვლების ფუძისათვის. იგი მიზნად ისახავს მათი სიმტკიცის, გამძლეობის და მდგრადობის უზრუნველყოფას. ეს იგივეა, რაც სიმტკიცის, გამძლეობის და მდგრადობის შემოწმება ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად. მეორე ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება სავალდებულოა მხოლოდ იმ ელემენტებისათვის, სადაც მოსალოდნელია მნიშვნელოვანი საერთო დეფორმაციების განვითარება: კოჭების ჩაღუნვა, საყრდენების დაჯდომა, ელემენტების რხევა. გაანგარიშება მიზნად ისახავს ამ დეფორმაციების დასაშვები სიდიდის უზრუნველყოფას. ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად შესაბამისად გვქონდა ჩაღუნვის, საყრდენების დაჯდომის შემოწმება და ა. შ. მესამე ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება წარმოებს მხოლოდ რკინაბეტონის ელემენტებისათვის და მიზნად ისახავს ბზარების დასაშვები სიდიდის უზრუნველყოფას. ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად ასეთ გაანგარიშებას ეწოდება ბზარების წარმოქმნის შემოწმება[1].

ამგვარად, ჩვენ გამოვარკვიეთ კონსტრუქციების გაანგარიშების მიზნობრივი დანიშნულება. ახლა უნდა ვიფიქროთ, თუ როგორ მივაღწიოთ დასახულ მიზანს, ე. ი. როგორ ჩავატაროთ გაანგარიშება ისე, რომ ზღვრული მდგომარეობის არარსებობა კონსტრუქციისათვის გარანტირებული იყოს მისი საბსახურის მთელი ვადის განმავლობაში. ამისათვის მაგალითის სახით განვიხილოთ პირველი ზღვრული მდგომარეობა. სიმტკიცის, მდგრადობისა და გამძლეობის შესამოწმებელ ფორმულებს სამშენებლო მექანიკა გვაძლევს. ამ ფორმულებით გაანგარიშების შედეგი დამოკიდებულია მათში შეტანილ დატვირთვებზე და მასალის მექანიკურ მაჩვენებლებზე. გაანგარიშება ექსპლოატაციის ნორმალურ პირობებს გულისხმობს. ასეთ პირობებში კონსტრუქციაზე გარკვეული, ნორმალური სიდიდის დატვირთვები მოქმედებს. ამ დატვირთვების მნიშვნელობა ნორმებითა და ტექნიკური პირობებითაა დადგენილი და მათ ნორმატიული დატვირთვები ეწოდება. იგულისხმება აგრეთვე, რომ კონსტრუქცია განხორციელებულია გარკვეული, სტანდარტული ხასიათის მასალებისაგან; მათი მექანიკური თვისებები ხასიათდება სათანადო წინაღობებით. წინაღობა, როგორც ვიცით, ეწოდება ისეთ ძაბვას, რომელიც მასალის რღვევას ან დენადობას იწვევს. მაგალითად, მრღვევი მკუმშავი ძაბვა (სიმტკიცის ზღვარი) ბეტონისათვის, დენადობის ზღვარი ფოლადისათვის და სხვა. სტანდარტული მასალების წინაღობა გამოცდის საშუალებით

---

[1] გაანგარიშების სხვადასხვა სახელწოდება ძველი და ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად, რასაკვირველია, ფორმალურ განსხვავებას წარმოადგენს. არსებითი განსხვავებები გაანგარიშების მეთოდებს შორის მოყვანილია ქვემოთ.

ირკვევა; მათი სიდიდე მოცემულია ტექნიკურ პირობებში და ნორმატიული წინაღობის სახელს ატარებს. ამგვარად, ნორმალურ პირობებში კონსტრუქციის მუშაობა ნორმატიული დატვირთვებით და ნორმატიული წინაღობებით ხასიათდება. საკითხი ისმის, შეიძლება თუ არა ვაწარმოოთ კონსტრუქციის გაანგარიშება დატვირთვების და წინაღობების უშუალოდ ნორმატიული სიდიდეების მიხედვით? საყოველთაოდ ცნობილი მოსაზრებები გვიჩვენებს, რომ ეს დაუშვებელია: არსებობს მთელი რიგი ისეთი არახელსაყრელი ფაქტორებისა, რომლებსაც შეუძლიათ კონსტრუქციის მუშაობის ნორმალური პირობები გააუარესოს და იგი ზღვრულ მდგომარეობამდე მიიყვანოს. ჩამოვთვალოთ ძირითადი ასეთი ფაქტორები:

1. კონსტრუქციის სამსახურის ვადის განმავლობაში მოქმედმა ფაქტიურმა დატვირთვებმა შეიძლება გადააჭარბოს ნორმატიულ მნიშვნელობებს, რომლებიც მუშაობის ნორმალური პირობებისთვისაა დადგენილი.

2. კონსტრუქციის განსახორციელებლად ხმარებული მასალა შეიძლება შემთხვევით სტანდარტულზე უარესი იყოს, ე. ი. მისი ფაქტიური წინაღობები ნორმატიულ მნიშვნელობებზე ნაკლები იყოს.

3. კონსტრუქციის კვეთების ფაქტიური ზომები შეიძლება შემთხვევით უფრო ნაკლები იყოს, ვიდრე ეს გაანგარიშებითა და პროექტითაა მიღებული. შესაძლებელია, რომ კვეთის ზომები კონსტრუქციის სამსახურის პერიოდში შემცირდეს რაიმე მავნე ზეგავლენის შედეგად (მაგალითად, არმატურის კვეთის შემცირება კოროზიის გამო).

4. გაანგარიშების მეთოდებს ხშირად პირობითი ხასიათი აქვს. ამიტომ შესაძლებელია კონსტრუქციის ელემენტებში ფაქტიური ძალვები და ცაბვები უფრო მეტი იყოს, ვიდრე ეს გაანგარიშებით არის მიღებული.

ჩამოთვლილი ფაქტორები გვაიძულებს ვაწარმოოთ კონსტრუქციის გაანგარიშება *გარკვეული მარაგით*, ე. ი. მივცეთ მის კვეთებს მეტი ზომები, ვიდრე ეს დატვირთვების და წინაღობების ნორმატიული სიდიდის მიხედვით არის საჭირო. მარაგის სიდიდე უნდა იძლეოდეს იმის გარანტიას, რომ კონსტრუქცია არ გადავა ზღვრულ მდგომარეობაში, მიუხედავად ზემოჩამოთვლილი ფაქტორების არახელსაყრელი ზეგავლენისა.

მარაგის დანიშვნა სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიის ძირითადი ამოცანაა: მცირე მარაგის დროს არ იქნება გარანტირებული კონსტრუქციის ნორმალური მუშაობა, დიდი მარაგის დროს კი მასალების გადახარჯვას მივიღებთ. გაანგარიშების სხვადასხვა მეთოდები ამ საკითხს სხვადასხვაგვარად სწყვეტს.

დასაშვები ძაბვების მეთოდში გაანგარიშება წარმოებს ნორმატიულ დატვირთვებზე. ნორმატიულ წინაღობათა მაგიერ ანგარიშში მიღებულია *დასაშვები ძაბვები*. ეს უკანასკნელი სიდიდეები ერთმანეთთან დაკავშირებულია შემდეგი თანაფარდობით:

$$[\sigma]=\frac{R^{\text{н}}}{k}, \tag{40.1}$$

სადაც $[\sigma]$—დასაშვები ძაბვაა, $R^{\text{н}}$—სათანადო ნორმატიული წინაღობა, k—*მარაგის კოეფიციენტი*. ამ უკანასკნელის სიდიდე მიიღება ისეთნაირად, რომ იგი ჰფარავს ზემომოყვანილი ყველა არახელსაყრელი ფაქტორის ზეგავლენას. გაანგარიშების მსვლელობა დასაშვები ძაბვების მეთოდით შემდეგნაირია: ნორმატიული დატვირთვების მიხედვით გამოითვლება *ძალვები*

კონსტრუქციის ელემენტებში (მომენტი, განივი ან გრძივი ძალა და სხვა); ისინი კონსტრუქციის ძირითადი ზომების და დატვირთვების ფუნქციაა. შემდეგ ინიშნება კვეთების ზომები და გამოითვლება ძაბვები მათ წერტილებში (უნდა აღინიშნოს, რომ ძაბვების გამოთვლის დროს, როგორც წესი, იგულისხმება ელემენტის მუშაობა დრეკად სტადიაში; ეს დამახასიათებელია დასაშვები ძაბვების მეთოდისათვის). ცხადია, რომ მოქმედი ძაბვა ფუნქცია იქნება როგორც დატვირთვებისა და კონსტრუქციის გეომეტრიული ზომებისა, ისე კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლებისა. საბოლოოდ ისმის პირობა, რომ ფაქტიური მოქმედი ძაბვა ყოველ წერტილში დასაშვებ ძაბვაზე ნაკლები იყოს. ზოგად შემთხვევაში ეს პირობა ასე ჩაიწერება:

$$\sigma = f(P^{\text{H}}_1, P^{\text{H}}_2, \dots\ l_1, l_2, \dots\ F_1, F_2, \dots) \leqslant [\sigma]. \qquad (40.2)$$

აქ σ—ფაქტიური ძაბვაა, P^{H}_1, P^{H}_2—ნორმატიული დატვირთვები, l_1, l_2—კონსტრუქციის ზომები; F_1, F_2—კვეთის დამახასიათებელი გეომეტრიული სიდიდეები (ფართობი, წინაღობის მომენტი და სხვა). f ფუნქციის სახე, ცხადია, კონსტრუქციის საანგარიშო სქემაზეა დამოკიდებული. მაგალითად, თუ ორ საყრდენზე მდებარე კოჭის შუაში შეყურსული P^{H} ძალა მოქმედებს, (40.2) ფორმულა მიიღებს ცნობილ სახეს:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{P^{\text{H}} l}{4W} \leqslant [\sigma].$$

როგორც ვხედავთ, დასაშვები ძაბვების მეთოდის საანგარიშო ფორმულებში მარაგის კოეფიციენტი უშუალოდ არ შედის; იგი შესულია დასაშვებ ძაბვის სიდიდეში, (40.1) ფორმულის თანახმად.

დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშების პროცესი საკმარისად მარტივია, მაგრამ კონსტრუქციის მუშაობის ყველა არახელსაყრელი ფაქტორის აღრიცხვა ერთიანი მარაგის კოეფიციენტით არ იძლევა კარგ შედეგს: ზოგიერთ შემთხვევაში მარაგი ზედმეტი გამოდის, ზოგჯერ, პირიქით, არ არის საკმარისი გარანტია იმისა, რომ კონსტრუქცია არ გადავა ზღვრულ მდგომარეობაში. ამ თვალსაზრისით გაცილებით უკეთეს შედეგებს იძლევა ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი. განვიხილოთ იგი.

ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის თანახმად კონსტრუქციის მუშაობის ძირითადი არახელსაყრელი ფაქტორების აღრიცხვა დამოუკიდებელი კოეფიციენტებით ხდება. შემოღებულია საანგარიშო კოეფიციენტების შემდეგი სისტემა: 1. გადატვირთვისა და დატვირთვის კოეფიციენტები. ისინი აღრიცხავენ ფაქტიური დატვირთვების მიერ ნორმატიული მნიშვნელობების შესაძლო გადაჭარბებას კონსტრუქციის სამსახურის პერიოდში. ეს კოეფიციენტები, როგორც წესი, ერთზე მეტი სიდიდისაა[1]. 2. ერთგვაროვნების კოეფიციენტები. ისინი აღრიცხავენ მასალების ფაქტიური წინაღობის შესაძლო სიმცირეს ნორმატიულ მნიშვნელობასთან შედარებით, მათი ხარისხის უარესობის ხარჯზე. თავისი არსის თანახმად ამ კოეფიციენტების სიდიდე მუდამ ერთზე ნაკლებია. 3. მუშაობის პირობების კოეფიციენტები. ისინი აღრიცხავენ ყველა დანარჩენ ფაქტორებს: კონსტრუქციის საპროექტო და ფაქტიური ზომების უთანადობას, მუშაობის განსაკუთრებულ პირობებს, გაანგარიშების მეთოდების არასაკმარის

[1] გამონაკლისს შეადგენს ამ მხრივ მხოლოდ მუდმივი დატვირთვა—იხ. § 41.

სიზუსტეს. მათი სიდიდე შეიძლება იყოს როგორც ერთზე მეტი, ისე ნაკლები. ამგვარად, ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდში ერთიანი მარაგის კოეფიციენტი შეცვლილია გადატვირთვის და დატვირთვის, ერთგვაროვნების და მუშაობის პირობების კოეფიციენტებით. მათი მნიშვნელობების გამოთვლისათვის გამოიყენება სტატისტიკური ანალიზის მეთოდები. სათანადო ცნობები სპეციალურ ლიტერატურაშია მოყვანილი [19, 41]. კოეფიციენტების სიდიდე, დადგენილი ნორმებით, მოცემული იქნება შემდეგ პარაგრაფში.

განვიხილოთ ახლა ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის არსი. პირველ ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშება შემდეგნაირად ხდება. გავამრავლოთ ნორმატიული დატვირთვა გადატვირთვის (ან დატვირთვის) კოეფიციენტზე:

$$P^{\text{H}}n = P. \tag{40.3}$$

აქ P^{H}—ნორმატიული დატვირთვაა, n—გადატვირთვის ან დატვირთვის კოეფიციენტი. მიღებულ P სიდიდეს საანგარიშო დატვირთვა ეწოდება. ცხადია, რომ საანგარიშო დატვირთვა წარმოადგენს დატვირთვის იმ მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომელიც ფაქტიურად მოსალოდნელია კონსტრუქციის სამსახურის პერიოდში.

გავამრავლოთ ახლა ნორმატიული წინაღობა R^{H} ერთგვაროვნების k კოეფიციენტზე:

$$R^{\text{H}}k = R. \tag{40.4}$$

მიღებულ R სიდიდეს საანგარიშო წინაღობა ეწოდება. ადვილი გასაგებია, რომ საანგარიშო წინაღობა წარმოადგენს მასალის იმ მინიმალურ წინაღობას, რომელიც ფაქტიურად მოსალოდნელია განხორციელებულ კონსტრუქციაში. ხაზი უნდა გავუსვათ იმ გარემოებას, რომ აქ, ისევე როგორც ზევით, სიტყვა „მოსალოდნელი“ გულისხმობს დატვირთვის მაქსიმალურ, ან წინაღობის მინიმალურ სიდიდეს, აღებულს გარკვეული ალბათობით.

ამგვარად, ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით გაანგარიშება უნდა ვაწარმოოთ საანგარიშო დატვირთვების და საანგარიშო წინაღობების მიხედვით. მხედველობაში უნდა მივიღოთ მუშაობის პირობების კოეფიციენტიც. პირველ ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშების არსი შემდეგში მდგომარეობს: საანგარიშო დატვირთვების მიხედვით ჩვეულებრივი წესით შეიძლება გამოვთვალოთ მაქსიმალური ძალვა ელემენტში N. ცხადია, რომ იგი P დატვირთვების და კონსტრუქციის გეომეტრიული l ზომების ფუნქცია იქნება: $N = N(P_1, P_2, \dots l_1, l_2, \dots)$. მეორეხრივ, ყოველი ელემენტისათვის შეიძლება გამოითვალოს ზიდვის უნარი; ეს არის ის ზღვრული ძალვა, რომელიც მის მწყობრიდან გამოსვლას, ზღვრულ მდგომარეობაში გადასვლას გამოიწვევს (ე. ი. გამოიწვევს ელემენტის რღვევას ან დაუშვებელ პლასტიკურ დეფორმაციებს, მდგრადობის ან გამძლეობის დაკარგვას). როგორც ვიცით, ზიდვის უნარი $\bar{N}$ იქნება ფუნქცია საანგარიშო R წინაღობებისა, მუშაობის პირობების m კოეფიციენტისა და ელემენტის კვეთის გეომეტრიული F მახასიათებლებისა (კვეთის ფართობი, წინაღობის მომენტი და სხვა):

$$\bar{N} = \bar{N}(R_1, R_2, \dots F_1, F_2, \dots m_1, m_2, \dots).$$

ახლა, თუ გვინდა, რომ ელემენტი არ გადავიდეს ზღვრულ მდგომარეობაში, უნდა დავსვათ პირობა, რომ მაქსიმალური N ძალა ელემენტის $\bar{N}$ ზიდვის უნარზე ნაკლები იყოს:

$$N(P_1,\ P_2,\ldots\ l_1,\ l_2,\ldots)\leqslant\bar{N}(R_1,\ R_2,\ldots\ F_1,\ F_2,\ldots\ m_1,\ m_2,\ldots) \qquad (40.5)$$

ეს არის პირველი ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშების ძირითადი ფორმულა. ზემოთქმულიდან ცხადია, რომ მისი აზრი შემდეგში მდგომარეობს: მაქსიმალური ძალვა კონსტრუქციულ ელემენტში, გამოთვლილი საანგარიშო დატვირთვების მიხედვით (გადატვირთვისა და დატვირთვის კოეფიციენტების გათვალისწინებით) არ უნდა აღემატებოდეს ელემენტის მინიმალურ ზიდვის უნარს, გამოთვლილს საანგარიშო წინაღობების მიხედვით (ერთგვაროვნებისა და მუშაობის პირობების კოეფიციენტების გათვალისწინებით).

ადვილი გასაგებია, რომ N და $\bar{N}$ ფუნქციების კონკრეტული სახე კონსტრუქციის საანგარიშო სქემაზე და კვეთის მუშაობის ხასიათზეა დამოკიდებული. მაგალითად, თუ ისევ განვიხილავთ ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭს, რომლის შუაში შეყურსული ძალა მოქმედებს, მაშინ მაქსიმალური მომენტი (ე. ი. საანგარიშო ძალვა) მალის შუაში იქნება $M=\dfrac{Pl}{4}=\dfrac{P^{\text{H}}nl}{4}$; თუ კვეთის წინაღობის მომენტია W, მაშინ კოჭის ზიდვის უნარი იქნება $WRm=WR^{\text{H}}km$; ამიტომ ამ კერძო შემთხვევაში საანგარიშო (40.5) ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\frac{P^{\text{H}}nl}{4}\leqslant WR^{\text{H}}km.$$

უნდა აღინიშნოს, რომ $\bar{N}$ ზიდვის უნარის გამოთვლის დროს ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი ჩვეულებრივ ითვალისწინებს პლასტიკურ დეფორმაციებს, რაც გავლენას ახდენს $\bar{N}$ ფუნქციის სახეზე. ამ მხრივ ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი მნიშვნელოვნად განსხვავდება დასაშვები ძაბვების მეთოდისაგან, რომელიც, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გამომდინარეობს კონსტრუქციის დრეკად სტადიაში მუშაობიდან.

ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის ძირითადი (40.5) ფორმულა შეიძლება სხვა სახით წარმოვიდგინოთ. საანგარიშო P დატვირთვების მიხედვით შეიძლება გამოვთვალოთ ძაბვები σ კონსტრუქციულ ელემენტში; ცხადია, რომ მათი სიდიდე P დატვირთვების, l გეომეტრიული ზომების და კვეთის F გეომეტრიული მახასიათებლების ფუნქცია იქნება. მაშინ (40.5) უტოლობის ნაცვლად შეიძლება მოვითხოვოთ, რომ მაქსიმალური ძაბვა ელემენტის კვეთში არ აღემატებოდეს მასალის საანგარიშო წინაღობას (მუშაობის პირობების კოეფიციენტის გათვალისწინებით):

$$\sigma=f(P_1,\ P_2,\ldots\ l_1,\ l_2,\ldots\ F_1,\ F_2\ldots)\leqslant Rm. \qquad (40.6)$$

მაგალითად, ზემომოყვანილი კოჭის შემთხვევაში (40.6) სახის საანგარიშო ფორმულა შეიძლება ასე ჩავწეროთ:

$$\sigma=\frac{M}{W}=\frac{P^{\text{H}}nl}{4W}\leqslant R^{\text{H}}km.$$

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების დროს იხმარება როგორც (40.5), ისე (40.6) სახის ფორმულები. (40.5) სახის ფორმულებს ვხმარობთ ელემენტის სიმტკიცისა და მდგრადობის შემოწმების დროს, (40.6) სახის ფორმულებს კი—გამძლეობის შემოწმების დროს. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ ფორმულებს შორის არა მარტო ფორმალური განსხვავებაა: სიმტკიცისა და მდგრადობის გაანგარიშების დროს ფორმულებში შედის დატვირთვის n კოეფიციენტის ერთი მნიშვნელობა, გამძლეობის დროს კი—მეორე. გარდა ამისა, კვეთის ზიდვის უნარის გაანგარიშება სხვადასხვანაირად ხდება. ეს საკითხები ქვემოთ იქნება გაშუქებული.

უნდა აღინიშნოს, რომ (40.6) ფორმულა გარეგნულად წააგავს დასაშვები ძაბვების მეთოდის საანგარიშო (40.2) ფორმულას, მაგრამ ეს მსგავსება მხოლოდ გარეგნულია: (40.2) ფორმულაში შედის ნორმატიული დატვირთვები და დასაშვები ძაბვები, (40.6)-ში კი საანგარიშო დატვირთვები და საანგარიშო წინაღობები. უფრო ღრმა განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ (40.2) ფორმულაში ძაბვები გამოთვლილია დრეკადი სტადიის მიხედვით, (40.6) ფორმულაში კი ზოგჯერ პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით. ეს განსხვავებები ნათლად გამოჩნდება შემდეგში, პრაქტიკული გაანგარიშების შესწავლის დროს.

ამით ვამთავრებთ პირველ ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშების განხილვას. მხოლოდ ერთი რამ კიდევ უნდა აღვნიშნოთ; როგორც ვიცით, არსებობს გაანგარიშების კიდევ ერთი—მრღვევი დატვირთვების მეთოდი. იგი იმავე ფიზიკური სურათიდან გამომდინარეობს, როგორც ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი, მხოლოდ საანგარიშო n, k, m კოეფიციენტების ნაცვლად ერთიან მარაგის კოეფიციენტს ემყარება. ეს მეთოდი ხიდებში უშუალოდ არ იხმარება და ამიტომ მასზე აღარ შევჩერდებით.

განვიხილოთ ახლა დანარჩენ ორ ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშების საფუძვლები.

მეორე ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება მოითხოვს, რომ ხიდის კონსტრუქციული ელემენტის ჩაღუნვა ექსპლოატაციის დროს არ იყოს დასაშვებ ჩაღუნვაზე მეტი. გაანგარიშების ზოგად ფორმულას ასეთი სახე აქვს:

$$f \leqslant [f]. \tag{40.7}$$

აქ f—ელემენტის ფაქტიური ჩაღუნვაა, $[f]$ კი დასაშვები ჩაღუნვა. ამ უკანასკნელის სიდიდე დადგენილია ტექნიკური პირობებით.

მესამე ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშება გულისხმობს ბზარების გახსნილობის შეზღუდვას. საჭიროა, რომ ბზარის მაქსიმალური გახსნილობა a_T დასაშვებზე ნაკლები იყოს:

$$a_T \leqslant [a_T]. \tag{40.8}$$

აქ $[a_T]$—ბზარის გახსნილობის დასაშვები სიდიდეა, მოცემული ტექნიკური პირობებით. ხაზს ვუსვამთ იმ გარემოებას, რომ ფაქტიური ჩაღუნვა f და ბზარების გახსნილობა a_T უნდა გამოითვალოს ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებში; დატვირთვების შემთხვევითი, დროებითი მომატება შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ. ეს იმით აიხსნება, რომ ასეთი მოვლენა იშვიათი შემთხვევაა და ექსპლოატაციის დროებითი შეფერხება კონსტრუქციას დიდ ზიანს არ მიაყენებს

ამგვარად, ჩვენ განვიხილეთ დასაშვები ძაბვების და ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდების საფუძვლები და ძირითადი საანგარიშო ფორმულები. შემდეგ პარაგრაფებში გავეცნობით ნორმატიულ დატვირთვებს და მათ კოეფიციენტებს, პეტონისა და არმატურის წინაღობებს, საანგარიშო ძალვებისა და ელემენტების ზიდვის უნარის გამოთვლის ზოგად წესებს და ფორმულებს. ხიდების კონსტრუქციების გაანგარიშების მსვლელობა და წესი განხილული იქნება XI—XIII თავებში.

§ 41. ნორმატიული დატვირთვები, გადატვირთვისა და დატვირთვის კოეფიციენტები. დინამიკური კოეფიციენტი

რკინიგზის ხიდების ნორმატიული დატვირთვები, დადგენილი ძველი ტექნიკური პირობების (ТУПМ-47) მიერ, მოყვანილი იყო წიგნის პირველ ნაწილში (იხ. ნაწილი I, § 9). დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშების დროს უშუალოდ შეიძლება ვისარგებლოთ ამ დატვირთვებით. ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით გაანგარიშების დროს უნდა დავეყრდნოთ ახალ ტექნიკურ პირობებს (ТУПМ-56). მათ ტექსტში მოყვანილია საანგარიშო კოეფიციენტების მნიშვნელობები და ამასთან ცოტათი შეცვლილია თვით ნორმატიული დატვირთვებიც. ამიტომ აქ ჩვენ მოვიყვანთ რკინიგზის ხიდების ნორმატიული დატვირთვების მნიშვნელობას და სათანადო გადატვირთვის და დატვირთვის კოეფიციენტების სიდიდეს ახალი ტექნიკური პირობების მიხედვით. ეს მონაცემები საჭიროა რკინიგზის ხიდების გასაანგარიშებლად ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით.

1. მუდმივი შვეული დატვირთვა კონსტრუქციის საკუთარი წონისგან იმავე წესით იანგარიშება, როგორც ეს წიგნის I ნაწილში იყო აღწერილი. ნორმატიული დატვირთვის მისაღებად ელემენტის მოცულობა უნდა გამრავლდეს მოცულობით წონაზე (იხ. ნაწილი I, დანართი II). საანგარიშო დატვირთვა გამოითვლება ნორმატიული მნიშვნელობის გამრავლებით გადატვირთვის n კოეფიციენტზე. იგი ითვალისწინებს ფაქტიური ზომების და მოცულობითი წონის შემთხვევით განსხვავებას ანგარიშში მიღებული სიდიდეებისაგან. სტატისტიკა გვიჩვენებს, რომ ეს განსხვავება შესაძლოა 10%-ს აღწევდეს. ამიტომ მუდმივი დატვირთვისთვის მიიღება $n=1{,}10$. ზოგიერთ შემთხვევაში უფრო არახელსაყრელ შედეგს მივიღებთ, თუ ფაქტიური დატვირთვა ნორმატიულზე ნაკლებია. მაგალითად, ბურჯის გადაბრუნებაზე შემოწმების დროს საკუთარი წონა დამჭერ მომენტს ქმნის და მისი შემცირება ამცირებს მდგრადობას. ასეთ შემთხვევებში უნდა მივიღოთ $n=0{,}9$.

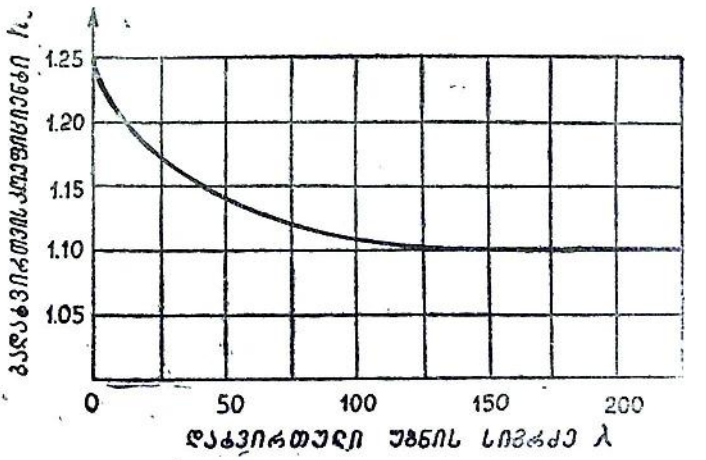
ბალასტის მოცულობითი წონა უფრო ვრცელ ფარგლებში იცვლება, სინესტის ან გაყინვის გამო. ამიტომ აქ უფრო მოსალოდნელია ფაქტიური და ნორმატიული დატვირთვების განსხვავება და ბალასტის საკუთარი წონისათვის მიიღება გადატვირთვის კოეფიციენტის სიდიდე $n=1{,}30$ და $n=0{,}9$.

2. ნორმატიული დროებითი შვეული დატვირთვა მოძრავი შემადგენლობისაგან მიიღება ისეთნაირადვე, როგორც ძველ ტექნიკურ პირობებში, ე. ი. $НК$ სქემის საანგარიშო მატარებლის სახით. დატვირთვის $К$ კლასის დანიშნის წესი და სათანადო ეკვივალენტური დატვირთვების მნიშვნელობა, მოცემული წიგნის I ნაწილში, ძალაში რჩება[1].

[1] ეკვივალენტური დატვირთვების ცხრილი მოცემულია I დანართში.

საანგარიშო დროებითი შეუღლი დატვირთვების მისაღებად საჭიროა მთელი რიგი კოეფიციენტების გამოყენება. გავეცნოთ მათ.

პირველი არის გადატვირთვის კოეფიციენტი n_0. როგორც ვიცით, ნორმატიული დატვირთვების სიდიდე ეთანადება ხიდის ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებს. გადატვირთვის კოეფიციენტი აღრიცხავს ფაქტიური დროებითი დატვირთვის მიერ ნორმატიული სიდიდის შემთხვევით გადაჭარბებას ხიდის ექსპლოატაციის დროს. ეს შეიძლება მოხდეს ხიდზე რაიმე მძიმე ტვირთის გატარების დროს, ან მოძრავი შემადგენლობის ღერძების დატვირთვის შემთხვევითი არათანაბრობის გამო. სტატისტიკური მონაცემები გვიჩვენებს, რომ ამ კოეფიციენტის სიდიდე ძირითადად დამოკიდებულია დატვირთული უბნის სიგრძეზე. მცირე სიგრძეზე დატვირთვის გადაჭარბება უფრო მნიშვნელოვანი შეიძლება იყოს, ვიდრე დიდ სიგრძეზე. ამიტომ გადატვირთვის კოეფიციენტი n_0 მცირდება დატვირთული უბნის λ სიგრძის ზრდის დროს. n_0 კოეფიციენტის გრაფიკი, მიღებული სტატისტიკური წესით, ნაჩვენებია ნახ. 237-ზე. როგორც ვხედავთ, n_0-ის სიდიდე იცვლება 1,25-დან 1,10-მდე.



ნახ. 237. გადატვირთვის კოეფიციენტის ცვალებადობის გრაფიკი.

ამგვარად, გადატვირთვის კოეფიციენტი ითვალისწინებს დროებითი ნორმატიული დატვირთვის გაზრდას შემთხვევითი მიზეზების გამო. მაგრამ ხიდების დროებით დატვირთვას თანდათანობითი, კანონზომიერი ზრდის ტენდენციაც აქვს. ისტორია გვიჩვენებს, რომ ხიდების დროებითი დატვირთვის სიდიდე გამუდმებით მატულობს მოძრავი შემადგენლობის გამძიმების გამო. ასეთი ზრდა მოსალოდნელია შემდეგშიც, ხიდის სამსახურის პერიოდში, ამიტომ მისი გათვალისწინება, ცხადია, აუცილებელია. ამ მიზნით შემოღებულია სპეციალური კოეფიციენტი η_0, რომელსაც დროებითი დატვირთვის პერსპექტიული ზრდის კოეფიციენტი ეწოდება. მისი სიდიდის დადგენა შემდეგი მოსაზრებების საფუძველზე შეიძლება: ცხადია, რომ დროებითი დატვირთვის ზრდის გამო ძალვები თანდათან მატულობს და ხიდის კონსტრუქციების ზიდვის უნარის მარაგი თანდათან მცირ-

დება: როდესაც ეს მარაგი გარკვეულ მინიმუმამდე შემცირდება, ხიდის ექსპლოატაცია უსაფრთხო აღარ არის და იგი უნდა გაძლიერდეს, ან გამოიცვალოს; მაგრამ დროებითი დატვირთვის ზრდა ყველა კონსტრუქციაზე ერთნაირ გავლენას არ ახდენს: რაც უფრო მცირეა დროებითი დატვირთვა მუდმივთან შედარებით, მით ნაკლები იქნება მისი ზრდის გავლენა ძალვების მომატებაზე და მით უფრო მეტი იქნება დროებითი დატვირთვის დასაშვები გაზრდის ხარისხი ამა თუ იმ ხიდისთვის. როგორც ვხედავთ, η_0 კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებული უნდა იყოს დროებითი და მუდმივი დატვირთვების ფარდობაზე. მაგრამ დაახლოებით შეიძლება მივიღოთ, რომ ეს ფარდობა ხიდის მალის ფუნქციაა; მართლაც, რაც მეტია ხიდის მალი, მით მეტი იქნება მუდმივი დატვირთვის ინტენსივობა და მით უფრო ნაკლები იქნება აღნიშნული ფარდობა. ამგვარად, საბოლოოდ შეიძლება მივიღოთ, რომ η_0 კოეფიციენტის სიდიდე ხიდის მალის ზრდადი ფუნქციაა. საგანგებო გამოთვლების საფუძველზე დადგენილია, რომ დროებითი დატვირთვის პერსპექტიული ზრდის η_0 კოეფიციენტის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულებით [25]:

რკინაბეტონის კოჭური და ჩარჩოვანი ხიდებისათვის:

$$\eta_0 = 1{,}25 + \frac{l}{700}; \tag{41.1}$$

რკინაბეტონის თაღოვანი ხიდებისათვის:

$$\eta_0 = 1{,}30 + \frac{l}{600}; \tag{41.2}$$

აქ l—ხიდის საანგარიშო მალია მეტრობით.

ამგვარად, დროებითი შეუღლი დატვირთვის ფაქტიური სიდიდის შესაძლო მომატება ნორმატიულ სიდიდესთან შედარებით ხიდის ექსპლოატაციის დროს ხასიათდება ორი, n_0 და η_0 კოეფიციენტით; გადატვირთვის n_0 კოეფიციენტი აღრიცხავს მომატების შემთხვევით მიზეზებს, პერსპექტიული ზრდის η_0 კოეფიციენტი კი—კანონზომიერ, რეგულარულ მიზეზებს.

საინტერესოა ახლა გამოვარკვიოთ, თუ როდის უნდა ვიხმაროთ ესა თუ ის ზემომოყვანილი კოეფიციენტი. ადვილი გასაგებია, რომ ზღვრულ მდგომარეობათა ყველა პირობა დაცული უნდა იყოს ხიდის სამსახურის მთელი ვადის განმავლობაში, კერძოდ სამსახურის ბოლო პერიოდშიც, როდესაც დროებითი დატვირთვის ინტენსივობის მომატება განსაზღვრულია η_0 კოეფიციენტით. ამიტომ პერსპექტიული ზრდის η_0 კოეფიციენტი მხედველობაში უნდა მივიღოთ ყოველგვარი გაანგარიშების დროს. რაც შეეხება გადატვირთვის n_0 კოეფიციენტს, აქ საქმე შემდეგშია: როგორც ვიცით, იგი დროებითი დატვირთვის შემთხვევით, ერთჯერად ან იშვიათ მომატებას აღრიცხავს; ასეთმა მოვლენამ შეიძლება გამოიწვიოს კონსტრუქციის სიმტკიცის ან მდგრადობის დაკარგვა, გამძლეობის მხრივ კი იგი საშიში არ არის: გამძლეობის დაკარგვა გამოწვეულია მასალის დაღლილობით, ეს უკანასკნელი კი დატვირთვის მრავალრიცხოვანი (მილიონობით) ციკლის შემდეგ ვითარდება; ამიტომ რამდენიმე შემთხვევითი გადატვირთვა გამძლეობაზე გავლენას არ ახდენს. შემთხვევითი გადატვირთვა არც სიხისტის და ბზარწარმოქმნის თვალსაზრისით არის საშიში: იგი გამოიწვევს ჩაღუნვის ან ბზარების გახსნილობის დროებით მომატებას

და გადატვირთვის მოსპობის შემდეგ ეს ფაქტორები ისევ ნორმაში ჩადგება. ამგვარად, გადატვირთვის n_0 კოეფიციენტი მხედველობაში უნდა მივიღოთ მხოლოდ პირველ ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშებისას, ისიც მარტო სიმტკიცის და მდგრადობის შემოწმების დროს.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გადატვირთვის კოეფიციენტის სიდიდე განისაზღვრება ნახ. 237-ზე ნაჩვენები გრაფიკით, პერსპექტიული ზრდის η_0 კოეფიციენტი კი—(41.1), (41.2) ფორმულებით. პრაქტიკული გაანგარიშების დროს ამ გრაფიკების და ფორმულების გამოყენება ძნელია, ამიტომ n_0 და η_0-ს ნაცვლად დროებითი შეული დატვირთვისათვის შემოღებულია დატვირთვის კოეფიციენტები n_1 და n_2.

დატვირთვის კოეფიციენტი n_1 განისაზღვრება ფორმულით:

$$n_1 = n_0\eta_0. \tag{40.3}$$

როგორც ვხედავთ, ეს კოეფიციენტი აღრიცხავს როგორც შემთხვევითი ხასიათის გადატვირთვას, ისე დროებითი დატვირთვის პერსპექტიულ ზრდას. ზემოთქმულის თანახმად, იგი მხედველობაში უნდა მივიღოთ პირველ ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშებისას, სიმტკიცის და მდგრადობის (არა გამძლეობის) შემოწმების დროს.

დატვირთვის კოეფიციენტი n_2 პერსპექტიული ზრდის კოეფიციენტის ტოლია:

$$n_2 = \eta_0. \tag{40.4}$$

იგი მხედველობაში უნდა მივიღოთ ყველა დანარჩენი გაანგარიშების დროს.

ზემოთქმულის საფუძველზე ადვილი გასაგებია, რომ n_1 იქნება ხიდის l მალისა და დატვირთული უბნის λ სიგრძის ფუნქცია, n_2 კი მხოლოდ l მალის ფუნქცია. გაანგარიშების გამარტივების მიზნით n_1 და n_2 კოეფიციენტების უწყვეტი მნიშვნელობები ცალკეულ ინტერვალებში შეცვლილია საშუალო სიდიდეებით. დატვირთვის n_1 და n_2 კოეფიციენტების საბოლოო საანგარიშო მნიშვნელობები მოყვანილია 14 და 15 ცხრილებში.

ამ ცხრილების ხმარების დროს საანგარიშო მალად უნდა მივიღოთ ხიდის უდიდესი მალი.

n_1 და n_2 კოეფიციენტების მნიშვნელობანი, მოყვანილი 14 და 15 ცხრილებში, ეხება დროებით დატვირთვას ერთი ლიანდაგიდან; ისინი მართებულია დატვირთვების ძირი-

ცხრილი 14

დატვირთვის კოეფიციენტები რკინაბეტონის კოჭური მალის ნაშენებისა და ჩარჩოვანი ხიდებისათვის

დატვირთვის კოეფიციენტის აღნიშვნა	დატვირთული უბნის სიგრძე λ (მ)	საანგარიშო მალი l (მ)		
		25 მ-მდე	25-50 მ	50-90 მ
n_1	25 მ-მდე	1.50	1.55	1.60
	25-50 მ	1.45	1.50	1.55
	50 მ-ზე მეტი	—	—	1.50
n_2	ნებისმიერი	1.25	1.30	1.35

ცხრილი 15

დატვირთვის კოეფიციენტები რკინაბეტონის თაღოვანი მალის ნაშენებისა და საყრდენებისათვის

დატვირთვის კოეფიციენტის აღნიშვნა	დატვირთული უბნის სიგრძე λ (მ)	საანგარიშო მალი			
		25 მ-მდე	25-50	50-150	150 მ-ზე მეტი
n_1	25 მ-მდე	1.55	1.65	1.75	1.80
	25-50 მ	1.50	1.55	1.65	1.75
	50 მ-ზე მეტი	1.45	1.50	1.60	1.65
n_2	ნებისმიერი	1.30	1.35	1.45	1.50

თადი თანწყობის დროს[1]. რამდენიმე ლიანდაგის დროს ყველა მათგანზე სრული სიდიდის დატვირთვის ერთდროული მოქმედება ძნელი წარმოსადგენია. დატვირთვების დამატებითი და განსაკუთრებული თანწყობის განხილვის დროს, როდესაც საკუთარი წონისა და მოძრავი შემადგენლობის გარდა სხვა ზეგავლენაც მიიღება მხედველობაში, ასეთივე სურათი გვაქვს: აქაც ნაკლებად მოსალოდნელია ყველა დატვირთვის ერთდროული მოქმედება სრული სიდიდით. ამ გარემოების გათვალისწინების მიზნით ასეთ შემთხვევებში მიიღება დატვირთვის კოეფიციენტების შემცირებული n_1' და n_2' მნიშვნელობები. მათი სიდიდე მოყვანილია 16 ცხრილში.

ცხრილი 16

დატვირთვის კოეფიციენტები n'_1, n'_2 რამდენიმე ლიანდაგის შემთხვევაში, დატვირთვების სხვადასხვა თანწყობის დროს

დატვირთვების თანწყობა	დატვირთვის კოეფიციენტები	ერთლიანდაგიანი ხიდები; მრავალლიანდაგიანი ხიდები დატვირთული უბნის სიგრძით 20 მ-ზე ნაკლები	მრავალლიანდაგიანი ხიდები დატვირთული უბნის სიგრძით 20 მ-ზე ზევით		
		დატვირთული ლიანდაგების რიცხვი			
		ნებისმიერი	ერთი	ორი	სამი
ძირითადი	n_1' n_2'	n_1 n_2	n_1 n_2	$0.9n_1$ $0.9n_2$	$0.8n_1$ $0.8n_2$
დამატებითი	n_1'	$0.8n_1$	$0.8n_1$	$0.7n_1$	$0.6n_1$
განსაკუთრებული	n_1'	$0.7n_1$	$0.7n_1$	$0.6n_1$	$0.5n_1$

დამატებითი და განსაკუთრებული თანწყობისათვის n_2' კოეფიციენტი მოცემული არ არის, ვინაიდან ასეთ შემთხვევებში გამძლეობის შემოწმება და მეორე და მესამე ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშება არ ხდება.

გადატვირთვის და პერსპექტიული ზრდის n_0,η_0 კოეფიციენტები პრაქტიკულ ანგარიშებში უშუალოდ არ გვხვდება და მათი სიდიდე ცალკე ნორმირებული არ არის.

დინამიკური კოეფიციენტი, როგორც ვიცით, ითვალისწინებს მოძრავი შემადგენლობის დინამიკურ მოქმედებას. ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად მისი მნიშვნელობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

[1] დატვირთვების თანწყობები მოყვანილია შემდეგ პარაგრაფში.

რკინაბეტონის კოჭური მალის ნაშენებისა და ჩარჩოვანი ხიდებისათვის

$$\left.\begin{aligned} 1+\mu &= 1+\alpha\frac{5}{20+\lambda}; \\ \alpha &= 4(1-h_0); \qquad (max\,\alpha=2) \end{aligned}\right\} \quad . \quad (41.5)$$

სადაც h_0—ბალასტის ფენის სისქეა. იგივე ფორმულა გამოიყენება ყველა სახის რკინაბეტონის ხიდების ელემენტებისათვის, გარდა თაღებისა და კამარებისა.

რკინაბეტონის თაღოვანი, გამჭოლი ზედნაშენიანი ხიდების თაღებისა და კამარებისათვის

$$1+\mu = 1+\frac{15}{100+\lambda}\left(1+\frac{0{,}4l}{f}\right); \quad (41.6)$$

აქ l და f თაღის მალი და ისარია. ყველა ზემომოყვანილ ფორმულაში λ-ს შემდეგი მნიშვნელობა აქვს: სავალი ნაწილის ელემენტებისათვის, რომლებიც ადგილობრივ დატვირთვაზე მუშაობენ, λ გავლენის ხაზის დატვირთული უბნის სიგრძეა. ძირითადი ელემენტებისათვის (მთავარი კოჭი, ფერმა, კამარა, თაღი ან ჩარჩო) λ უდრის საანგარიშო მალს ან გავლენის ხაზის დატვირთული უბნის სიგრძეს, თუ ეს უკანასკნელი მალზე მეტია (მაგ. კონსოლური ხიდების მთავარი კოჭებისათვის).

დინამიკური კოეფიციენტები მხედველობაში უნდა მივიღოთ კონსტრუქციების სიმტკიცის, ფორმის მდგრადობის და გამძლეობის გაანგარიშების დროს. დანარჩენ გაანგარიშებებში ისინი მხედველობაში არ მიიღება.

3. დამუხრუჭების ძალა[1] ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად მიიღება თანაბარგანაწილებული გრძივი დატვირთვის სახით; მისი ნორმატიული ინტენსივობა ერთი ლიანდაგის გრძივ მეტრზე ტოლია:

$$i^{\text{H}}=0{,}10p^{\text{H}}, \quad (41.7)$$

სადაც p^{H}—დროებითი შეუღლი ნორმატიული ეკვივალენტური დატვირთვაა წონის მიხედვით. მისი სიდიდე მოცემულია I დანართში.

დამუხრუჭების ძალა მოდებულია 2 მ-ით ზევით რელსის თავიდან.

4. ნორმატიული თარაზული განივი დატვირთვა მოძრავი შემადგენლობის დარტყმებისაგან მიიღება თანაბარგანაწილებული დატვირთვის სახით რელსის თავის დონეზე. მისი ინტენსივობა ტოლია:

$$S^{\text{H}}=0{,}08K \quad (ტ/მ), \quad (41.8)$$

სადაც K—დროებითი შეუღლი დატვირთვის კლასია. როგორც ვხედავთ, ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად, ამ დატვირთვის სიდიდე საგრძნობლად გაზრდილია ძველ ნორმებთან შედარებით (იხ. ნაწილი I, § 9).

5. ნორმატიული თარაზული განივი დატვირთვა ცენტრიდანული ძალისაგან. ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად ეს დატვირთვაც გაზრდილია, მოძრავი შემადგენლობის სიჩქარეების მოსალოდნელი ზრდის გათვალისწინებით. ნორმატიული ცენტრიდანული ძალის ინტენსივობა ერთი ლიანდაგისათვის მიიღება:

---

[1] ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად ამ ძალის სრული დასახელებაა „თარაზული გრძივი დატვირთვა დამუხრუჭების ან წევის ძალისაგან". სიმარტივისათვის ჩვენ უფრო მარტივ ტერმინს ვხმარობთ.

I და II კატეგორიის რკინიგზებისათვის:

$$C^{\text{н}} = \frac{175}{R} p^{\text{н}} \text{ (მაგრამ არა უმეტეს } 0.15 p^{\text{н}}\text{)}. \qquad (41.7)$$

III კატეგორიის რკინიგზებისათვის:

$$C^{\text{н}} = \frac{90}{R} p^{\text{н}} \text{ (არა უმეტეს } 0.10 p^{\text{н}}\text{)}; \qquad (41.8)$$

აქ $p^{\text{н}}$—ნორმატიული შვეული დროებითი ეკვივალენტური დატვირთვაა, R—მრუდის რადიუსი.

3, 4, 5 პუნქტებში მოყვანილი დატვირთვები—დამუხრუჭების ძალა, მოძრავი შემადგენლობის განივი ძალები, ცენტრიდანული ძალა—გამოწვეულია მოძრავი შემადგენლობის ღერძებით[1]. ამიტომ მათზე უშუალოდ ვრცელდება დატვირთვის n_1 და n_2 კოეფიციენტები, მოყვანილი 14 და 15 ცხრილებში.

6. ქარის დატვირთვა. ახალ ტექნიკურ პირობებში შეცვლილია ქარის დატვირთვის ინტენსივობა w_0 ფართობის ერთეულზე. მისი ნორმატიული მნიშვნელობა მიიღება ცხრილიდან, ხიდის გეოგრაფიული ადგილმდებარეობის მიხედვით (იხ. დანართი II). დანარჩენი მონაცემები, მოყვანილი წიგნის პირველ ნაწილში ქარის დატვირთვის გამოთვლის შესახებ—საანგარიშო ფორმულა, შევსების კოეფიციენტების სიდიდე,—უცვლელი რჩება.

გადატვირთვის კოეფიციენტი ქარის დატვირთვისათვის ტოლია: დატვირთვების ძირითადი თანწყობის დროს—$n = 1{,}20$; დამატებითი და განსაკუთრებული თანწყობის დროს—$n = 1{,}00$.

7. ყინულის ნორმატიული დატვირთვა ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად გამოითვლება დაზუსტებული წესით, ხიდის ადგილმდებარეობის, ბურჯის ფორმისა და ყინულსვლის პირობების მიხედვით. სათანადო ნორმატიული მონაცემები ჩვენ არ მოგვყავს—ისინი მოცემულია ტექნიკურ პირობებში (ТУПМ 56, დანართი 12).

გადატვირთვის კოეფიციენტი ყინულის დატვირთვისათვის ტოლია: $n = 1.10$ ძირითადი დატვირთვების თანწყობის დროს და $n = 1{,}00$ სხვა შემთხვევებში.

არსებობს კიდევ მთელი რიგი მეორეხარისხოვანი დატვირთვებისა, რომლებსაც ჩვენ არ განვიხილავთ (სეისმური დატვირთვა, სამშენებლო დატვირთვები, დატვირთვა გემების მიწოლისაგან, ტემპერატურული ზეგავლენა და სხვა). მათი ნორმატიული მნიშვნელობანი მოცემულია ტექნიკურ პირობებში.

§ 42. დატვირთვების თანწყობანი. საანგარიშო დატვირთვების გამოთვლის წესი

წინა პარაგრაფში განხილული იყო ნორმატიული დატვირთვები. გადავდივართ ახლა საანგარიშო დატვირთვების საკითხზე. როგორც ვიცით, დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშება უშუალოდ ნორმატიული დატვირთვების მიხედვით ხდება. ამიტომ აქ საანგარიშო დატვირთვების განსაკუთრებული გამოთვლა საჭირო არ არის: ძალვების გამოსათვლელად უშუ-

[1] ახალი ტექნიკური პირობებით მათ, ისევე როგორც შვეულ დროებით დატვირთვას, საერთო სახელი აქვთ—დროებითი თარაზული დატვირთვები მოძრავი შემადგენლობისაგან.

ალოდ უნდა ვიხმაროთ ის ნორმატიული დატვირთვები, რომლებიც მოყვანილი იყო წიგნის პირველ ნაწილში.

ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით გაანგარიშების წესი ზოგადად განხილული იყო § 40-ში: აქ წინასწარ საჭიროა საანგარიშო დატვირთვების გამოთვლა. მათი მნიშვნელობა მიიღება ნორმატიული დატვირთვების გამრავლებით დატვირთვის ან გადატვირთვის კოეფიციენტებზე. პირველი მათგანი იხმარება იმ დატვირთვებისათვის, რომლებიც გამოწვეულია მოძრავი შემადგენლობის მოქმედებით (შეული დროებითი დატვირთვა, დამუხრუჭების ძალა, მოძრავი შემადგენლობის განივი დარტყმები, ცენტრიდანული ძალა), მეორენი კი—ყველა სხვა დატვირთვებისათვის.

საანგარიშო ძალვების გამოთვლის დროს საჭიროა დატვირთვების არახელსაყრელი კომბინაციის გათვალისწინება. იმ დატვირთვების სია, რომლებიც მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული ამა თუ იმ კონსტრუქციული ელემენტის გაანგარიშების დროს, დადგენილია ტექნიკური პირობებით (იხ. დანართი III). დატვირთვები ჯგუფდება გარკვეულ თანწყობებად. ნორმებით საჭიროა დატვირთვების სამი თანწყობის განხილვა; თანწყობათა შემადგენლობა ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად იგივეა, რაც წინათ იყო (იხ. წიგნის პირველი ნაწილი, § 9): ძირითად თანწყობაში უნდა შევიდეს ერთი ან რამდენიმე შემდეგი დატვირთვა: მუდმივი დატვირთვა, დროებითი შეული დატვირთვა, გრუნტის წნევა დროებითი დატვირთვისაგან, ცენტრიდანული ძალა; დანარჩენი დატვირთვები ძირითადი თანწყობის დროს არ განიხილება. დამატებითი თანწყობა, გარდა ზემოჩამოთვლილისა, შეიცავს ერთ ან რამდენიმე სხვა დატვირთვას. გამონაკლისს შეადგენს მხოლოდ სეისმური და სამშენებლო დატვირთვები—ისინი ამ თანწყობის დროს არ განიხილება. განსაკუთრებულ თანწყობაში შედის, ზემოჩამოთვლილის დამატებით, სეისმური ან სამშენებლო დატვირთვები. ამ დროს ყინულის დაწოლა მხედველობაში არ მიიღება.

დამატებითი თანწყობის დროს ყველა დატვირთვის მაქსიმალური სიდიდის ერთდროული თანხვდენა უფრო ნაკლებად მოსალოდნელია, ვიდრე ძირითადი თანწყობის დროს; კიდევ უფრო ნაკლებია ასეთი თანხვდენის ალბათობა განსაკუთრებული თანწყობის დროს. ამიტომ დამატებითი და განსაკუთრებული თანწყობისათვის საანგარიშო დატვირთვები გამოითვლება დატვირთვისა და გადატვირთვის კოეფიციენტების შემცირებული მნიშვნელობებით. მათი სიდიდე წინა პარაგრაფში იყო მოყვანილი. ეს არ ეხება მუდმივ დატვირთვას: მისთვის გადატვირთვის კოეფიციენტს ყველა თანწყობის დროს ერთი და იგივე მნიშვნელობები აქვს.

აღსანიშნავია, რომ ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად გამძლეობაზე შემოწმებისას და მეორე და მესამე ზღვრულ მდგომარეობებზე გაანგარიშების დროს დამატებითი და განსაკუთრებული თანწყობების განხილვა საჭირო არ არის.

როგორც ვხედავთ, ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის გამოყენების დროს საანგარიშო დატვირთვების გამოთვლა საკმარისად რთულია, რადგან საქმე გვაქვს საანგარიშო კოეფიციენტების ვრცელ სისტემასთან. სხვადასხვა ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშების დროს უნდა ავიღოთ კოეფიციენტების სხვადასხვა მნიშვნელობანი. მათი სიდიდე დამოკიდებულია აგრეთვე დატვირთვათა თანწყობის სახეობაზე. ამოცანის გასამარტივებლად ქვემოთ მოყვანილია ცხრილი 17, რომელიც გვიჩვენებს, თუ როგორ უნდა გამოითვა-

ლოს საანგარიშო დატვირთვა სხვადასხვა შემთხვევაში. მასში თავმოყრილია ყველა ზემომოყვანილი წესები და მითითებები.

ცხრილში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

n—გადატვირთვის კოეფიციენტები;

n_1, n_2, n_1' n_2'—დატვირთვის კოეფიციენტები;

$1+\mu$—დინამიკური კოეფიციენტი;

p—საანგარიშო დატვირთვა;

p^{H}—ნორმატიული დატვირთვა.

ცხრილი 17

საანგარიშო დატვირთვების გამოსათვლელი ფორმულები (დატვირთვების ძირითადი თანწყობისათვის)

გაანგარიშების სახეობა		მუდმივი დატვირთვა	დროებითი შეუღლი დატვირთვა	დამუხრუჭების ძალა, მოძრაკი შემადგენლობის განივი დარტყმები, ცენტრიდანული ძალა	ყველა დასარჩენი დატვირთვები
		საანგარიშო p დატვირთვის მნიშვნელობა			
პირველი ზღვრული მდგომარეობა	სიმტკიცის და ფორმის მდგრადობის შემოწმება	np^{H}	$n_1(1+\mu)p^{\text{H}}$	n_1p^{H}	np^{H}
	გამძლეობის შემოწმება	p^{H}	$n_2(1+\mu)p^{\text{H}}$	n_2p^{H}	p^{H}
	მდგომარეობის მდგრადობის შემოწმება	np^{H}	n_1p^{H}	n_1p^{H}	np^{H}
მეორე და მესამე ზღვრული მდგომარეობა	სიხისტის და ბზარ-გახსნილობის შემოწმება	p^{H}	n_2p^{H}	n_2p^{H}	p^{H}

შენიშვნა: დამატებითი და განსაკუთრებული თანწყობების დროს n_1, n_2 კოეფიციენტები უნდა შეიცვალოს n_1', n_2' კოეფიციენტებით.

ამგვარად, საბოლოოდ შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ საანგარიშო დატვირთვების გამოთვლის წესი ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით: წინა პარაგრაფის მონაცემების მიხედვით აიღება ნორმატიული p^{H} დატვირთვების მნიშვნელობა; იქვე აიღება გადატვირთვის და დატვირთვის კოეფიციენტები. გადატვირთვის კოეფიციენტები მოყვანილია უშუალოდ პარაგრაფის ტექსტში. დატვირთვის n_1 და n_2 კოეფიციენტები აიღება 14, 15 ცხრილებიდან, ხოლო n_1' და n_2' კოეფიციენტები—16' ცხრილიდან; დროებითი დატვირთვისათვის გამოითვლება დინამიკური კოეფიციენტები (41.5), (41.6) ფორმულებით; საბოლოოდ ეს მნიშვნელობები უნდა შევიტანოთ მე-17 ცხრილში მოყვანილ ფორმულებში, რის შედეგად მივიღებთ საანგარიშო დატვირთვებს.

§ 43. ბეტონის და არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები. დასაშვები ძაბვები

რკინაბეტონის ხიდების მასალის—ბეტონისა და არმატურის საერთო დახასიათება მოყვანილი იყო § 3-ში. აქ ჩვენ უნდა გავეცნოთ იმ მახასიათებ-

ბის ზღვარი უფრო დაბალია, ვიდრე სიმტკიცის ზღვარი. ამ მოვლენის გათვალისწინება ხდება სპეციალური $\gamma_в$ კოეფიციენტით, რომელსაც ბეტონის სიმტკიცის შემცირების, ანუ დაღლილობის კოეფიციენტი ეწოდება. მეორე მხრივ საგულისხმოა ის გარემოება, რომ დაღლილობის პროცესის განვითარება ხანგრძლივ პერიოდში ხდება, დროის განმავლობაში კი ბეტონის სიმტკიცე (ნორმატიული წინაღობა) თანდათან მატულობს. ეს უნდა გავითვალისწინოთ დამატებითი $\beta_в$ კოეფიციენტით. ამგვარად, საბოლოოდ ბეტონის საანგარიშო წინაღობა გამძლეობაზე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$R' = R^{н} k m_1 \gamma_в \beta_в. \qquad (43.2)$$

როგორც ცდები გვიჩვენებს, სიმტკიცის ზრდის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ცემენტის ხარისხზე. ტექნიკურ პირობებში მისი სიდიდე მიღებულია 1,2—1,4 ფარგლებში. რაც შეეხება დაღლილობის $\gamma_в$ კოეფიციენტს, მისი სიდიდე, აგრეთვე ცდების თანახმად, ძაბვების ცვალებადობის ფარგლებზეა დამოკიდებული. ხიდის კონსტრუქციები საკუთარი წონის მუდმივ ზეგავლენას და დროებითი დატვირთვის პერიოდულ მოქმედებას განიცდის. ამის გამო ძაბვები მათ ელემენტებში გარკვეული მინიმუმიდან მაქსიმუმამდე იცვლება. აღვნიშნოთ მაქსიმალური და მინიმალური მკუმშავი ძაბვები ბეტონში σ_{max} და σ_{min}-ით[1]. სიდიდეს

$$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \qquad (43.3)$$

ეწოდება დატვირთვის ციკლის ამპლიტუდა. იგი $\gamma_в$ კოეფიციენტის, ე. ი. გამძლეობის ზღვარის ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორს წარმოადგენს. რაც ნაკლებია ρ, ე. ი. რაც უფრო ვრცელია ძაბვების ცვალებადობის ფარგლები, მით უფრო დაბალია $\gamma_в$ კოეფიციენტი და ბეტონის გამძლეობა. ბეტონის საანგარიშო წინაღობანი გამძლეობაზე, დადგენილი ახალი ტექნიკური პირობების მიერ (43.2) ფორმულის თანახმად, მოცემულია მე-19 ცხრილში.

ცხრილი 19

ბეტონის საანგარიშო წინაღობანი გამძლეობაზე (კგ/სმ²)

($\rho \leq 0{,}1$)

№№	წინაღობის სახეობა	აღნიშვნა	ბეტონის დამზადების პირობები	ბეტონის მარკა					
				150	200	300	400	500	600
1	ღერძული კუმშვა . . .	$R'_{пр}$	А	44	60	92	130	160	190
			Б	40	55	85	120	145	175
2	კუმშვა ღუნვის დროს . .	$R'_{и}$	А	55	75	115	160	195	225
			Б	50	70	105	150	180	220
3	მთავარი ძაბვები	$R'_{тя}$	А	17	25	33	38	44	48
			Б	16	23	31	36	41	45
4	მთავარი ძაბვების სიდიდე, რომლის დროსაც საკიდები და ირიბი ღეროები საჭირო არ არის	$R'_{р}$	А	6.7	7.6	10.0	11.9	13.9	15.6
			Б	6.3	7.1	9.4	11.1	13.0	14.6
5	მთავარი ძაბვები, რომლებიც გადაეცემა ბეტონს კოჭის სიგრძის ნაწილზე	$R''_{р}$	А	3.3	3.7	4.9	6.0	7.0	7.8
			Б	3.1	3.5	4.6	5.6	6.5	7.3

[1] იგულისხმება ძაბვები ძირითადი თანწყობის დატვირთვებისაგან.

ცხრილის 3, 4, 5 სტრიქონებში მოცემული სიდიდეების მნიშვნელობა და ხმარების წესი განმარტებული იქნება § 50-ში. მე-19 ცხრილი მართებულია იმ შემთხვევაში, როდესაც $\rho \leqslant 0{,}1$. თუ ρ-ს მნიშვნელობა მეტია, საანგარიშო წინაღობების სიდიდე უნდა გავზარდოთ, მე-20 ცხრილში მოცემულ შემასწორებელ კოეფიციენტებზე გამრავლებით. იმ შემთხვევაში, როდესაც $\rho > 0{,}7$, ბეტონის შემოწმება გამძლეობაზე საჭირო არ არის.

ცხრილი 20

ბეტონის გამძლეობის საანგარიშო წინაღობათა შემასწორებელი კოეფიციენტები ($\rho > 0.1$)

ბეტონის მარკა	ρ					
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
150, 200	1.04	1.07	1.10	1.13	1.17	1.20
300 და მეტი	1.05	1.10	1.14	1.19	1.24	1.30

სტატიკურად ურკვევი სისტემების გაანგარიშებისათვის და ელემენტების დეფორმაციების გამოსარკვევად საჭიროა ბეტონის დრეკადობის მოდული მნიშვნელობა. ტექნიკური პირობებით დადგენილია ნორმატიული და საანგარიშო მოდულის სიდიდე ბეტონის სხვადასხვა მარკისათვის (ცხრილი 21).

ცხრილი 21

ბეტონის ნორმატიული და საანგარიშო დრეკადობის მოდულის სიდიდე

ბეტონის მარკა	150	200	300	400	500	600
$E_б^н$	240000	290000	340000	380000	410000	430000
$E_б$	165000	200000	270000	310000	340000	360000

გადავიდეთ ახლა არმატურის მახასიათებლებზე. სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას არმატურის წინაღობად უნდა მივიღოთ დენადობის ზღვარი: დენადობის ზღვარის მიღწევის შემთხვევაში მართალია ღერო არ გაწყდება, მაგრამ მეტად დიდ ნარჩენ დეფორმაციებს იღებს და კონსტრუქცია მწყობრიდან გამოდის. ამგვარად, არმატურის ნორმატიული წინაღობა $R_a^н = \sigma_т$, სადაც $\sigma_т$ დენადობის ზღვარია. საანგარიშო წინაღობები უნდა გამოითვალოს იგივე (43.1) ფორმულით, სადაც m_1 ისევე უდრის 0,9. ხოლო ერთგვაროვნების კოეფიციენტი k იცვლება $0{,}85 \div 0{,}90$ ფარგლებში. სხვადასხვა სახის არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობა სიმტკიცეზე მოცემულია 22-ე ცხრილში.

გარდა სიმტკიცისა, გაჭიმული არმატურა მოითხოვს შემოწმებას გამძლეობაზე (შეკუმშული არმატურისათვის ასეთი შემოწმება საჭირო არ არის, რადგან შეკუმშულ ზონაში გამძლეობაზე მოწმდება ბეტონი). არმატურის საანგარიშო წინაღობა გამძლეობაზე გამოითვლება ფორმულით:

$$R_a' = Rkm_1\gamma_a. \qquad (43.4)$$

აქ R არის ფოლადის სიმტკიცის ზღვარი, γ_a დაღლილობის კოეფიციენტი. დანარჩენი სიდიდეები ცნობილია. ისევე როგორც ბეტონის შემთხვევაში, γ_a

კოეფიციენტის სიდიდე, ე. ი. არმატურის დაღლილობის ზღვარი, დამოკიდებულია დატვირთვის ციკლის ρ ამპლიტუდაზე

$$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}.$$

გამძლეობაზე წინაღობის მინიმალური მნიშვნელობა ეთანადება $|\rho| \leq 0{,}1$ სიდიდეს[1]. ეს მნიშვნელობანი, გამოთვლილი (43.4) ფორმულით და დაკანონებული ტექნიკური პირობებით, მოცემულია იმავე 22-ე ცხრილში. თუ დატვირთ-

ცხრილი 22

არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობანი

№№	არმატურის სახეობა	ნორმატიული წინაღობა R_a^H	საანგარიშო წინაღობა	
			სიმტკიცეზე R_a	გამძლეობაზე R'_a ($\lvert\rho\rvert \leq 0{,}1$)
1	ცხლად-ნაგლინი მრგვალი, ხოლოვანი ან ფასონური პროფილი, Ст—0 მარკის ფოლადისაგან	1900	1500	—
2	იგივე Ст—3 მარკის ფოლადისაგან	2400	1900	1700
3	ცხლად-ნაგლინი პერიოდული პროფილი, Ст—5 მარკის ფოლადისაგან	2800	2100	1800
4	იგივე, 25ГС მარკის ფოლადისაგან	4000	3000	—

ვის ციკლის ამპლიტუდა $|\rho| > 0{,}1$, წინაღობათა სიდიდე სათანადოდ შეიძლება გავზარდოთ. შემასწორებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობა მოცემულია 23-ე ცხრილში. აღსანიშნავია, რომ თუ $\rho > 0{,}3$, გამძლეობის შემოწმება Ст—3 და Ст—5 მარკის ფოლადებისათვის შეიძლება არ ვაწარმოოთ. 22-ე ცხრილში Ст—0 მარკის ფოლადისათვის საანგარიშო წინაღობა გამძლეობაზე მოცემული არ არის, რადგან იმ კვეთებში, რომელიც გამძლეობაზე შემოწმებას მოითხოვს, ასეთი ფოლადი არ უნდა ვიხმაროთ. 25ГС მარკის ფოლადისათვის საანგარიშო წინაღობა გამძლეობაზე ჯერ დადგენილი არ არის და მოცემული იქნება სპეციალურ ტექნიკურ პირობებში.

ცხრილი 23

არმატურის გამძლეობის საანგარიშო წინაღობათა შემასწორებელი კოეფიციენტები

ლითონის მარკა	ρ									
	—0.8	—0.6	—0.4	—0.2	—0.1 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Ст—3, Ст—5	0.7	0.75	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5

განსაკუთრებით ცუდ გავლენას ახდენს ნიშანცვლადი ან ცვალებადი ძალვების მოქმედება არმატურის შედუღებულ პირაპირებზე. მათთვის გამძ-

[1] ბეტონის მუშაობა გაჭიმვაზე მხედველობაში არ მიიღება, ამიტომ ბეტონისათვის $\sigma_{min} > 0$ და ρ-ს მუდამ დადებითი მნიშვნელობა აქვს. არმატურისათვის კი ρ შეიძლება როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი იყოს, ამიტომ აიღება მისი აბსოლუტური მნიშვნელობა.

ლეობის ზღვარი განსაკუთრებით დაბალია. ამიტომ შედუღებულპირაპირიანი ღეროებისათვის საანგარიშო წინაღობა გამძლეობაზე მცირდება დამატებით γ კოეფიციენტზე გამრავლებით. მისი სიდიდე მოცემულია 24-ე ცხრილში. ამ მხრივ გამონაკლისს შეადგენს პირაპირი, განხორციელებული კონტაქტური შედუღებით. იგი კარგად მუშაობს ნიშანცვლად ძალვებზე და შემასწორებელ კოეფიციენტს არ საჭიროებს.

ცხრილი 24

γ კოეფიციენტები სხვადასხვა სახის პირაპირებისათვის

შედუღებული პირაპირის სახეობა	ფოლადის მარკა	
	Ст—3	Ст—5
1. პირაპირი წყვილი ზესადებებით . .	0.9	0.85
2. პირაპირი შედუღებული აბაზანური წესით, სპილენძის ქვესადებებით . .	0.85	0.75
3. იგივე ფოლადის ქვესადებით	0.8	0.7
4. პირაპირი თავწაფარებით, ზესადებების გარეშე	0.75	0.65

ამგვარად, ჩვენ განვიხილეთ ბეტონისა და არმატურის საანგარიშო წინაღობები. მათი მნიშვნელობები უნდა შევიტანოთ ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის საანგარიშო ფორმულებში, რომლებიც შემდეგ პარაგრაფებში იქნება მოყვანილი.

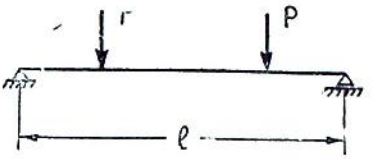
შევჩერდეთ ახლა დასაშვები ძაბვების მეთოდზე. როგორც ვიცით, ამ მეთოდით გაანგარიშების დროს ბეტონისა და არმატურის მახასიათებლებად მიღებულია დასაშვები ძაბვები. მათი სიდიდე გამოითვლება სათანადო სიმტკიცის ზღვარის (ნორმატიული წინაღობის) გაყოფით მარაგის კოეფიციენტზე. ამ უკანასკნელის სიდიდე შერჩეულია ისეთნაირად, რომ იგი ითვალისწინებს როგორც სიმტკიცის, ისე გამძლეობის პირობებს. ამიტომ რკინაბეტონის ხიდების შემოწმება გამძლეობაზე დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშების დროს ცალკე არ წარმოებს. ზიდვის უნარის გამოსარკვევად საჭიროა განვიხილოთ მხოლოდ სიმტკიცის და მდგრადობის პირობა. დასაშვები ძაბვების რიცხვითი მნიშვნელობები, დადგენილი ძველი ტექნიკური პირობების მიერ, მოყვანილია IV დანართში.

§ 44. რკინაბეტონის ელემენტების მუშაობის პირობები. კვეთების შემოწმების საფუძვლები

რკინაბეტონის ხიდების გაანგარიშების დროს საჭიროა კონსტრუქციული ელემენტების სიმტკიცის, მდგრადობისა და გამძლეობის შემოწმება, ჩაღუნვების გამოთვლა, ბზარმედეგობის გამორკვევა. ამისათვის სათანადო საანგარიშო ფორმულებია დადგენილი. მათი შეგნებულად გამოყენებისათვის საჭიროა წინასწარ გავეცნოთ რკინაბეტონის ელემენტების მუშაობის პირობებს და გამოვარკვიოთ ის ფიზიკური სურათი, რომელიც საფუძვლად უდევს საანგარიშო ფორმულებს.

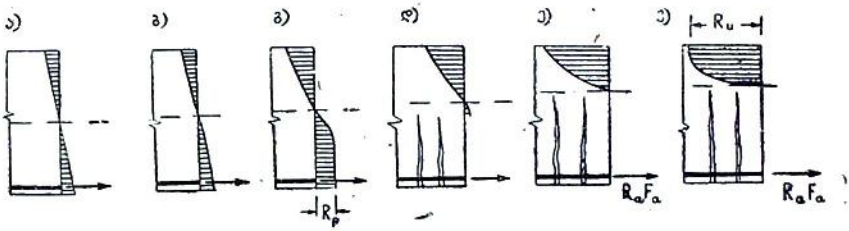
ჩვენი ამოცანისათვის ყველაზე უფრო თვალსაჩინო და დამახასიათებელია ღუნვაზე მომუშავე ელემენტები. განვიხილოთ ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე რკანაბეტონის კოჭი, დატვირთული შეყურსული ტვირთებით

(ნახ. 238). გავზარდოთ P ძალების მნიშვნელობა ნულიდან მრღვევ სიდიდემდე და თან დავაკვირდეთ ერთი მხრივ კოჭის ჩაღუნვას, მეორე მხრივ კი მისი შუა კვეთის დაძაბულ მდგომარეობას. ამისათვის ნახ. 239-ზე ავაგოთ შუა კვეთის ძაბვების ეპიურები ძალების სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, ხოლო ნახ. 240-ზე კი f ჩაღუნვის გრაფიკი. ექსპერიმენტი გვიჩვენებს, რომ კოჭის მუშაობა რამდენიმე სტადიად შეიძლება



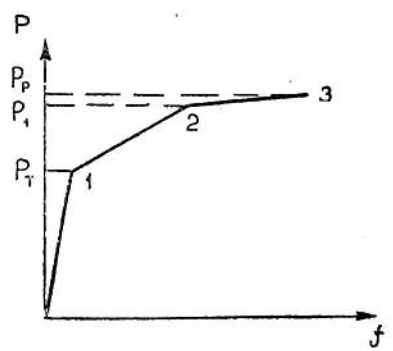
ნახ. 238. კოჭის დატვირთვის სქემა.

დაიყოს. დასაწყისში, როდესაც ძაბვები უმნიშვნელოა, გაჭიმული ბეტონი მონაწილეობას იღებს მუშაობაში და კოჭი მთლიანი კვეთით მუშაობს. ძაბ-



ნახ. 239. კოჭის შუა კვეთის ძაბვების ეპიურები.

ვები კვეთში განაწილებულია სწორხაზობრივად, ჩაღუნვა დატვირთვის პროპორციულია. კოჭის მუშაობის ამ ეტაპს I სტადია ეწოდება (ნახ. 239, ა)· დატვირთვის მომატებასთან ერთად გაჭიმულ ზონაში ძაბვები უახლოვდება ბეტონის სიმტკიცის ზღვარს; მასში წარმოიშვება პლასტიკური დეფორმაციები და ძაბვების ეპიურა გაჭიმულ ზონაში თანდათან მრუდდება (ნახ. 239, ბ). პირველი სტადია მთავრდება მაშინ, როდესაც გაჭიმული ზონის თითქმის მთელ სიმაღლეზე ძაბვები ბეტონში გახდება გაჭიმვაზე სიმტკიცის R_p ზღვარის ტოლი (ნახ. 239, გ). ასეთ მდგომარეობას I^a სტადია ეწოდება. დატვირთვის შემდგომი მომატებისას კოჭის მუშაობის სურათი მკვეთრად იცვლება: ბეტონი გაჭიმვაზე ვეღარ მუშაობს, იგი სკდება და გაჭიმულ ზონაში წარმოიშვება ბზარები; კოჭის სიხისტე მკვეთრად კლებულობს და ჩაღუნვის გრაფიკზე ვიღებთ გარდატეხის წერტილს (ნახ. 240, წერტილი 1); დატვირთვის სათანადო P_T სიდიდეს ბზარწარმომქმნელი დატვირთვა ეწოდება, შესაბამის მღუნავ მომენტს კი—ბზარწარმომქმნელი მომენტი. დატვირთვის ზრდასთან ერთად ბზარები თანდათან ზევით ვრცელდება, თითქმის ნეიტრალურ შრემდე; ეს არის ელემენტის მუშაობის II სტადია. ამ სტადიაში გაჭიმული ბეტონი მუშაობაში მონაწილეობას არ იღებს და მთელი გამჭიმავი ძალა კვეთში გადაეცემა არმატურას.



ნახ. 240. კოჭის ჩაღუნვის გრაფიკი.

შეკუმშულ ზონაში ძაბვები ბეტონში ჯერ შორს არის სიმტკიცის ზღვარიდან, ამიტომ პლასტიკური დეფორმაციები ჯერ არ ვითარდება და ძაბვების ეპიურა თითქმის სწორხაზოვანია (ნახ. 239, დ). დატვირთვის შემდგომი მომატების დროს ძაბვები არმატურაში და შეკუმშულ ბეტონში თანდათან მატულობს, დატვირთვის გარკვეული P_1 მნიშვნელობის დროს ძაბვა არმატურაში მიაღწევს დენადობის ზღვარს, ე. ი. წინაღობას გაჭიმვაზე (R_a). ამის შემდეგ ელემენტი III სტადიაში გადადის და მისი მუშაობის სურათი კვლავ მკვეთრად იცვლება: არმატურა იწყებს დენადობას, მისი დეფორმაციები და კოჭის ჩაღუნვა სწრაფად იზრდება, ამიტომ ჩაღუნვის გრაფიკი მკვეთრ გარდატეხას განიცდის (ნახ. 240, წერტილი 2). ბზარები გაჭიმულ ზონაში მნიშვნელოვნად იხსნება, ნეიტრალური შრე სწრაფად იწევს ზევით. შეკუმშულ ზონაში ძაბვები უახლოვდება კუბშვაზე სიმტკიცის R_u ზღვარს, ვითარდება პლასტიკური დეფორმაციები და მკუმშავი ძაბვების ეპიურა მრუდდება (ნახ. 239, ე); საბოლოოდ, როდესაც ძაბვები ბეტონში მიაღწევს სიმტკიცის R_u ზღვარს შეკუმშული ზონის თითქმის მთელ სიმაღლეზე, ეს ზონა ირღვევა, კოჭის ზიდვის უნარი ამოწურულია და იგი ინგრევა (ნახ. 240, წერტილი 3, ნახ. 239, ვ). დატვირთვის შესაბამის P_p სიდიდეს ეწოდება მ რ ღ ვ ე ვ ი ან უ ზ ღ ვ რ უ ლ ი დ ა ტ ვ ი რ თ ვ ა, შესაბამის მღუნავ მომენტს კი მ რ ღ ვ ე ვ ი ან ზ ღ ვ რ უ ლ ი მ ო მ ე ნ ტ ი; იგი წარმოადგენს ელემენტის ზიდვის უნარს. აღსანიშნავია, რომ P_1 და P_p დატვირთვების სიდიდე, როგორც ეს ნახ. 240-დან ჩანს, ძალიან ახლოა ერთმანეთთან.

აღწერილი სურათი სამართლიანია ისეთი ელემენტებისათვის, რომლებშიც არმატურის რაოდენობა ძალიან დიდი არ არის. მეტად მძლავრი არმირების შემთხვევაში ჯერ კიდევ მანამდე, სანამ ძაბვა არმატურაში დენადობის ზღვარს მიაღწევდეს, ბეტონის სიმტკიცე ამოიწურება და შეკუმშული ზონა ირღვევა, რაც, ცხადია, კოჭის დარღვევასაც იწვევს. ასეთ ელემენტებს გადაარმირებული ეწოდება. მათში არმატურის წინაღობა სავსებით გამოყენებული არ არის, ამიტომ ფოლადის ხარჯის თვალსაზრისით ისინი არახელსაყრელია და პრაქტიკაში არ იხმარება. არმატურის ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც კვეთი ჯერ კიდევ არ არის გადაარმირებული, მოყვანილი იქნება შემდეგ პარაგრაფებში.

ამგვარად, ჩვენ დავახასიათეთ რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების მუშაობის სტადიები. გამოვარკვიოთ ახლა, თუ რა პირობებში უხდებათ მუშაობა რეალურ კონსტრუქციებს? პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ექსპლოატაციის პირობებში ხიდების კონსტრუქციულ ელემენტებს უმეტეს შემთხვევაში აქვს ბზარები გაჭიმულ ზონაში (გამონაკლისს, როგორც ვიცით, შეადგენს წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები); ამიტომ ყველა იმ გაანგარიშებას, რომელიც საექსპლოატაციო პირობებიდან გამომდინარეობს, საფუძვლად უნდა დაედოს მუშაობის II სტადია. § 40-ს ბოლოში აღნიშნული იყო, რომ ასეთია გაანგარიშება II და III ზღვრულ მდგომარეობაზე—სიხისტისა და ბზარგახსნილობის შემოწმება. საექსპლოატაციო პირობებიდან გამომდინარეობს აგრეთვე გამძლეობაზე გაანგარიშებაც. მართლაც, გამძლეობის დაკარგვა გულისხმობს ელემენტის დატვირთვის მრავალჯერად ციკლს—რამდენიმე მილიონის რაოდენობით, ასეთი ზეგავლენა კი მხოლოდ ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებში შეიძლება იყოს. ამიტომ გამძლეობის შემოწმებაც მეორე სტადიის მიხედვით უნდა მოხდეს. რაც შეეხება შემოწმებას სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე, ცხადია, რომ სიმტკიცის დაკარგვა შეიძლება მოხდეს

მხოლოდ ელემენტის მესამე სტადიაში გადასვლის შემდეგ, ამიტომ ეს შემოწმება უნდა ჩატარდეს III სტადიის მიხედვით.

ამრიგად, რკინაბეტონის ელემენტების I ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე შემოწმებას საფუძვლად უდევს მუშაობის III სტადია, გამძლეობის შემოწმებას და მეორე და მესამე ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშებას კი—II სტადია.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ დასაშვები ძაბვების მეთოდი აგრეთვე ემყარება ელემენტების მუშაობის მეორე სტადიას.

სიმტკიცეზე, მდგრადობაზე და გამძლეობაზე გაანგარიშების ძირითადი ფორმულები მოყვანილი იქნება § 45 და § 46-ში. იქვეა მოყვანილი დასაშვები ძაბვების მეთოდის ფორმულები.

§ 45. რკინაბეტონის ელემენტების კვეთების შემოწმება სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით

სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე შემოწმება, როგორც ვიცით, I ზღვრულ მდგომარეობას ეკუთვნის. ასეთი შემოწმება სავალდებულოა ხიდის ყველა კონსტრუქციული ელემენტისათვის[1]; უმეტეს შემთხვევაში იგი გადამწყვეტია კვეთის შერჩევის თვალსაზრისით და ამიტომ მას პირველ რიგში განვიხილავთ.

რკინაბეტონის ელემენტის სიმტკიცის ან მდგრადობის შესამოწმებელი ზოგადი ფორმულა მოყვანილი იყო § 40-ში (იხ. ფორმულა 40.5). შემოკლებული სახით ის ასე ჩაიწერება:

$$N \leqslant \bar{N} \tag{45.1}$$

ცხადია, რომ ეკონომიური კვეთის შერჩევისათვის ამ ფორმულაში ტოლობის ნიშანი უნდა მივიღოთ. ტოლობის მარცხენა მხარეს გვაქვს საანგარიშო ძალვა N, მარჯვენა მხარეს კი—ზღვრული ძალვა (ზიდვის უნარი) $\bar{N}$.

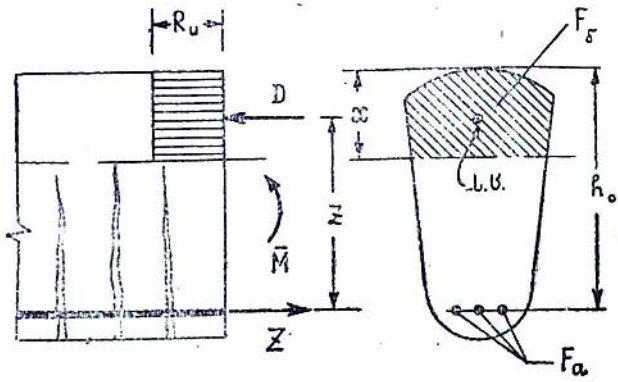
საანგარიშო N ძალვის გამოთვლის ზოგადი წესი განხილული იყო § 42-ში. აქ კიდევ ერთხელ აღვნიშნავთ, რომ სიმტკიცის და მდგრადობის შემოწმების დროს უნდა გავითვალისწინოთ ძალვის მაქსიმალური შესაძლო მნიშვნელობა. ამისათვის მოძრავი შემადგენლობის დროებითი დატვირთვა უნდა ავიღოთ დატვირთვის n_1 კოეფიციენტით და დინამიკური კოეფიციენტით, ყველა სხვა დატვირთვები კი—გადატვირთვის კოეფიციენტებით (იხ. ცხრილი 17). ძალვის გამოსათველელი კონკრეტული ფორმულების სახე, ცხადია, დამოკიდებულია კონსტრუქციის საანგარიშო სქემაზე და მოცემული იქნება შემდეგ თავებში, ამა თუ იმ კონსტრუქციული ელემენტის გაანგარიშების განხილვის დროს. აქ ჩვენი მიზანია რკინაბეტონის ელემენტებისათვის ზღვრული $\bar{N}$ ძალვის საანგარიშო ფორმულების დადგენა. განვიხილოთ ძირითადი შემთხვევები.

1. ღუნვადი ელემენტები

როგორც წინა პარაგრაფში აღვნიშნეთ, ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით გაანგარიშების დროს ღუნვადი რკინაბეტონის ელემენტის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე შემოწმებას საფუძვლად უდევს მუშაობის მესამე

[1] გამონაკლისს შეადგენს მხოლოდ ღუნვადი ელემენტების დაბრილი კვეთები და ირიბი არმატურა. მათი შემოწმება, ტექნიკური პირობების თანახმად, ხდება მხოლოდ გამძლეობაზე.

სტადია. სიმარტივისათვის განვიხილოთ კვეთი, არმირებული ერთმაგი არმატურით. ზღვრული მომენტის გამოსათვლელად შეიძლება მივიღოთ კვეთში ძაბვების განაწილების სურათი, მოყვანილი ნახ. 241-ზე; იგი ეყრდნობა ელემენტის ნგრევის ფაქტიურ სურათს, რომელიც აღწერილი იყო წინა პარაგრაფში (ნახ. 240.ვ): გაჭიმულ ზონაში ბეტონი მუშაობიდან გამორიცხულია და მუშაობს მხოლოდ არმატურა, რომელშიც ძაბვა ტოლია საანგარიშო R_a წინაღობისა; შეკუმშულ ზონაში ბეტონის მკუმშავი ძაბვების მრუდხაზოვანი ეპიურა სიმარტივისათვის შეცვლილია სწორკუთხურით[1], ასე რომ მკუმშავი ძაბვის სიდიდე მთელ სიმაღლეზე ერთნაირია და უდრის ბეტონის საანგარიშო წინაღობას კუმშვაზე ღუნვის დროს (R_u).



ნახ. 241. ძაბვების განაწილება რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის კვეთში, სიმტკიცეზე შემოწმების დროს.

აღწერილი სურათი საშუალებას გვაძლევს ვიპოვოთ ზ ღ ვ რ უ ლ ი მ ო მ ე ნ ტ ი ს, ე. ი. კვეთის ზიდვის უნარის მნიშვნელობა. ამისათვის აღვნიშნოთ გამჭიმავი ძალა არმატურაში Z-ით, ხოლო მკუმშავი ძალა ბეტონში (მკუმშავი ძაბვების ტოლქმედი)—D-თი. ეს უკანასკნელი მოდებული იქნება შეკუმშული ზონის სიმძიმის ცენტრში. მანძილი Z და D ძალებს შორის, ე. ი. ეგრეთწოდებული შიგაწყვილძალის მხარი აღვნიშნოთ z-ით, შეკუმშული ზონის სიმაღლე კი—x-ით (ნახ. 241). ცხადია, რომ:

$$\begin{aligned} Z &= F_a R_a; \\ D &= F_ბ R_u, \end{aligned} \qquad (45.1)$$

სადაც F_a, $F_ბ$—არმატურის კვეთის და ბეტონის შეკუმშული ზონის ფართობებია.

საძიებელი ზღვრული მომენტის საპოვნელად გამოვიყენოთ სტატიკის წონასწორობის პირობები. დავაგეგმილოთ ყველა მოქმედი ძალა ელემენტის გრძივ X ღერძზე. მაშინ $\Sigma X=0$ პირობა მოგვცემს:

$$D = Z; \qquad (45.2)$$

ანუ მნიშვნელობების ჩასმით

$$F_ბ R_u = F_a R_a; \qquad (45.3)$$

[1] როგორც ცნობილია, ასეთი დაშვება მეტად მცირე ცდომილებას იძლევა.

გამოვიყენოთ ახლა პირობა $\Sigma M=0$. დავწეროთ იგი არმატურის ფართობის სიმძიმის ცენტრის მიმართ; მივიღებთ:

$$\overline{M}=D\zeta=F_b R_a z. \tag{45.4}$$

თუ იმავე პირობას დავწერთ ბეტონის შეკუმშული ზონის ცენტრის მიმართ, გვექნება:

$$\overline{M}=Z\zeta=F_a R_a z. \tag{45.5}$$

(45.4) და (45.5) გამოსახულებები, ცხადია, ტოლფასია. ადვილი გასაგებია მოყვანილი ფორმულების ფიზიკური აზრი. იგი იმაში მდგომარეობს, რომ ღუნვადი ელემენტების კვეთში მოქმედი შიგა ძაბვები ქმნიან წყვილძალას D, Z მდგენელებით, რომლის მომენტი ზღვრული $\overline{M}$ მომენტის (კვეთის ზიდვის უნარის) ტოლია.

(45.3)—(45.5) ფორმულები საშუალებით წყვეტს დასახულ ამოცანას. მართლაც, (45.3) ფორმულიდან ამოიხსნება უცნობი სიდიდე—შეკუმშული ზონის ფართობი F_b ან ამ ზონის სიმაღლე x; მაშინ წმინდა გეომეტრიული ხერხით შეიძლება ვიპოვოთ შიგაწყვილძალის მხარი z. ბოლოს საძიებელი ზღვრული მომენტი განისაზღვრება (45.4) ან (45.5) ფორმულით.

როგორც ვხედავთ, ზღვრული მომენტის საპოვნელად საკმარისია სტატიკის პირობების გამოყენება[1]. ამგვარად, ღუნვადი ელემენტის ზღვრული მომენტის განსაზღვრის ამოცანა სტატიკურად რკვევადია. ზღვრული მომენტების კონკრეტული გამოსახულებები სხვადასხვა სახის კვეთებისათვის ქვემოთ იქნება მოყვანილი. წინასწარ უნდა აღვნიშნოთ, რომ ზემომოყვანილი ფორმულები მართებულია მხოლოდ არაგადაარმირებული ელემენტებისათვის, რომელთა ნგრევა არმატურის დენადობით იწყება (იხ. წინა პარაგრაფი). ჩვენს მიერ განხილულ ზოგად შემთხვევაში ელემენტი არ ითვლება გადაარმირებულად, თუკი დაცულია პირობა:

$$S_b\leqslant 0{,}8S_0; \tag{45.6}$$

აქ S_b—შეკუმშული ზონის სტატიკური მომენტია არმატურის ცენტრის მიმართ, S_0 კი—მთელი კვეთის სტატიკური მომენტი (ქვედა დამცველი შრის გამოკლებით) იმავე წერტილის მიმართ. ზღვრული არმირების პირობა, მოცემული (45.6) ფორმულით, მიღებულია ექსპერიმენტულად.

განვიხილოთ ახლა პრაქტიკაში გავრცელებული კერძო შემთხვევები. მათ შორის ძირითადია მართკუთხა კვეთი ერთმაგი არმატურით. მისი სქემა მოცემულია ნახ. 242-ზე. ამ შემთხვევაში ზემომოყვანილი საანგარიშო ფორმულები ასეთ სახეს მიიღებს: ნახაზიდან ჩანს, რომ მკუმშავი ძალა ბეტონში $D=R_b bx$, ხოლო გამჭიმავი ძალა არმატურაში $Z=F_a R_a$. ამ მნიშვნელობების შეტანით (45.2) პირობაში ადვილად განვსაზღვრავთ შეკუმშული ზონის სიმაღლეს:

$$x=\frac{F_a R_a}{bR_u}. \tag{45.7}$$

ისევ ნახაზიდან ახლა ადვილად განისაზღვრება შიგაწყვილძალის მხარი:

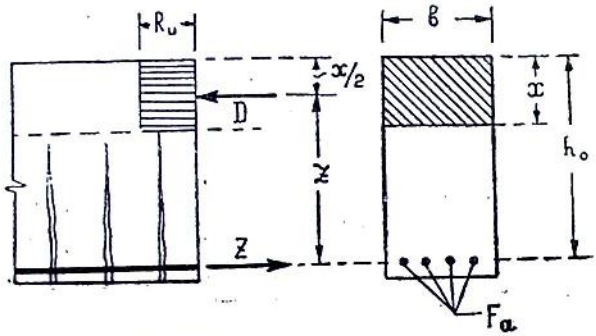
$$z=h_0-\frac{x}{2}=h_0-\frac{F_a R_a}{2bR_u}; \tag{45.8}$$

[1] სტატიკის მესამე პირობა, $\Sigma y=0$, დაკმაყოფილებულია ავტომატურად, რადგან ჩვენ მუდმივი ღუნვის შემთხვევას ვიხილავთ და გარე დამჭრელი ძალები და მხები ძაბვები არა გვაქვს.

აქ h_0—კვეთის მუშა სიმაღლეა (შეკუმშული ზონის განაპირა ბოჭკოდან არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე).

ახლა (45.4), (45.5) ფორმულების მიხედვით ადვილად შეიძლება ჩავწეროთ ზღვრული მომენტის საანგარიშო ფორმულები:

$$\left.\begin{aligned} &\overline{M}=R_u bx\zeta=R_u bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right);\\ \text{ან}\qquad &\overline{M}=F_a R_a\zeta=F_a R_a\left(h_0-\frac{x}{2}\right). \end{aligned}\right\} \qquad (45.9)$$



ნახ. 242. მართკუთხა კვეთის კოჭი.

ორივე ეს ფორმულა ცხადია ტოლფასია.

ზღვრული არმირების პირობა (45.6) მართკუთხა კვეთის შემთხვევაში ასეთ სახეს იღებს:

$$x\leq 0{,}55h_0. \qquad (45.10)$$

თუ შევიტანთ x-ის მნიშვნელობას (45.7), იგი შეიძლება სხვაგვარადაც ჩავწეროთ:

$$\frac{F_a}{bh_0}\leq 0{,}55\frac{R_u}{R_a}$$

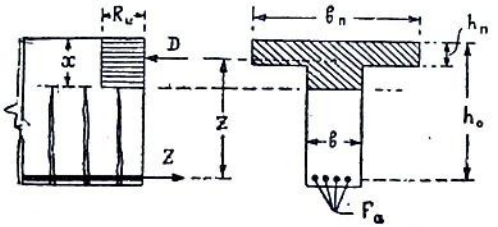
ანუ:

$$\mu\leq 0{,}55\frac{R_u}{R_a}; \qquad (45.11)$$

ამ ფორმულით განისაზღვრება მართკუთხა კვეთის არმირების μ პროცენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა. თუ ეს პირობა დაცული არ არის, უნდა გავზარდოთ კვეთის ზომები ან ბეტონის მარკა.

განვიხილოთ ახლა მეორე გავრცელებული შემთხვევა—ტესებრი ფორმის კვეთი (წიბოვანი კოჭი) (ნახ. 243). აქ შეკუმშულ ზონაში გვაქვს ფილა, ანუ თარო. შეიძლება გვქონდეს ორი საანგარიშო შემთხვევა: 1. ნეიტრალური ღერძი გადის ფილის ფარგლებში, 2. ნეიტრალური ღერძი სცილდება ფილის ფარგლებს და წიბოს ჰკვეთს. იმისათვის, რომ გავიგოთ თუ რომელ შემთხვევასთან გვაქვს საქმე, წინასწარ უნდა გამოვთვალოთ შეკუმშული ზონის სიმაღლე მართკუთხა კვეთისათვის მოყვანილი (45.7) ფორმულით. თუ $x\leq h_n$,

მაშინ საქმე პირველ შემთხვევასთან გვაქვს: ნეიტრალური ღერძი ფილის ფარგლებშია, კვეთის შეკუმშულ ზონას მართკუთხა ფორმა აქვს და ამიტომ ზევით მოყვანილი ყველა ფორმულა (45.7)—(45.11) ძალაში რჩება. ამიტომ ჩვენთვის უფრო საინტერესოა მეორე შემთხვევა, როდესაც $x > h_n$, ე. ი. ნეიტრალური ღერძი გადის ფილის ფარგლებს გარეთ. სწორედ ეს შემთხვევაა მოყვანილი ნახ. 243-ზე. განვიხილოთ საანგარიშო ფორმულები ამ შემთხვევისათვის.



ნახ. 243. ტესებრი ფორმის კვეთის კოჭი.

ნახაზიდან ადვილად დავასკვნით, რომ შეკუმშული ზონის ფართობი ტოლი იქნება:

$$F_ბ = (b_n - b)h_n + bx;$$

ამიტომ x-ს გამოსათვლელი ზოგადი ფორმულა (45.3) მოგვცემს:

$$x = \frac{F_a R_a}{bR_u} - \frac{(b_n - b)h_n}{b}. \qquad (45.12)$$

შიგაწყვილძალის მხარის საპოვნელად გამოვთვალოთ შეკუმშული ზონის სტატიკური მომენტი $S_ბ$ არმატურის ცენტრის მიმართ. ნახაზიდან ცხადია:

$$S_ბ = bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + \left(b_n - b\right)h_n\left(h_0 - \frac{h_n}{2}\right);$$

მაშინ შიგაწყვილძალის მხარი ტოლია:

$$z = \frac{S_ბ}{F_ბ} = \frac{(b_n - b)h_n\left(h_0 - \frac{h_n}{2}\right) + bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right)}{(b_n - b)h_n + bx}; \qquad (45.13)$$

ამის შემდეგ ზღვრული მომენტი გამოითვლება ჩვეულებრივი წესით:

$$\overline{M} = Zz = F_a R_a z; \qquad (45.14)$$

შეიძლება გამოვიყენოთ ასეთი ფორმულაც:

$$\overline{M} = Dz = F_ბ R_u z = R_u\left[bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + (b_n - b)h_n\left(h_0 - \frac{h_n}{2}\right)\right]; \qquad (45.15)$$

ეს ფორმულები საკმარისია კვეთის სიმტკიცეზე შესამოწმებლად.

ზღვრული არმირების გამოსარკვევად უნდა ვიხმაროთ ზოგადი ფორმულა (45.6).

აღსანიშნავია, რომ ღუნვადი ელემენტების კვეთის სიმტკიცეზე შემოწმებისათვის, გარდა ზემოთ მოყვანილი ფორმულებისა, შეიძლება ვიხმაროთ დამხმარე ცხრილები, მოყვანილი ტექნიკურ ლიტერატურაში [19, 35, 64].

2. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები

სიმტკიცეზე შემოწმების დროს იგულისხმება, რომ რღვევის მომენტში ძაბვა როგორც არმატურაში, ისე ბეტონში საანგარიშო წინაღობების ტოლია. ძაბვების განაწილება კვეთის მთელ ფართობზე აქ თანაბარია, ამიტომ ბეტონის საანგარიშო წინაღობად ცენტრალური კუმშვის დროს უნდა მივიღოთ პრიზმული სიმტკიცე R_{np}. გარდა ამისა, გრძელი ელემენტების შემთხვევაში ზიდვის უნარი მცირდება მდგრადობის დაკარგვის გამო, რაც უნდა გავითვალისწინოთ გრძივი ღუნვის φ კოეფიციენტით. ზემოთქმულის საფუძველზე ზღვრული ღერძული ძალვა $\bar{N}$ (ზიდვის უნარი) ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებისათვის განისაზღვრება ასეთი ფორმულით:

$$\bar{N} = (R_{np} F_b + R_a F_a)\varphi;$$

აქ F_b—ბეტონის კვეთის ფართობია, F_a—არმატურის ფართობი, φ—გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი. მისი სიდიდე დამოკიდებულია ელემენტის მოქნილობაზე, ე. ი. $\frac{l_0}{r}$ შეფარდებაზე (l_0—ელემენტის თავისუფალი სიგრძეა, r—მისი ინერციის რადიუსი). მართკუთხა ელემენტებისათვის φ შეიძლება გამოვსახოთ როგორც $\frac{l_0}{b}$ ფარდობის ფუნქცია (b—კვეთის სიგანეა), ხოლო მრგვალი ელემენტებისათვის, როგორც $\frac{l_0}{d}$ ფარდობის ფუნქცია (d—კვეთის დიამეტრი). გრძივი ღუნვის φ კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობები მოყვანილია 25-ე ცხრილში.

ცხრილი 25

გრძივი ღუნვის φ კოეფიციენტის მნიშვნელობები

$l_0/b=$	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$l_0/d=$	12.1	13.9	15.6	17.3	19.1	20.8	22.5	24.3	26
$l_0/r=$	48.5	55.4	62.2	69.0	76.0	83.0	90.0	97.0	104
$\varphi=$	1	0.88	0.80	0.73	0.67	0.62	0.57	0.53	0.50

3. ექსცენტრულად შეკუმშული ელემენტები

ექსცენტრული კუმშვის დროს ჩვენთვის ძირითადად საინტერესოა ორმაგი არმატურიანი კვეთები. სიმარტივისათვის მხოლოდ მართკუთხა ფორმის კვეთებს განვიხილავთ. ზოგადი საანგარიშო ფორმულები მოცემულია ტექნიკურ პირობებში [58].

ექსცენტრული კუმშვის დროს ელემენტზე მოქმედებს მკუმშავი ძალვა N, მოდებული e_0 ექსცენტრისიტეტით კვეთის ღერძის მიმართ (ნახ. 244). საანგარიშო ფორმულები ორ სხვადასხვა შემთხვევას გულისხმობს.

I შემთხვევა დიდი ექსცენტრისიტეტის დროს გვაქვს[1]. აქ კუმშვას

[1] თუ როგორ უნდა გავარჩიოთ I და II შემთხვევა ერთმანეთისაგან, ქვევითაა განმარტებული.

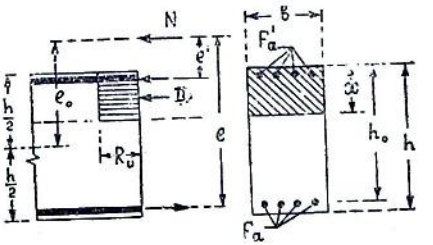
მხოლოდ კვეთის ნაწილი განიცდის. იგულისხმება, რომ ზღვრულ მდგომარეობაში ძაბვები ბეტონსა და არმატურაში საანგარიშო წინაღობების ტოლია. ბეტონის მუშაობა ამ შემთხვევაში უახლოვდება ღუნვადი ელემენტის შეკუმშული ზონის მუშაობის პირობებს, ამიტომ მის საანგარიშო წინაღობად უნდა მივიღოთ სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე ღუნვისას—R_u. საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია ნახ. 244-ზე. საანგარიშო ფორმულები შეიძლება მივიღოთ ისეთივე წესით, როგორც ღუნვის დროს. მოგვყავს ისინი გამოყვანის გარეშე.

შეკუმშული ზონის x სიმაღლის განმსაზღვრელი გამოსახულება:

$$R_u bx\left(e-h_0+\frac{x}{2}\right)\pm R_a F_a' e'-R_a F_a e=0^1. \qquad (45.16)$$

ეს არის კვადრატული განტოლება, საიდანაც ვიპოვით x-ს. ამის შემდეგ ზღვრული მკუმშავი ძალა (ზიდვის უნარი) შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$\bar{N}=R_u bx+R_a F'_a-R_a F_a; \qquad (45.17)$$



ნახ. 244. ექსცენტრული კუმშვის I შემთხვევა.

აქ F_a და F'_a გაჭიმული და შეკუმშული არმატურის ფართობია, e და e' კი—მანძილი მკუმშავი N ძალიდან ამ ფართობების სიმძიმის ცენტრებამდე. e, e' სიდიდეები გამოითვლება N ძალის ცნობილი e_0 ექსცენტრისიტეტის მიხედვით[2].

შეკუმშული ზონის სიმაღლე უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $x\geq 2a'$. ზემომოყვანილი ფორმულები მართებულია მხოლოდ მაშინ, როდესაც

$$x\leq 0{,}55h_0. \qquad (45.18)$$

თუ პირიქით, $x>0{,}55h_0$, გვაქვს ექსცენტრული კუმშვის II შემთხვევა. იგი მცირე ექსცენტრისიტეტს გულისხმობს. ამ შემთხვევაში კვეთის უმეტესი ნაწილი შეკუმშულია, მისი მუშაობა უახლოვდება ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მუშაობის პირობებს, ამიტომ ბეტონის საანგარიშო წინაღობად მიიღება პრიზმული სიმტკიცე R_{np}. კვეთის ზღვრული მღუნავი მომენტი (ზიდვის უნარი) განისაზღვრება ფორმულით

$$\bar{N}e=[0{,}5R_{np}bh_0^2+R_a F_a'(h_0-a')]\varphi. \qquad (45.19)$$

თუ N ძალა მოდებულია F_a და F'_a არმატურის ცენტრებს შორის, დამატებით დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$\bar{N}e=[0{,}5R_{np}bh_0^2+R_a F_a(h_0-a')]\varphi; \qquad (45.20)$$

აქ φ—გრძივი ღუნვის კოეფიციენტია, მოცემული 25-ე ცხრილში.

მოყვანილი ფორმულების პრაქტიკული გამოყენება საკმარისად რთულია. ამიტომ კვეთის შემოწმების დროს უმეტეს შემთხვევაში მიმართავენ დამხმარე

---

[1] ამ ფორმულაში ნიშანი „—“ უნდა ავიღოთ მაშინ, თუ N ძალა მოთავსებულია F_a და F'_a არმატურის ცენტრებს შორის, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი ნიშანი „+“.

[2] ექსცენტრისიტეტის გამოთვლის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ღეროს გაღუნვა. სათანადო მითითებები მოცემულია § 55-ში.

ცხრილებს და გრაფიკებს. ისინი მოცემულია ნორმებში და ცნობარებში, ამიტომ ჩვენ აქ აღარ მოგვყავს (იხ. მაგ. [19, 35, 64]).

4. გაჭიმული ელემენტები

გაჭიმული ელემენტების სიმტკიცეზე შემოწმების დროს გულისხმობენ, რომ ზღვრულ მდგომარეობაში ბეტონი დაბზარულია და გამორიცხულია მუშაობიდან, ამიტომ მთელი გამჭიმავი ძალვა არმატურამ უნდა აიტანოს. ზღვრული გამჭიმავი ძალვა ტოლი იქნება:

$$N = F_a R_a, \tag{45.21}$$

სადაც F_a—არმატურის კვეთის ფართობია, R_a კი—მისი საანგარიშო წინაღობა.

§ 46. რკინაბეტონის ელემენტების კვეთების შემოწმება გამძლეობაზე ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით. კვეთების შემოწმება დასაშვები ძაბვების მეთოდით

გამძლეობაზე შემოწმება, ისევე როგორც სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე შემოწმება, ეკუთვნის I ზღვრულ მდგომარეობას. ტექნიკური პირობების თანახმად გამძლეობაზე შემოწმებას მოითხოვს ბეტონი და გაჭიმული არმატურა; შეკუმშული არმატურისათვის იგი სავალდებულო არ არის.

როგორც § 40-ში იყო აღნიშნული, გამძლეობაზე შემოწმება ტარდება ნორმალური ექსპლოატაციის პირობების გათვალისწინებით. შემოწმების აზრი შემდეგში მდგომარეობს: რკინაბეტონის ელემენტებში უნდა გამოვთვალოთ ძალვები, რომლებიც შეესაბამება ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებს. ამისათვის დრეკადი დატვირთვა უნდა ავიღოთ დინამიკური კოეფიციენტით და დატვირთვის n_2 კოეფიციენტით, სხვა დატვირთვები კი უშუალოდ ნორმატიული სიდიდის, გადატვირთვის კოეფიციენტების გარეშე[1] (იხ. ცხრილი 17). მიღებული N' ძალვების საშუალებით გამოითვლება ფაქტიური ძაბვები ბეტონში და არმატურაში σ'_b და σ'_a; გამძლეობის პირობა მოითხოვს, რომ ეს ძაბვები ნაკლები იყოს, ვიდრე ბეტონის და არმატურის საანგარიშო წინაღობები გამძლეობაზე:

$$\sigma'_b \leq R'_b, \quad \sigma'_a \leq R'_a; \tag{46.1}$$

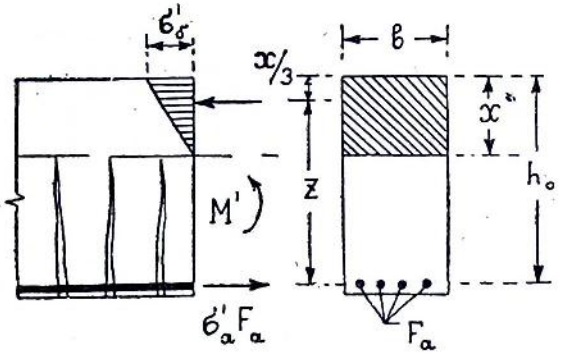
ამ პარაგრაფში ჩვენი მიზანია გავეცნოთ σ'_b და σ'_a ძაბვების გამოსათვლელ ფორმულებს ცნობილი N' ძალვების მიხედვით. თვით საანგარიშო ძალვების გამოთვლა კონკრეტული კონსტრუქციების განხილვის დროს იქნება გაშუქებული. ისევე, როგორც წინა პარაგრაფში, ჩვენ მხოლოდ ძირითად პრაქტიკულ შემთხვევებს შევეხებით.

1. ღუნვადი ელემენტები

§ 44-ში აღნიშნული იყო, რომ რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის გამძლეობაზე გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს მუშაობის მეორე სტადია, რომელიც ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებიდან გამომდინარეობს. სიმარტივისათვის განვიხილავთ სწორკუთხოვან კვეთს ერთმაგი არმატურით.

[1] ტექნიკური პირობების თანახმად მხედველობაში უნდა მივიღოთ მხოლოდ დატვირთვების ძირითადი თანწყობა. დამატებითი ან განსაკუთრებული თანწყობები გამძლეობაზე შემოწმების დროს მხედველობაში არ მიიღება.

კვეთში ძაბვების განაწილების სურათი მოცემულია ნახ. 245-ზე. თანახმად II სტადიის დამახასიათებელი თვისებებისა, ბეტონის მუშაობა გაჭიმულ ზონაში მხედველობაში არ მიიღება ბზარების არსებობის გამო და მთელი გამჭიმავი ძალვა გადაეცემა არმატურას, რომელშიც σ'_a ძაბვა მოქმედებს. მიუხედავად მცირეოდენი სიმრუდისა, მკუმშავი ძაბვების განაწილება ბეტონის შეკუმშული ზონის ფარგლებში სიმარტივისათვის მიღებულია სამკუთხური ეპიურის სახით; მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვა ბეტონის განაპირა ბოჭკოში არის σ'_b.



ნახ. 245. ძაბვების განაწილება რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტის კვეთში, გამძლეობაზე შემოწმების დროს.

ამოცანის დასმა ასეთია: მოცემულია კვეთის ზომები, ძაბვების განაწილების ზემოაღწერილი სურათი და კვეთში მოქმედი მღუნავი მომენტი M', რომელიც ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებს ეთანადება. უნდა ვიპოვოთ ძაბვები ბეტონსა და არმატურაში σ'_b და σ'_a. ადვილი გასაგებია, რომ შეკუმშული ზონის სიმაღლე x აგრეთვე უცნობია, ამიტომ უცნობთა რაოდენობა სჭარბობს სტატიკის წონასწორობის პირობების რიცხვს[1]. სიმტკიცეზე გაანგარიშებისაგან განსხვავებით (იხ. § 45), ეს ამოცანა სტატიკურად **ურკვევია**. მის გადასაწყვეტად უნდა მოვიხმაროთ ე. წ. **ბრტყელი კვეთების კანონი**: იგულისხმება, რომ ყოველი ბრტყელი კვეთი დეფორმაციის შემდეგ ისევ ბრტყელი რჩება. ეს კანონი აკავშირებს ერთმანეთთან განაპირა ბოჭკოების დეფორმაციებს და ნეიტრალური ღერძის მდებარეობას; ჰუკის კანონთან ერთად ის საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ დამატებითი დამოკიდებულება საძიებელ სიდიდეებს შორის და ამოვხსნათ ამოცანა. ფორმულების გამოყვანას ჩვენ არ შეეუდგებით. ეს საკითხი დეტალურადაა განხილული რკინაბეტონის კონსტრუქციების კურსებში (იხ. მაგალითად, [35]). აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ დეფორმაციებიდან ძაბვებზე გადასასვლელად საჭიროა დრეკადობის მოდულების სიდიდე, ამიტომ საანგარიშო ფორმულები შეიცავს არმატურისა და ბეტონის დრეკადობის მოდულების შეფარდებას:

$$n' = \frac{E_a}{E'_b}. \qquad (46.2)$$

[1] კიდევ ერთხელ აღვნიშნავთ, რომ პირობა $\Sigma y = 0$ ავტომატურად დაკმაყოფილდება და არაფერს იძლევა, ამიტომ გვრჩება მხოლოდ წონასწორობის ორი პირობა.

აქ $E_a = 2100000$ კგ/სმ² — არმატურის დრეკადობის მოდულია, ხოლო $E'_ბ$ — ბეტონის დრეკადობის მოდული, დადგენილი დატვირთვის მრავალჯერადი მოქმედების პირობებში, როგორც ეს გაბძლეობის დაკარგვას შეეფერება. უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთ პირობებში ბეტონში თანდათან ვითარდება პლასტიკური დეფორმაციები, ამიტომ $E'_ბ$ სიდიდე, რომელიც ამ დეფორმაციებს ითვალისწინებს, ნაკლებია, ვიდრე დრეკადობის მოდულის ჩვეულებრივი მნიშვნელობები. ადვილი გასაგებია, რომ $E'_ბ$ მოდულის და n' რიცხვის სიდიდე ბეტონის მარკაზე იქნება დამოკიდებული. n'-ს მნიშვნელობები, მოცემული ტექნიკურ პირობებში (ТУПМ-56), მოგვყავს 26-ე ცხრილში.

ცხრილი 26

n' ფარდობის მნიშვნელობები

ბეტონის მარკა	150	200	300	400	500	600
$n'=$	35	30	20	15	15	15

n' ფარდობის საშუალებით, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, შეიძლება გამოვთვალოთ საძიებელი სიდიდეები. მოგვყავს მათი გამოსახულებები ერთმაგი არმატურიანი მართკუთხა კვეთისათვის:

შეკუმშული ზონის სიმაღლე:

$$x = \frac{n'F_a}{b}\left[-1+\sqrt{1+\frac{2bh_0}{n'F_a}}\right]; \tag{46.3}$$

შიგაწყვილძალის მხარი:

$$z = h_0 - \frac{x}{3}; \tag{46.4}$$

ძაბვა არმატურაში:

$$\sigma_a' = \frac{M'}{F_a z} = \frac{M'}{F_a\left(h_0 - \frac{x}{3}\right)}; \tag{46.5}$$

ძაბვა ბეტონში:

$$\sigma'_ბ = \frac{2M'}{bxz} = \frac{2M'}{bx\left(h_0 - \frac{x}{3}\right)}; \tag{46.6}$$

ყველა მოყვანილი აღნიშვნა ნათელია ნახ. 245-დან.

განვიხილოთ ახლა ღუნვადი ელემენტი ტ ე ს ე ბ რ ი ფ ო რ მ ი ს კ ვ ე თ ი თ. იმავე დებულებების საფუძველზე მივიღებთ შემდეგ საანგარიშო ფორმულებს:

შეკუმშული ზონის სიმაღლე:

$$x = -r + \sqrt{r^2 + s}; \tag{46.7}$$

აქ r და s სიდიდეებს შემდეგი მნიშვნელობა აქვს:

$$r = \frac{n'F_a + (b_n - b)h_n}{b};$$

$$s = \frac{2n'F_a h_0 + (b_n - b)h_n^2}{b};$$

შიგაწყვილძალის მხარი:

$$z = h_0 - x + \frac{2}{3}\,\frac{b_n x^3 - (b_n - b)(x - h_n)^3}{b_n x^2 - (b_n - b)(x - h_n)^2}; \tag{46.8}$$

ძაბვა არმატურაში:

$$\sigma_a' = \frac{M'}{F_a z}; \tag{46.9}$$

ძაბვა ბეტონში:

$$\sigma_b' = \sigma_a' \frac{x}{n'(h_0 - x)}; \tag{46.10}$$

აქ ყველა გეომეტრიული ზომების აღნიშვნები მოცემულია ნახ. 243-ზე. n' სიდიდეები ისევ უნდა ავიღოთ 26-ე ცხრილიდან.

ორმაგი არმატურის შემთხვევაში მოყვანილი ფორმულები სათანადოდ რთულდება. მათ ჩვენ აღარ ვეხებით, რადგან ორმაგი არმატურა ღუნვად ელემენტებში არახელსაყრელია და იშვიათად იხმარება. სათანადო ფორმულები უნდა ვეძებოთ ტექნიკურ პირობებში ან სახელმძღვანელოებში [46].

აღსანიშნავია, რომ ღუნვადი ელემენტებისათვის ტექნიკური პირობების თანახმად საჭიროა აგრეთვე დახრილი კვეთების და ირიბი არმატურის შემოწმება გამძლეობაზე. სათანადო მითითებები მოყვანილი იქნება შემდეგ თავში.

2. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტები

ცენტრალური კუმშვის დროს საჭიროა ბეტონის გამძლეობის შემოწმება. აღვნიშნოთ ელემენტში მოქმედი ღერძული მკუმშავი ძალა N'-ით, კვეთის ბეტონის ფართობი F_b-თი, არმატურისა კი F_a-თი. ბრტყელი კვეთების კანონის საფუძველზე ძაბვა ბეტონში გამოითვლება ასეთი ფორმულით:

$$\sigma_b' = \frac{N'}{F_b + n' F_a}. \tag{46.11}$$

გამძლეობისათვის აუცილებელია, რომ ეს ძაბვა ნაკლები იყოს ბეტონის გამძლეობაზე წინაღობისა:

$$\sigma_b' \leq R_b'.$$

შეკუმშული არმატურის შემოწმება, როგორც იყო აღნიშნული, საჭირო არ არის.

3. ექსცენტრულად შეკუმშული ელემენტები

ამ შემთხვევაში საჭიროა შეკუმშული ბეტონის და გაჭიმული არმატურის გამძლეობის შემოწმება. გამძლეობის ზოგადი პირობები ცხადია ისევ (46.1) უტოლობებით გამოისახება. ამ პირობების გამოსაყენებლად უნდა ვიცოდეთ ძაბვების გამოსათვლელი ფორმულები. ეს ფორმულები შეიძლება მივიღოთ იმავე საფუძველზე, როგორც ღუნვის დროს (ბრტყელი კვეთების კანონი, ძაბვების სამკუთხური ეპიურა, მოდულების ფარდობა n'). ზოგად შემთხვევაში მათ ასეთი სახე აქვს:

$$\sigma_a' = \frac{N'}{F_0} + \frac{M'}{J_0} x; \tag{46.12}$$

$$\sigma_b' = \frac{N'}{F_0} - \frac{M'}{J_0}(h_0 - x); \tag{46.13}$$

აქ N', M' — ელემენტზე მოქმედი ნორმალური ძალა და მღუნავი მომენტია, h_0—მუშა სიმაღლე, x—შეკუმშული ზონის სიმაღლე, F'_0 და J_0—კვეთის დაყვანილი ფართობი და დაყვანილი ინერციის მომენტი (არმატურის გათვალისწინებით).

(46.12) და (46.13) ფორმულების კერძო შემთხვევები ჩვენ არ მოგვყავს— მათი სახე დამოკიდებულია კვეთის ფორმაზე და ისინი მოცემულია სახელმძღვანელოებში [46]. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ გამძლეობის შემოწმების დროს მიზანშეწონილია დამხმარე ცხრილების და გრაფიკების გამოყენება.

კვეთების შემოწმება დასაშვები ძაბვების მეთოდით

აქამდე ჩვენ ვიხილავდით შემოწმებას ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით გაანგარიშების დროს. გავეცნოთ ახლა დასაშვები ძაბვების მეთოდს. როგორც უკვე იყო აღნიშნული, დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშების დროს საჭიროა მხოლოდ შემოწმება სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე; დასაშვები ძაბვების სიდიდე ითვალისწინებს მოღლილობის გავლენას, ამიტომ გამძლეობაზე ცალკე შემოწმება საჭირო არ არის.

სიმტკიცეზე ან მდგრადობაზე შემოწმების აზრი იმაში მდგომარეობს, რომ ძაბვები ბეტონსა და არმატურაში, გამოთვლილი ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებში, ნაკლები უნდა იყოს სათანადო დასაშვებ ძაბვებზე:

$$\sigma_b \leq [\sigma_b]; \quad \sigma_a \leq [\sigma_a]. \tag{46.14}$$

შემოწმების მიმდევრობა ასეთია: ანგარიში წარმოებს უშუალოდ ნორმატიული დატვირთვების მიხედვით, რომლებიც მოცემული იყო წიგნის პირველ ნაწილში; დროებითი შეუღლი დატვირთვისათვის მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რასაკვირველია, დინამიკური კოეფიციენტი. ამ დატვირთვების მიხედვით გამოითვლება ძალვები ელემენტებში, რაც მათი საანგარიშო სქემის მიხედვით ხდება (იხ. შემდეგი თავები). ძალვების საშუალებით უნდა გამოითვალოს ფაქტიური ძაბვები ბეტონსა და არმატურაში σ_b და σ_a. აქ ჩვენ სწორედ ეს საკითხი უნდა გავაშუქოთ.

ვინაიდან σ_b და σ_a ძაბვების სიდიდე ეთანადება ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებს, მათ გამოთვლას საფუძვლად უნდა დაედოს ელემენტების მუშაობის II სტადია. ამიტომ ძაბვების განაწილების სურათი ისეთივე იქნება, როგორც ზემოთ იყო აღწერილი გამძლეობის შემოწმების დროს. ამოცანის გადასაწყვეტად აქაც აუცილებელია გამოვიყენოთ ბრტყელი კვეთების კანონი და დავუშვათ პროპორციულობა დეფორმაციებსა და ძაბვებს შორის (ჰუკის კანონი). ამრიგად, ძაბვების საანგარიშო ფორმულებს საფუძვლად უდევს ზუსტად ისეთივე წინაპირობები, როგორც ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით გამძლეობაზე შემოწმების ფორმულებს; ცხადია, რომ ფორმულების სახეც იგივე გამოვა. განსხვავება მხოლოდ შემდეგშია: გამძლეობის შემოწმების დროს მოდულების ფარდობა $n' = \frac{E_a}{E'_b}$ გამოთვლილი იყო დატვირთვის მრავალჯერადი მოქმედებისათვის, რაც ბეტონში პლასტიკურ დეფორმაციებს იწვევს და E'_b სიდიდეს ამცირებს. დასაშვები ძაბვების მეთოდი გამომდინარეობს დატვირთვის ერთჯერადი მოქმედებიდან. ასეთ პირობებში ბეტონის პლასტიკური დეფორმაციები ნაკლებია და მისი დრეკადობის მოდული E_b

მეტი სიდიდისაა. ამიტომ საანგარიშო ფორმულებში n' ფარდობის ნაცვლად უნდა შევიტანოთ ფარდობა:

$$n = \frac{E_a}{E_b}. \qquad (46.15)$$

ცხადია, რომ სიდიდით n ნაკლებია, ვიდრე n'. ძველი ტექნიკური პირობებით (ТУПМ-47) მოცემული n ფარდობის სიდიდეები მოყვანილია 27-ე ცხრილში.

ცხრილი 27

n ფარდობების მნიშვნელობები

ბეტონის მარკა	140—170	200—350
$n=$	15	10

ამგვარად, საბოლოოდ შემდეგ დასკვნამდე მივდივართ: დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშების დროს ფაქტიური ძაბვების გამოსათვლელად უნდა ვიხმაროთ ყველა ის ფორმულა, რომლებიც ამ პარაგრაფში იყო მოყვანილი, მხოლოდ n' სიდიდეები უნდა შევცვალოთ n სიდიდეებით, 27-ე ცხრილის მიხედვით. უნდა გვახსოვდეს, რომ ამ ფორმულებს კ ლ ა ს ი კ ურ ი თ ე ო რ ი ი ს ფორმულები ეწოდება.

ფაქტიური σ_a და σ_b ძაბვების გამოთვლის შემდეგ კვეთის შემოწმება სიძნელეს აღარ წარმოადგენს—იგი წარმოებს (46.14) პირობების მიხედვით. დასაშვები ძაბვების სიდიდეები მოცემულია IV დანართში.

თავი XI

კოჭური და ჩარჩოვანი ხიდების მალის ნაშენების გაანგარიშება

§ 47. ზოგადი მითითებები. საბალასტო გობის ფილის გაანგარიშება

კოჭური და ჩარჩოვანი ხიდების გაანგარიშების მეთოდებს ბევრი რამ საერთო აქვს, ამიტომ მათ ერთად გავარჩევთ.

კოჭური ხიდების საანგარიშო კონსტრუქციულ ელემენტებს წარმოადგენს საბალასტო გობის ფილა, მთავარი კოჭები, საყრდენი ნაწილები და ბურჯები დიაფრაგმები ჩვეულებრივ კონსტრუქციულად არმირდება.

ყოველი ელემენტის გაანგარიშების დროს საჭიროა ოთხი ძირითადი ოპერაციის ჩატარება: საანგარიშო სქემის დადგენა, დატვირთვების გამოთვლა, ძალვების გაანგარიშება და კვეთების შერჩევა-შემოწმება. ელემენტების კვეთების ზომები ხიდების დაპროექტების დროს არის ხოლმე დადგენილი. ამიტომ უმეტეს შემთხვევაში საჭირო ხდება წინასწარ ცნობილი კვეთის არმირების გაანგარიშება და მისი ზომების შემოწმება. ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება მოხდეს, რომ წინასწარ დანიშნული ზომები არ აკმაყოფილებს სიმტკიცის, გამძლეობის ან სხვა რაიმე პირობას; მაშინ საჭირო ხდება კვეთის ზომების შეცვლა და დაზუსტება, ეს კი მუდმივი დატვირთვის შეცვლას გამოიწვევს; სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებში შესაძლებელია ძალვების გადანაწილებაც მოხდეს. თუ ეს ცვლილებები მნიშვნელოვანია, საჭირო ხდება გაანგარიშების თავიდან ჩატარება. წინააღმდეგ შემთხვევაში საკმარისია დავკმაყოფილდეთ კვეთის ხელახალი შემოწმებით ახალი, დაზუსტებული ზომების მიხედვით.

კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშება სჯობს იმ მიმდევრობით ვაწარმოოთ, როგორც მათ მიერ ერთმანეთზე დატვირთვის გადაცემა ხდება. ამ თვალსაზრისით კოჭური მალის ნაშენის პირველ საანგარიშო ელემენტს წარმოადგენს საბალასტო გობის ფილა, რომელიც უშუალოდ იღებს თავის თავზე დროებით დატვირთვას და გადასცემს მას მთავარ კოჭებს. ამიტომ ჩვენ ვიწყებთ საბალასტო გობის ფილის გაანგარიშებით.

პირველ რიგში განვიხილოთ გაანგარიშება ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით. რკინიგზის კოჭოვანი ხიდის ტიპიური განივკვეთი ნაჩვენებია ნახ. 246, ა-ზე. საბალასტო გობის ფილა ეყრდნობა მთავარ კოჭებს და დიაფრაგმებს, მაგრამ დიაფრაგმებს შორის მანძილი, როგორც წესი, მთავარ კოჭებს შორის მანძილზე გაცილებით მეტია. ამიტომ ფილა მუშაობს ღუნვაზე ხიდის განივად. ფილა ჩამაგრებულია მთავარ კოჭებში; მისი ჩაღუნვის დროს კოჭებს ნაწილობრივ მობრუნება შეუძლიათ, ამიტომ ჩამაგრება არაა საკმაოდ ხისტი. ნორმების თანახმად ფილის შუა ნაწილის საანგარიშო

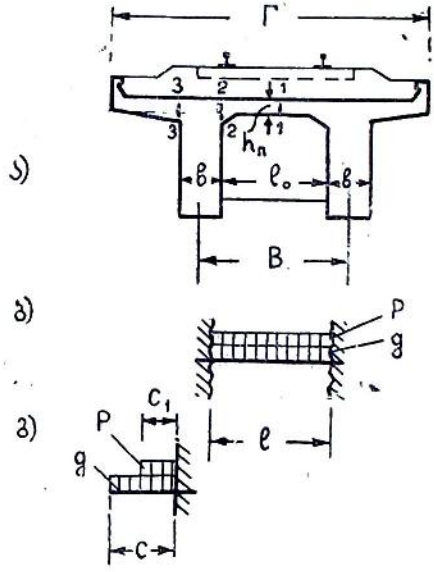
სქემა მიიღება ორმხრივ ნაწილობრივჩამაგრებული კოჭის სახით (ნახ. 246, ბ). საანგარიშო მალის მისაღებად სინათლეში მალს უმატებენ ფილის სისქეს:

$$l=l_0+h_n=B-b+h_n.$$

ფილის განაპირა უბნებისათვის საანგარიშო სქემა წარმოადგენს ცალი ბოლოთი ჩამაგრებულ კოჭს (ნახ. 246, გ). საანგარიშო მალი ითვლება მთავარი კოჭის წახნაგამდე:

$$c=\frac{\Gamma-(B+b)}{2}.$$

გადავიდეთ გაანგარიშების მეორე ოპერაციაზე—გამოვთვალოთ საანგარიშო დატვირთვები. ფილაზე მოქმედებს მხოლოდ მუდმივი და დროებითი შვეული დატვირთვა. ამიტომ საკმარისია დატვირთვების ერთი, ძირითადი თანწყობის განხილვა, რომელშიც აღნიშნული ორი დატვირთვა შევა. ფილის შემოწმება ჩაღუნვაზე ან ბზარების წარმოქმნაზე ჩვეულებრივ საჭირო არ არის—საკმარისია მხოლოდ I ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშება.



ნახ. 246. რკინიგზის ხიდის განივკვეთი და ფილის საანგარიშო სქემები.

დავიწყოთ ფილის შუა ნაწილიდან. აქ მუდმივი დატვირთვა თანაბარგანაწილებულ ტვირთს წარმოადგენს. იგი ფილის საკუთარი წონისა და ბალასტის ფენის წონისაგან შედგება. ამ დატვირთვების ნორმატიული ინტენსივობა ფილის გრძივ მეტრზე ტოლია:

ფილის წონა: $g_1^{\text{н}}=\gamma h_n$;

ბალასტის ფენის წონა: $g_2^{\text{н}}=\gamma_ბ h_ბ$;

სრული ნორმატიული მუდმივი დატვირთვა:

$$g^{\text{н}}=g_1^{\text{н}}+g_2^{\text{н}}=\gamma h_n+\gamma_ბ h_ბ;$$

აქ h_n და $h_ბ$ ფილისა და ბალასტის ფენის სისქეა, γ და $\gamma_ბ$—რკინაბეტონისა და ბალასტის მოცულობითი წონაა. მოცულობითი წონების ნორმატიული სიდიდეები მოცემული იყო წიგნის I ნაწილში (დანართი II).

საანგარიშო ინტენსივობის გამოსათვლელად მიღებული სიდიდეები უნდა გავამრავლოთ სათანადო გადატვირთვის კოეფიციენტებზე. § 41-ში მოცემული იყო: გადატვირთვის კოეფიციენტი საკუთარი წონისათვის $n=1{,}10$, ბალასტის ფენისათვის $n=1{,}30$. ამიტომ გვექნება:

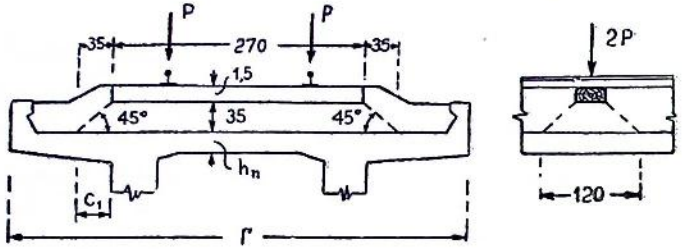
$$g_1=ng_1^{\text{н}}=1{,}10\ \gamma h_n;$$

$$g_2=ng_2^{\text{н}}=1{,}30\ \gamma_ბ h_ბ;$$

სრული მუდმივი საანგარიშო დატვირთვა:

$$g = 1{,}10\gamma h_n + 1{,}30\,\gamma_в h_в.$$

დროებითი შეყულო დატვირთვა ფილაზე მოქმედებს მოძრავი შემადგენლობის ღერძის—ორი შეყურსული ტვირთის სახით (ნახ. 247). მაქსიმალური დაწოლა ორთქლმავლის ღერძზე, როგორც ვიცით, ტოლია: $2P = 3{,}5\,K$, სადაც K—დროებითი დატვირთვის მოცემული კლასია. შპალი



ნახ. 247. დროებითი დატვირთვის განაწილება ფილის ზედაპირზე.

და ბალასტის ფენა ამ შეყურსულ ტვირთს ანაწილებს ფილის ზედაპირზე. ნორმები უშვებენ, რომ განაწილება თანაბარია. განაწილების სქემა მოყვანილია ნახ. 247-ზე. მის მიხედვით შეიძლება გამოვთვალოთ დროებითი თანაბარ-განაწილებული დატვირთვის ინტენსივობის ნორმატიული მნიშვნელობა:

$$p^{\text{н}} = \frac{2P}{(2{,}70 + 2\times 0{,}35)1{,}20} = \frac{3{,}5\,K}{3{,}40\times 1{,}20} = 0{,}875K \text{ ტ/მ}^2.$$

საანგარიშო ინტენსივობის გამოსათვლელად წინასწარ უნდა დავადგინოთ საანგარიშო კოეფიციენტების სიდიდე. ამისათვის მივმართოთ მე-14 ცხრილს (იხ. § 41). ამ ცხრილში საანგარიშო მალად უნდა მივიღოთ მალის ნაშენის საანგარიშო მალი[1], დატვირთულ უბნის სიგრძედ კი—ფილის საანგარიშო მალი; ამის მიხედვით ცხრილიდან ამოვიღებთ დატვირთვის n_1 და n_2 კოეფიციენტებს. დინამიკური კოეფიციენტი გამოითვლება (41.5) ფორმულით, სადაც l-ს მაგიერ უნდა ჩავსვათ ფილის საანგარიშო მალი. ამის შემდეგ მე-17 ცხრილის დახმარებით შეიძლება გამოვთვალოთ დროებითი დატვირთვის საანგარიშო ინტენსივობა; ცხრილის თანახმად მისი სიდიდე იქნება:

სიმტკიცის შემოწმების დროს:

$$p = n_1(1+\mu)p^{\text{н}}.$$

გამძლეობის შემოწმების დროს:

$$p' = n_2(1+\mu)p^{\text{н}}.$$

ფილის განაპირა უბნებზე მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ, რომ მუდმივ დატვირთვას იგივე საანგარიშო ინტენსივობა აქვს. დროებით დატვირთვასაც იგივე ინტენსივობა აქვს, მხოლოდ იგი განაწილებულია კონსოლის c_1 სიგრძეზე (ნახ. 247). ეს სიგრძე ტოლია:

$$c_1 = \frac{3{,}40 - (B+b)}{2}.$$

[1] უპრი ან კონსოლური მალის ნაშენის შემთხვევაში აქ უნდა ვიგულისხმოთ უდიდესი საანგარიშო მალი.

დატვირთვების სქემა მოცემულია 246,ბ და 246,გ ნახაზებზე.

ახლა შეიძლება ჩავატაროთ მესამე ოპერაცია—**საანგარიშო ძალვების გამოთვლა**. ფილის კვეთის შესარჩევად საკმარისია ვიპოვოთ მღუნავი მომენტები ფილის შუა კვეთში, საყრდენზე და კონსოლის ჩამაგრების კვეთში (კვეთები 1, 2, 3), გადამჭრელი ძალები კი საყრდენზე და ჩამაგრების კვეთში. მომენტები უნდა გამოითვალოს როგორც სიმტკიცის, ისე გამძლეობის შესამოწმებლად, გადამჭრელი ძალვები კი მხოლოდ გამძლეობის შესამოწმებლად, რადგან ტექნიკური პირობების თანახმად დახრილი კვეთების და ირიბი არმატურის სიმტკიცეზე შემოწმება სავალდებულო არ არის.

ფილის შუა უბნის საყრდენების ჩამაგრების ხარისხი ზუსტად ცნობილი არ არის. ამიტომ ნორმები ნებას გვაძლევს გამოვთვალოთ მალის მომენტი M_1 და საყრდენი მომენტი M_2 მიახლოებითი ფორმულების საშუალებით:

$$\left.\begin{aligned} M_1 &= 0{,}5\ M_0; \\ M_2 &= -0{,}7\ M_0, \end{aligned}\right\} \tag{47.1}$$

სადაც M_0—თავისუფლად მდებარე კოჭის მაქსიმალური მომენტია. ამის მიხედვით ადვილად გამოითვლება მაქსიმალური საანგარიშო მომენტები ფილის შუა უბნისათვის (იხ. ნახ. 246, ბ):

სიმტკიცეზე შემოწმებისათვის:

$$\max M_1 = 0{,}5\,\frac{(g+p)l^2}{8}, \tag{47.2}$$

$$\max M_2 = -0{,}7\,\frac{(g+p)l^2}{8}; \tag{47.3}$$

გამძლეობაზე შემოწმებისათვის:

$$\max M_1' = 0{,}5\,\frac{(g^{\text{H}}+p')l^2}{8}, \tag{47.4}$$

$$\max M'_2 = -0{,}7\,\frac{(g^{\text{H}}+p')l^2}{8}. \tag{47.5}$$

გადამჭრელი მალის მაქსიმალური საანგარიშო მნიშვნელობა 2 კვეთისათვის (გამძლეობაზე შემოწმებისათვის):

$$\max Q'_2 = \frac{(g^{\text{H}}+p')l}{2}. \tag{47.6}$$

ფილის განაპირა უბნისათვის ძალვები ადვილად გამოითვლება უშუალოდ, ნახ. 246, გ სქემის მიხედვით.

მაქსიმალური საანგარიშო მომენტები და გადამჭრელი ძალა ჩამაგრების კვეთში:

სიმტკიცეზე შემოწმებისათვის:

$$\max M_3 = -\left(\frac{gc^2}{2}+\frac{pc_1^2}{2}\right); \tag{47.7}$$

გამძლეობაზე შემოწმებისათვის:

$$\max M_3' = -\left(\frac{g^{\text{H}}c^2}{2}+\frac{p'c_1^2}{2}\right); \tag{47.8}$$

$$\max Q'_3 = g^{\text{H}}c + p'c_1. \tag{47.9}$$

გამძლეობის შესამოწმებლად ჩვენ დაგვჭირდება ძაბვების ცვალებადობის ფარგლების გამორკვევა. ამისათვის უნდა ვიპოვოთ M' და Q' ძალვების მინიმალური მნიშვნელობები. ცხადია, რომ მათ მივიღებთ მხოლოდ მუდმივი დატვირთვის მოქმედების დროს:

$$\left.\begin{aligned}
&\min M'_1 = 0{,}5\frac{g^{H} l^2}{8};\\
&\min M_2' = -0{,}7\frac{g^{H} l^2}{8};\\
&\min Q'_2 = \frac{g^{H} l}{2};\\
&\min M_3' = -\frac{g^{H} c^2}{2};\\
&\min Q'_3 = g^{H} c.
\end{aligned}\right\} \qquad (47.10)$$

ამით მთავრდება ძალვების გამოთვლა. დაგვრჩა უკანასკნელი ოპერაცია— კვეთების შერჩევა და შემოწმება. დავიწყოთ ფილის შუა კვეთიდან (კვეთი 1). წინასწარ უნდა დავნიშნოთ ბეტონისა და არმატურის მარკა[1], ამოვიწეროთ სათანადო საანგარიშო წინაღობები. საანგარიშო წინაღობები სიმტკიცეზე R_u, R_a უშუალოდ შეიძლება ავიღოთ 18 და 22 ცხრილებიდან. გამძლეობის წინაღობის გამოსარკვევად უნდა ვიცოდეთ დატვირთვის ციკლის ამპლიტუდა $\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ (იხ. § 43). საკმარისი სიზუსტით შეიძლება მივიღოთ, რომ მინიმალური და მაქსიმალური ძაბვები ფილის კვეთში პროპორციულია ძალვების სათანადო მნიშვნელობებისა. ამიტომ ρ შეიძლება ვიპოვოთ შემდეგნაირად:

$$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{\min M'}{\max M'}.$$

ρ-ს მნიშვნელობების მიხედვით 19, 20, 22, 23 ცხრილებიდან ავიღებთ საანგარიშო R'_u და R_a' წინაღობებს. ამის შემდეგ შეიძლება გადავიდეთ უშუალოდ კვეთის შერჩევაზე. ამოცანა ისმება ასე: კვეთის სრული სიმაღლე h_n წინასწარ დანიშნულია; საჭიროა შევარჩიოთ არმატურის ფართობი და შევამოწმოთ სიმტკიცისა და გამძლეობის პირობები. ფილის საანგარიშო კვეთი მართკუთხაა (ნახ. 248), მისი საანგარიშო სიგანე ერთი მეტრის ტოლია ($b = 100$ სმ). უნდა გამოვიყენოთ §§ 45,46-ში მოყვანილი ფორმულები. არმატურის ფართობის შესარჩევად ჩვეულებრივ იქცევიან ასე: დამცველი შრე ფილებში უნდა იყოს 2 სმ, ამიტომ ფილის მუშა სიმაღლისათვის დაახლოებით გვექნება (ნახ. 248):

$$h_0 = h_n - a - \frac{\varnothing}{2} \approx h_n - 3 \text{ სმ}.$$

შიგაწყვილძალის მხარი დაახლოებით ტოლია:

$$z = (0{,}8 \div 0{,}9)\, h_0.$$

ამ სიდიდის მიხედვით შეიძლება მიახლოებით ვიპოვოთ არმატურის ფართობის საჭირო მნიშვნელობა:

[1] მითითებები ბეტონისა და არმატურის მარკის დანიშვნის შესახებ მოყვანილია § 3-ში.

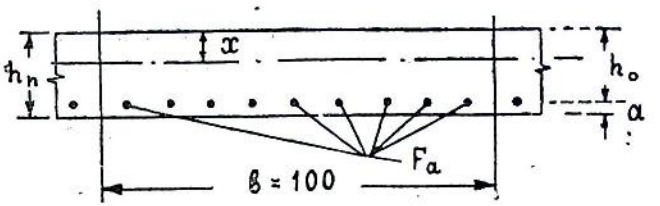
სიმტკიცის პირობიდან (იხ. ფორმულა 45.9)

$$F_a = \frac{\max M_1}{R'_a z};$$

გამძლეობის პირობიდან (იხ. ფორმულა 46.5)

$$F_a = \frac{\max M'_1}{R'_a z}.$$

ამ ორი სიდიდიდან ცხადია უნდა ავიღოთ უდიდესი. F_a-ს მიხედვით საჭიროა შემოწმდეს დაკმაყოფილებულია თუ არა (45,11) პირობა. უარყოფით შემთხვევაში კვეთი უნდა შეიცვალოს; დადებით შემთხვევაში შეიძლება შევა-



ნახ. 248. ფილის საანგარიშო კვეთი მალის შუაში.

მოწმოთ სიმტკიცის და გამძლეობის პირობები. ამისათვის არმატურის ფართობის მიღებული F_a სიდიდე უნდა გავანაწილოთ ღეროებზე. ტექნიკური პირობების თანახმად ფილის სიგანის ერთ მეტრზე უნდა იყოს 6-14 ღერო. ღეროების მინიმალური დიამეტრია 10 მმ. ამ პირობების მიხედვით შეიძლება შევარჩიოთ ღეროების დიამეტრი და რიცხვი და გამოვარკვიოთ არმატურის ფაქტიური ფართობი F_a (იგი შეიძლება ცოტათი განსხვავდებოდეს ანგარიშით მიღებულისაგან). ღეროს დიამეტრის მიხედვით შეიძლება დავადგინოთ მუშა სიმაღლის ფაქტიური სიდიდე:

$$h_0 = h_n - 2 - \frac{\varnothing}{2}.$$

ამის შემდეგ შეიძლება კვეთის შემოწმება. მისი მიმდევრობა ასეთია: სიმტკიცის შემოწმება: (45,7), (45,8), (45,9) ფორმულებით გამოითვლება შეკუმშული ზონის სიმაღლე x, შიგაწყვილძალის ფაქტიური მხარი z და კვეთის ზიდვის უნარი $\overline{M}$. სიმტკიცისათვის დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$\overline{M} \geqslant \max M_1.$$

გამძლეობის შემოწმება. ბეტონის მარკის მიხედვით 26-ე ცხრილიდან აიღება n' სიდიდე; (46,3)—(46,6) ფორმულებით გამოითვლება ძაბვები არმატურასა და ბეტონში σ'_a და σ'_b, მომენტის $\max M'_1$ მნიშვნელობისათვის. გამძლეობისათვის დაცული უნდა იყოს პირობები:

$$\sigma'_a \leqslant R'_a,$$
$$\sigma'_b \leqslant R'_u.$$

განვიხილოთ ახლა ფილის საყრდენი კვეთის შერჩევა და შემოწმება (კვეთი 2). აქ არსებობს ერთგვარი თავისებურება, რომელიც

შემდეგში მდგომარეობს: საყრდენ კვეთში გარდა მღუნავი მომენტისა მოქმედებს გადამჭრელი ძალა Q'_2. იგი წარმოშობს მთავარ გამჭიმავ ძაბვებს, რომელთა სიდიდე, როგორც ცნობილია, გამოისახება ფორმულით:

$$\tau = \frac{Q'}{bz},$$

სადაც b კვეთის სიგანეა და z — შიგაწყვილძალის მხარი.

მხები ძაბვების მნიშვნელოვანი სიდიდის დროს საჭირო ხდება აღუნული (ირიბი) არმატურის დადგმა. ფილებში ეს მიზანშეწონილი არ არის: უმჯობესია ვუტის მოწყობით გავზარდოთ ფილის სიმაღლე საყრდენ კვეთში ისე, რომ ირიბი ღეროები აღარ დაგვჭირდეს (ნახ. 249). ამ პირობიდან წინასწარ უნდა დაინიშნოს ფილის სიმაღლე საყრდენ კვეთში h'_n: ტექნიკური პირობების თანახმად, როგორც ვთქვით, დახრილი კვეთების სიმტკიცის და ირიბი არმატურის გაანგარიშება ხდება მხოლოდ გამძლეობაზე. მოვიქცეთ ასე: გამოვთვალოთ დატვირთვის ციკლის ამპლიტუდა მხები ძაბვების ცვალებადობისათვის:

$$\rho = \frac{\min Q'_2}{\max Q'_2}.$$

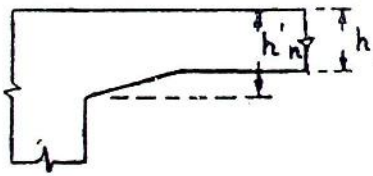
ამის მიხედვით 19 და 20 ცხრილებიდან შეიძლება ამოვიღოთ მთავარი ძაბვის R'_p სიდიდე, რომლის დროსაც არაა საჭირო აღუნული ღეროების და საკიდების დადგმა. დავსვათ პირობა, რომ უდიდესი გადამჭრელი ძალის მოქმედებისას ფაქტიური მხები ძაბვა τ არ აღემატებოდეს R_p'-ს:

$$\tau = \frac{\max Q'_2}{bz} \leqslant R'_p.$$

აქედან მივიღებთ შიგაწყვილძალის მხარის საჭირო სიდიდეს:

$$z = \frac{\max Q'_2}{bR'_p}.$$

თუ ისევ დავუშვებთ, რომ დაახლოებით $z = (0{,}8 — 0{,}9)h_0$, შეიძლება ვიპოვოთ მუშა სიმაღლე h_0' და ფილის სრული სიმაღლე h'_n საყრდენ კვეთში. ამის შემდეგ საყრდენი კვეთის გაანგარიშება მოხდება იმავე წესით, როგორც ზემოთ იყო მოყვანილი შუა კვეთისათვის.



ნახ. 249. ვუტის მოწყობა ფილის საყრდენ კვეთში.

ამავე მიმდევრობით ხდება ფილის კონსოლური ნაწილის ჩამაგრების კვეთის შემოწმება (კვეთი 3).

კვეთების შემოწმებისათვის ჩვენ ზემოთ უშუალოდ ვსარგებლობდით §§ 45, 46-ში მოყვანილი საანგარიშო ფორმულებით. ცხადია, რომ ამავე მიზნით შეიძლება დამხმარე საანგარიშო ცხრილების გამოყენებაც.

მოკლედ განვიხილოთ ახლა ფილის გაანგარიშება დასაშვები ძაბვების მეთოდით (ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად). აქ საკითხი გაცილებით მარტივად წყდება: გაანგარიშებაში შედის უშუალოდ ნორმატიული დატვირთვები. მათი სიდიდე ტოლია:

მუდმივი დატვირთვა: $g=\gamma h_n+\gamma_ბ \cdot h_ბ$;

დროებითი დატვირთვა: $p=0{,}875\ K(1+\mu)$.

ფორმულა დინამიკური კოეფიციენტის გამოსათვლელად უნდა მივიღოთ ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად:

$$1+\mu=1+\frac{12}{20+\lambda}.$$

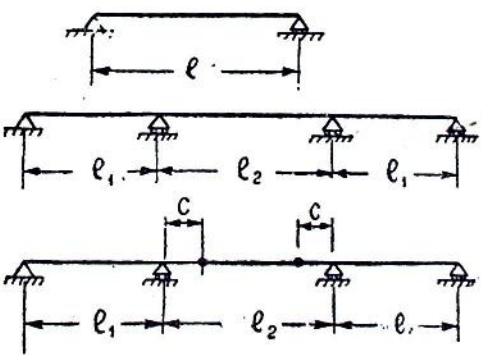
g და p დატვირთვების მიხედვით ზემომოყვანილი (47,2), (47,3), (47,6), (47,7), (47,9) ფორმულების თანახმად გამოითვლება საანგარიშო ძალვები. მათი მიხედვით ხდება კვეთების შერჩევა. შემოწმება უნდა ჩატარდეს მხოლოდ ერთხელ, დასაშვები ძაბვების მიხედვით. შემოწმების მიმდევრობა ზუსტად ისეთია, როგორც ზემოთ იყო მოყვანილი გაძლეობის შემოწმებისათვის. ძირითადი მითითებები ამ საკითხში მოყვანილი იყო § 47-ში.

§ 48. მთავარი კოჭების გაანგარიშება პირველი ზღვრული მდგომარეობით. საანგარიშო ძალვების გამოთვლა

1. გაანგარიშება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

მთავარი კოჭების საანგარიშო სქემა ადვილი დასადგენია მათი მუშაობის ფაქტიური პირობების მიხედვით. ნახ. 250-ზე ნაჩვენებია ჭრილი, უჭრი და კონსოლური მალის ნაშენის მთავარი კოჭების საანგარიშო სქემები. საანგარიშო მალად მიიღება მანძილი საყრდენი ნაწილების ცენტრებს შორის. უმეტეს შემთხვევაში დასაშვებია ვიგულისხმოთ, რომ კოჭს მუდმივი სიხისტე აქვს. მხოლოდ მეტად მძლავრი ეუტების შემთხვევაში, ან სიმაღლის მკვეთრი ცვალებადობის დროს საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ კოჭის ცვალებადი სიხისტე.

კოჭზე მოქმედი დატვირთვები მუდმივი და დროებითი შეეული დატვირთვისაგან შედგება. მუდმივი დატვირთვა—მალის ნაშენის ელემენტების წონა—ადვილად გამოითვლება ელემენტების წინასწარდანიშნული ზომების მიხედვით; მის შემადგენლობაში შედის: რკინაბეტონის კონსტრუქციების წონა (ფილა, მთავარი კოჭები, დიაფრაგმები), ბალასტის წონა და მოაჯირების წონა. უმეტეს შემთხვევაში მთლიანი მუდმივი დატვირთვა შეიძლება წარმოვადგინოთ თანაბარგანაწილებული ტვირთის სახით, ამიტომ ადგილობრივი ელემენტების (მაგალითად, დიაფრაგმების) წონას ანაწილებენ კოჭის მთელ სიგრძეზე. მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევაში, როდესაც მუდმივი დატვირთვის უთანაბრობა 15%-ზე მეტია, საჭიროა გაანგარიშება ეაწარმოოთ მისი ფაქტიური განაწი-



ნახ. 250. მთავარი კოჭების საანგარიშო სქემები.

ლების მიხედვით (ეს შეიძლება იყოს არათანაბარი სიმაღლის კოჭებში, როდესაც საყრდენი კვეთების სიმაღლე გაცილებით მეტია, ვიდრე შუა კვეთებისა).

დროებითი შეუღლი დატვირთვა მოძრავი შემადგენლობისაგან მიიღება ეკვივალენტური დატვირთვების სახით. მათი გამოთვლა ქვემოთაა გაშუქებული.

მთავარი კოჭისათვის საანგარიშო ძალები მღუნავი მომენტები და გადამჭრელი ძალებია; საყრდენი ნაწილებისა და ბურჯების გაანგარიშებისათვის საჭიროა აგრეთვე საყრდენი რეაქციების გამოთვლა. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ კოჭის გასაანგარიშებლად საკმარისია ვიპოვოთ მღუნავი მომენტების სიდიდე ყოველი მალის შუაში, მეოთხედებში და საყრდენებზე, გადამჭრელი ძალების სიდიდე კი მალის შუაში და საყრდენებზე (საყრდენი კვეთის მარცხნივ და მარჯვნივ). ამ კვეთებს საანგარიშო კვეთები ეწოდება.

ძალვების სიდიდე საანგარიშო კვეთებში გამოითვლება გავლენის ხაზების მეშვეობით. ყოველი საანგარიშო ძალვისათვის საჭიროა ავაგოთ გავლენის ხაზი და გამოვთვალოთ მისი უბნების სიგრძე და ფართობი; ამის შემდეგ გავლენის ხაზი უნდა დაიტვირთოს მუდმივი და დროებითი დატვირთვით არახელსაყრელ მდგომარეობაში. გავლენის ხაზების აგებისა და დატვირთვის წესი დამოკიდებულია მთავარი კოჭის სქემაზე, ამიტომ ჯერ განვიხილოთ ერთმალიანი კოჭი, შემდეგ კი უჭრი კოჭი რამდენიმე მალით.

ძალვების გამოთვლა ჰრილი მალის ნაშენის მთავარი კოჭისთვის

მთავარი კოჭის საანგარიშო სქემა ერთმალიან თავისუფლად მდებარე კოჭს წარმოადგენს. გავლენის ხაზები აქ უშუალოდ აიგება ელემენტარული წესით. მათი სახე მოყვანილია ნახ. 251-ზე. იქვე მოცემულია მათი ფართობების აღნიშვნები.

მუდმივი დატვირთვებისათვის შემოვიღოთ აღნიშვნები: მთავარი კოჭის, ფილის, დიაფრაგმების და მოაჯირის ჯამური წონის ნორმატიული ინტენსივობა კოჭის გრძივ მეტრზე—g_1^{H}, ბალასტის—g_2^{H} (იგულისხმება, რომ ეს სიდიდეები გამოთვლილია ერთი კოჭისათვის). მაშინ სრული მუდმივი ნორმატიული დატვირთვის ინტენსივობა იქნება:

$$g^{\text{H}}=g_1^{\text{H}}+g_2^{\text{H}}; \tag{48.1}$$

საანგარიშო ინტენსივობის მისაღებად ნორმატიული სიდიდეები უნდა გამრავლდეს გადატვირთვის კოეფიციენტებზე: კოჭის, ფილის და მოაჯირის წონისათვის $n=1,10$ და ბალასტის წონისათვის $n=1,30$. ამიტომ სრული მუდმივი დატვირთვის საანგარიშო ინტენსივობა ტოლია:

$$g=1,10g_1^{\text{H}}+1,30g_2^{\text{H}}. \tag{48.2}$$

დროებითი ეკვივალენტური დატვირთვის ნორმატიული ინტენსივობა ერთი კოჭისათვის იქნება:

$$p^{\text{H}}=p_0\frac{K}{2}; \tag{48.3}$$

აქ K—დატვირთვის კლასია, p_0—ეკვივალენტური დატვირთვა ერთეული კლასისათვის. მისი სიდიდე. როგორც ვიცით, უნდა ავიღოთ ცხრილიდან, გავლენის ხაზის ფორმისა და λ სიგრძის მიხედვით. მაქსიმალური მღუნავი მომენტების მისაღებად დროებითი ეკვივალენტური დატვირთვა უნდა განვალაგოთ სათანადო გავლენის ხაზების მთელ სიგრძეზე, ამიტომ მომენტების გამოთვლი-

სათვის გვექნება $\lambda = l$, სადაც l—კოჭის საანგარიშო მალია. ასეთივე მდგომარეობა გვექნება Q_0 გადამჭრელი ძალის გამოთვლის დროს. როგორც Q_2 გადამჭრელი ძალის ხაზი გვიჩვენებს, აქ დროებითი დატვირთვა უნდა განლაგდეს მალის ნახევარზე, ამიტომ $\lambda = \frac{l}{2}$.

დროებითი დატვირთვის საანგარიშო ინტენსივობა მიიღება $p^{\text{н}}$-ს გამრავლებით დატვირთვისა და დინამიკურ კოეფიციენტებზე. დატვირთვის n_1 და n_2 კოეფიციენტები აიღება მე-14 ცხრილიდან, ხოლო დინამიკური კოეფიციენტი $1+\mu$ გამოითვლება (41.5) ფორმულით.

მთავარი კოჭი უნდა შემოწმდეს სიმტკიცეზე და გამძლეობაზე, ამიტომ მე-17 ცხრილის თანახმად გამოსათვლელია საანგარიშო დროებითი დატვირთვის შემდეგი მნიშვნელობები:

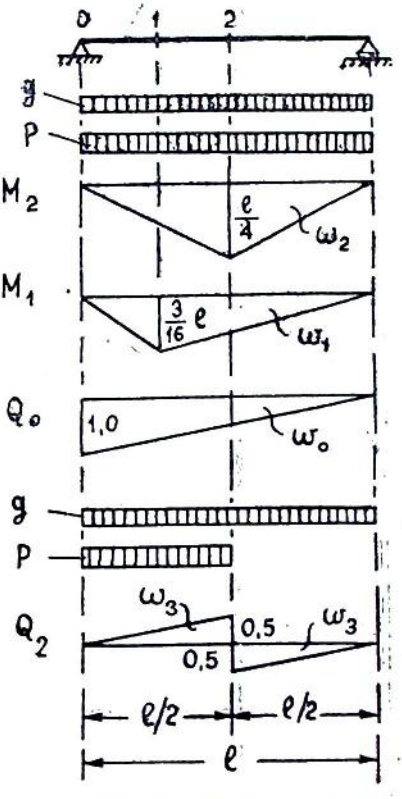
$$\left.\begin{array}{l}\text{სიმტკიცის საანგარიშოდ:}\\ p = n_1(1+\mu)p^{\text{н}};\\ \text{გამძლეობის საანგარიშოდ:}\\ p' = n_2(1+\mu)p^{\text{н}}.\end{array}\right\} \quad (48.4)$$

ცხადია, რომ p და p' სიდიდეები ყოველი M_1, M_2, Q_0, Q_2 ძალვისათვის სხვადასხვა იქნება.

ახლა უკვე შეიძლება გამოვთვალოთ საანგარიშო ძალვები. გავლენის ხაზების დატვირთვის სქემა მოცემულია ნახ. 251-ზე. ამისდა მიხედვით გამოითვლება საანგარიშო ძალვების სიდიდე, შემდეგი ფორმულებით:

მაქსიმალური მომენტები სიმტკიცეზე შესამოწმებლად

$$\left.\begin{array}{l}\max M_1 = (g+p)\omega_1;\\ \max M_2 = (g+p)\omega_2.\end{array}\right\} \quad (48.5)$$



ნახ. 251. ჰრილი მთავარი კოჭის საანგარიშო სქემა და ძალვების გავლენის ხაზები.

მომენტები და გადამჭრელი ძალები ნორმალური ექსპლოატაციის დროს, გამძლეობაზე შესამოწმებლად

$$\left.\begin{array}{l}\max M'_1 = (g^{\text{н}}+p')\omega_1;\\ \max M_2' = (g^{\text{н}}+p')\omega_2;\\ \max Q'_0 = (g^{\text{н}}+p')\omega_0;\\ \max Q'_2 = p'\omega_3.\end{array}\right\} \quad (48.6)$$

დატვირთვის ციკლის ამპლიტუდის გამოსარკვევად ჩვენ დაგვჭირდება კიდევ M' და Q' ძალვების უმცირესი სიდიდეები. მათ ადგილი ექნებათ

მარტო მუდმივი დატვირთვის მოქმედების დროს:

$$\left.\begin{aligned}&\min M'_1 = g^{\text{н}}\,\omega_1;\\ &\min M'_2 = g^{\text{н}}\,\omega_2;\\ &\min Q'_0 = g^{\text{н}}\,\omega_0;\\ &\min Q'_2 = 0.\end{aligned}\right\} \qquad (48.7)$$

ამით მთავრდება საანგარიშო ძალვების გამოთვლა. ყველა ზემომოყვანილი გამოთვლა უმჯობესია ვაწარმოოთ ცხრილური სახით. კიდევ ერთხელ ხაზგასმით აღვნიშნავთ, რომ (48.5), (48.6) ფორმულებში p და p' სიდიდეები სხვადასხვაა, გავლენის ხაზის ფორმასა და სიგრძეზე დამოკიდებულებით. ω ყველგან ნიშნავს გავლენის ხაზის სათანადო ფართობს.

ძალვების გამოთვლა უჭრი ან კონსოლური მალის ნაშენის მთავარი კოჭისათვის

ეს შემთხვევა მთელ რიგ თავისებურებებს შეიცავს, ამიტომ მას ცალკე განვიხილავთ.

ერთ-ერთ თავისებურებას გავლენის ხაზების აგების დროს ვხვდებით. სახსროვან-კონსოლური კოჭები სტატიკურად რკვევადია, ამიტომ მათთვის გავლენის ხაზები უშუალოდ შეიძლება აიგოს. უჭრ კოჭებში, როგორც სტატიკურად ურკვევ სისტემებში, ეს უკვე საკმარისად რთული ამოცანაა, ამიტომ პრაქტიკაში მათი გავლენის ხაზების აგების დროს ჩვეულებრივ მიმართავენ დამხმარე ცხრილებს; ისინი მოყვანილია ტექნიკურ ლიტერატურაში და ცნობარებში [13, 23, 52, 53].

უჭრი კოჭების ძალვების გავლენის ხაზებს, როგორც ვიცით, მრუდხაზოვანი ფორმა აქვს. ეს გარემოება გარკვეულ თავისებურებებს ქმნის. ჯერ ერთი რთულდება გავლენის ხაზის ფართობების გამოთვლა—ამისათვის ისინი უნდა დავყოთ მცირე უბნებად და გამოვთვალოთ ფართობები მიახლოებითი წესით—ტრაპეციის ან სიმპსონის ფორმულების საშუალებით. მეორე თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ მრუდხაზოვრივი ფორმა მხედველობაში უნდა მივიღოთ ნორმატიული ეკვივალენტური დატვირთვების გამოთვლის დროს. როგორც ვიცით, ჭრილი კოჭის შემთხვევაში დროებითი ნორმატიული დატვირთვა გამოითვლებოდა (48.3) ფორმულით, სადაც p_0 სიდიდეები ცხრილებში მოცემულია სამკუთხური გავლენის ხაზისათვის. მრუდხაზოვანი გავლენის ხაზებისათვის უნდა შევიტანოთ შემასწორებელი კოეფიციენტი და ამიტომ ნორმატიული ეკვივალენტური დატვირთვა ასე გამოისახება:

$$p^{\text{н}} = p_0 \frac{K}{2}\eta; \qquad (48.8)$$

აქ η შემასწორებელი კოეფიციენტია, რომელიც გავლენის ხაზის ფორმას ითვალისწინებს. მისი სიდიდე მიიღება შემდეგნაირად.

ამოზნექილი ფორმის გავლენის ხაზებისათვის (ნახ. 252, ა):

$$\eta = 1;$$

ჩაზნექილი ფორმის გავლენის ხაზებისათვის (ნახ. 252, ბ):

$$\eta = 1 + E(\gamma - 1); \qquad (48.9)$$

სადაც თავის მხრივ

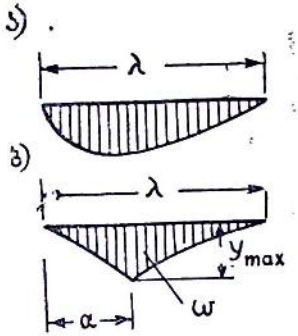
$$E = 15\left(\frac{1}{30+\lambda} - \frac{1}{30+\lambda^2}\right); \qquad (48.10)$$

აქ λ—გავლენის ხაზის სიგრძეა, γ კი—დამახინჯების კოეფიციენტი; მისი სიდიდის მისაღებად უნდა გამოვთვალოთ ისეთი სამკუთხედის ფართობი, რომ-

ლის სიგრძე უდრის გავლენის ხაზის მოცემულ λ სიგრძეს, სიმაღლე კი ამ ხაზის მაქსიმალურ y_{max} ორდინატს (ნახ. 252, ბ) და შევუფარდოთ იგი გავლენის ხაზის ფართობს:

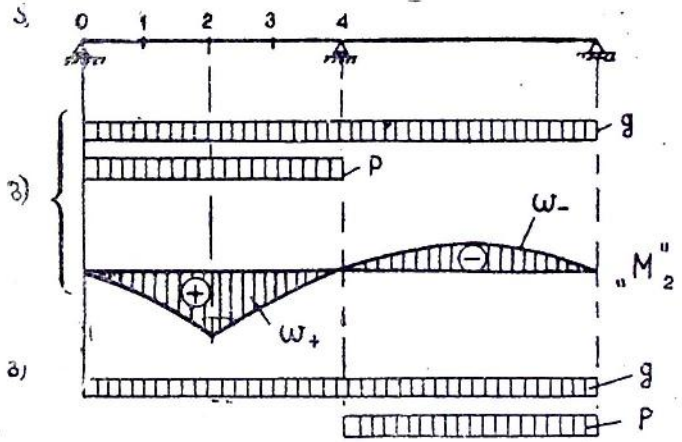
$$\gamma = \frac{\lambda\, y_{max}}{2\omega}. \qquad (48.11)$$

p^{H} სიდიდის მიხედვით დროებითი ეკვივალენტური დატვირთვის საანგარიშო ინტენსივობა გამოითვლება იგივე (48.4) ფორმულებით.



ნახ. 252. ამოზნექილი და ჩაზნექილი ფორმის გავლენის ხაზები.

საანგარიშო ძალების გამოთვლა კიდევ ერთ თავისებურებას შეიცავს: უჯრი ან კონსოლური კოჭების გავლენის ხაზები ორნიშნაა, ამიტომ დროებითმა დატვირთვამ, თავისი მდგომარეობის მიხედვით, შეიძლება გამოიწვიოს როგორც უარყოფითი, ისე დადებითი ძალვა. ამის გამო საანგარიშო ძალვა იანგარიშება ორჯერ: ერთხელ უნდა გამოითვალოს ძალვის მაქსიმალური სიდიდე, რისთვისაც დროებითი დატვირთვა უნდა განლაგდეს გავლენის ხაზის დადებით უბანზე, მეორედ უნდა გამოითვალოს ძალვის მინიმალური მნიშვნელობა, ე. ი. დროებითი დატვირთვა უნდა განლაგდეს გავლენის ხაზის უარყოფით უბანზე; ცხადია, რომ ორივე ზემოხსენებულ შემთხვევაში მუდმივი დატვირთვა გავლენის ხაზის მთელ სიგრძეზე, ე. ი. ყველა უბანზეა განლაგებული.



ნახ. 253. ორმალიანი უჯრი კოჭის გავლენის ხაზის დატვირთვის სქემები.

მოყვანილი წესების გამოყენების საილუსტრაციოდ განვიხილოთ ორმალიანი უჯრი კოჭი და ვიპოვოთ საანგარიშო მომენტების სიდიდე მარცხენა მალის შუა კვეთში (ნახ. 253, ა, კვეთი 2). M_2 მომენტის გავლენის ხაზი მოყვანილია იმავე ნახაზზე. მუდმივი დატვირთვა განლაგებულია კოჭის მთელ სიგრძეზე. მაქსიმალური მომენტის მისაღებად დროებითი დატვირთვა უნდა მოვათავსოთ გავლენის ხაზის დადებით უბანზე, ე. ი. მარცხენა მალის სიგრძეზე

(ნახ. 253, ბ). მინიმალური მომენტის მისაღებად დროებითი დატვირთვა უნდა მოთავსდეს უარყოფით უბანზე, ე. ი. მარჯვენა მალის სიგრძეზე (ნახ. 253, გ). ასეთია გავლენის ხაზის დატვირთულობის სქემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მომენტის საანგარიშო (მაქსიმალურ და მინიმალურ) მნიშვნელობებს. ამ მნიშვნელობების გაანგარიშება შემდეგნაირად ხდება: მუდმივი დატვირთვის ნორმატიული ინტენსივობა გამოითვლება (48.1) ფორმულით, საანგარიშო ინტენსივობა კი—(48.2) ფორმულით; გავლენის ხაზის ყოველი უბნისათვის, მისი სიგრძისა და მაქსიმალური ორდინატის მდებარეობის მიხედვით, ეკვივალენტური დატვირთვების ცხრილიდან აიღება ერთეული კლასის დატვირთვა p_0. ამის შემდეგ (48.9)—(48.11) ფორმულების საშუალებით გამოითვლება შემასწორებელი კოეფიციენტი η და (48.8) ფორმულით კი—ნორმატიული ეკვივალენტური დატვირთვა p^{H}. საანგარიშო დროებითი დატვირთვის p და p' ინტენსივობა მიიღება (48.4) ფორმულებით. დატვირთვების ინტენსივობის გამოკვლევის შემდეგ უშუალოდ შეიძლება გამოითვალოს საანგარიშო მომენტების სიდიდე, ნახ. 253-ზე მოყვანილი დატვირთულობის სქემების მიხედვით. ადვილი გასაგებია, რომ საანგარიშო მომენტები ტოლი იქნება:

სომტკიცეზე გაანგარიშებისათვის:

$$\left.\begin{aligned}\max M_2 &= g(\omega_+ - \omega_-) + p\omega_+;\\ \min M_2 &= g(\omega_+ - \omega_-) - p\omega_-.\end{aligned}\right\} \qquad (48.12)$$

გამძლეობაზე გაანგარიშებისათვის:

$$\left.\begin{aligned}\max M'_2 &= g^{\text{H}}(\omega_+ - \omega_-) + p'\omega_+;\\ \min M'_2 &= g^{\text{H}}(\omega_+ - \omega_-) - p'\omega_-.\end{aligned}\right\} \qquad (48.13)$$

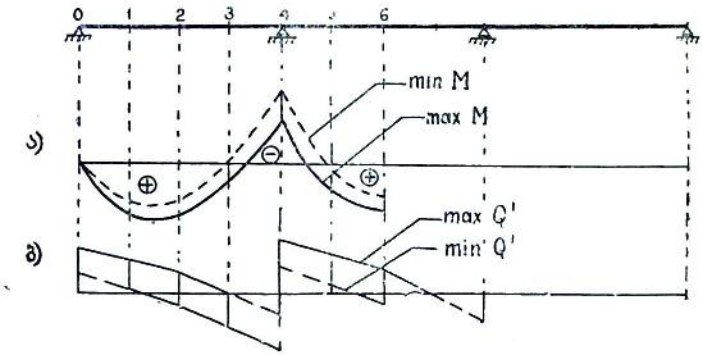
ამ ფორმულებში ω_+, ω_- გავლენის ხაზის დადებითი და უარყოფითი უბნების ფართობებია. ცხადია, რომ p და p' ეკვივალენტურ დატვირთვებს პირველ და მეორე მალის დატვირთვის დროს სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს.

ანალოგიური წესით ხდება ძალვების გამოთვლა ნებისმიერი სახის უჯრა და კონსოლურ კოჭებში. რთული სახის გავლენის ხაზების დატვირთვის წესები მოცემულია ტექნიკურ პირობებში (ТУПМ-56, დანართი 10).

ამგვარად, მთავარი კოჭის სტატიკური გაანგარიშების შედეგად ყოველი საანგარიშო კვეთისათვის გამოთვლილი გვექნება საანგარიშო მომენტები და გადამჭრელი ძალები $\max M$, $\min M$ (უდიდესი და უმცირესი შესაძლო მნიშვნელობები—სიმტკიცის შესამოწმებლად), $\max M'$, $\min M'$, $\max Q'$, $\min Q'$ (უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობები ნორმალური ექსპლოატაციის დროს—გამძლეობის შესამოწმებლად). ამ სიდიდეების მიხედვით უნდა ავაგოთ მაქსიმალური და მინიმალური მომენტების ეპიურა და მაქსიმალური და მინიმალური გადამჭრელი ძალების ეპიურა. ამისათვის შემდეგნაირად უნდა მოვიქცეთ: კოჭის სქემაზე, ყოველ საანგარიშო კვეთში, ღერძის მართობულად გადაიზომება მაქსიმალური და მინიმალური მომენტის სათანადო სიდიდე (გარკვეულ მასშტაბში, ნიშნების დაცვით). მიღებული წერტილები შეერთდება გლუვი მრუდებით. ასეთი ეპიურა ცალ-ცალკე უნდა ავაგოთ M და M' მომენტებისათვის. ამავე წესით აიგება გადამჭრელ ძალთა ეპიურა. მაქსიმალური და მინიმალური ძალვების ეპიურების სახე სამალიანი უჯრა კოჭისათვის ნაჩვენებია ნახ. 254-ზე.

მიღებული ეპიურები ძალვების გამოთვლის საბოლოო შედეგს წარმოადგენს. ისინი ნათლად გვიჩვენებენ მომენტებისა და გადამჭრელი ძალების ცვა-

ლებადობას კოჭის სიგრძის გასწვრივ[1]. როგორც შემდეგ პარაგრაფში დავინახავთ, ისინი საშუალებას გვაძლევენ დავაპროექტოთ კოჭის არმირება.



ნახ. 254. მაქსიმალური ძალვების ეპიურები სამმალიანი უჯრი კოჭისათვის.

2. გაანგარიშება დასაშვები ძაბვების მეთოდით

ძალვების გამოთვლა დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშების დროს გაცილებით უფრო მარტივად ხდება. აქ მხედველობაში მიიღება მუდმივი დატვირთვის მხოლოდ ერთი, ნორმატიული მნიშვნელობა $g = g^{\text{H}}$. დროებითი ეკვივალენტური დატვირთვის ინტენსივობა გავლენის ხაზის ყოველი უბნისათვის გამოითვლება ფორმულით:

$$p = p_0 \frac{K}{2}(1+\mu).$$

საანგარიშო ძალვები დატვირთვების უშუალოდ ამ სიდიდეების მიხედვით გამოითვლება, ზემომოყვანილი წესის თანახმად. იმავე წესით აიგება მაქსიმალური და მინიმალური მომენტების და გადამჭრელი ძალების ეპიურები.

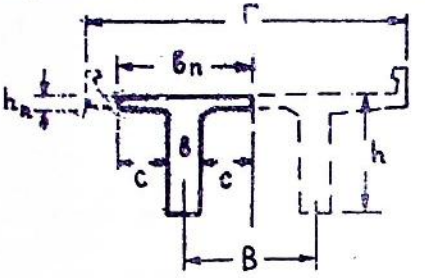
§ 49. მთავარი კოჭების გაანგარიშება პირველი ზღვრული მდგომარეობით. კვეთების შერჩევა და შემოწმება. არმირების ეპიურა

მთავარი კოჭების გაანგარიშების დროს უმეტეს შემთხვევაში საკმარისია შევარჩიოთ და შევამოწმოთ მისი კვეთი ყოველი მალის შუაში და საყრდენებზე. როგორც ქვემოთ დავინახავთ, შუალედი კვეთების არმირება უშუალოდ შეიძლება დავადგინოთ მაქსიმალური და მინიმალური მომენტების ეპიურის მიხედვით. განვიხილოთ კვეთების შერჩევისა და შემოწმების მიმდევრობა.

მ ა ლ ი ს შ უ ა კ ვ ე თ ი. აქ მაქსიმალური დადებითი მომენტი მოქმედებს, კუმშვას კოჭის ზედა ზონა განიცდის და შეკუმშულ ზონაში ხვდება საბალასტო გობის ფილა. ამიტომ კვეთს ტესებრი ფორმა აქვს (ნახ. 255). პირველ რიგში უნდა დავადგინოთ კვეთის საანგარიშო მახაზულობა. საბალასტო გობის ბორტის კედელი, როგორც ვიცით, მუშაობაში მონაწილეობას არ

[1] როგორც ვიცით, ეს ეპიურები წარმოადგენს სათანადო ძალვების ეპიურების მომვლებს დროებითი დატვირთვის სხვადასხვა მდგომარეობისათვის.

იღებს და ის, რასაკვირველია, მხედველობაში არ მიიღება. თუ ფილის ვუტები მცირეა, ისინიც შეიძლება უკუვაგდოთ. დიდი ვუტების შემთხვევაში საანგარიშოდ შეიძლება მივიღოთ ფილის საშუალო სიმაღლე. კოჭის სრული სიმაღლე h და სიგანე b წინასწარ ცნობილია. გამოვარკვიოთ ახლა კვეთის თაროს საანგარიშო სიგანე b_n. ცხადია, რომ იგი ფილის ფაქტიურ სიგანეზე მეტი არ შეიძლება იყოს: $b_n \leqslant \frac{\Gamma}{2}$. ტექნიკური პირობები დამატებით მოითხოვს შემდეგს: 1) თაროს საანგარიშო სიგანე მთავარი კოჭების ღერძებს შორის მანძილზე მეტი არ უნდა იყოს: $b_n \leq B$. 2) თაროს საანგარიშო შვერილი (კოჭის წახნაგიდან თაროს ბოლომდე) არ უნდა იყოს მის ექვსჯერად სისქეზე მეტი: $c \leqslant 6h_n$.

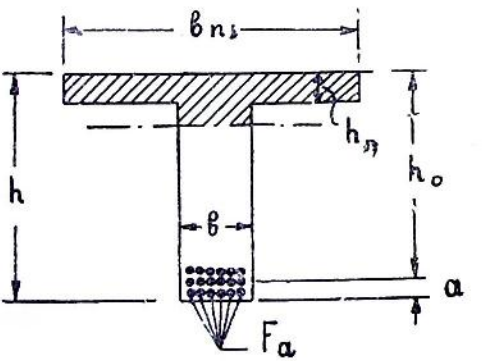


ნახ. 255. მთავარი კოჭის განივკვეთი.

ამ პირობებით განისაზღვრება თაროს საანგარიშო სიგანე; საანგარიშო კვეთის საბოლოო სახე ნაჩვენებია ნახ. 256-ზე.

კვეთის დადგენის შემდეგ უნდა შევარჩიოთ არმატურისა და ბეტონის მარკა და სათანადო ცხრილებიდან ამოვიღოთ მათი საანგარიშო წინაღობები (ცხრილები №№ 18, 19, 20, 22, 23, 24). გამძლეობაზე წინაღობის გამოსარკვევად საჭიროა დატვირთვის ციკლის ამპლიტუდის სიდიდე. დაახლოებით შეიძლება მივიღოთ:

$$\rho = \frac{\min M'}{\max M'}.$$



ნახ. 256. მთავარი კოჭის საანგარიშო კვეთი მალის შუაში.

არმატურის საჭირო ფართობის წინასწარი გამოთვლა შეიძლება ვაწარმოოთ იმავე მიახლოებითი წესით, როგორც ფილის გაანგარიშების დროს. კოჭის მუშა სიმაღლე ტოლია:

$$h_0 = h - a,$$

სადაც a არის მანძილი კოჭის ქვედა წიბოდან არმატურის ცენტრამდე. დაახლოებით შეიძლება მივიღოთ $a \cong 5$—10 სმ, მოსალოდნელი არმატურის სიმძლავრის მიხედვით. შიგაწყვილძალის მხარის დაახლოებითი მნიშვნელობა აქაც იქნება:

$$z = (0{,}8 \div 0{,}9) h_0;$$

მაშინ არმატურის საჭირო ფართობს მიახლოებით ასე გავიგებთ:

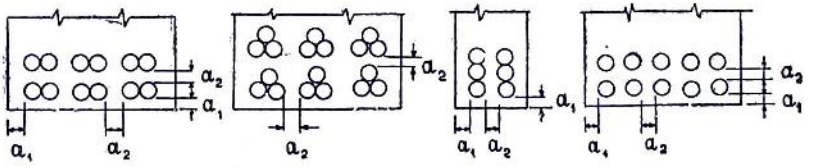
სიმტკიცის პირობიდან:

$$F_a = \frac{\max M}{R_a z};$$

გამძლეობის პირობიდან:

$$F_a = \frac{\max M'}{R'_a z}.$$

საბოლოო ფართობი იქნება უდიდესი ამ ორ მნიშვნელობას შორის. იგი უნდა გავანაწილოთ ღეროებზე; ტექნიკური პირობების მიხედვით უნდა დავიცვათ არმატურის განლაგების შემდეგი წესები (ნახ. 257): დამცველი შრე



ნახ. 257. არმატურის განლაგების წესები.

a_1 როგორც ქვევით, ისე გვერდებზე უნდა იყოს 3—5 სმ-ის ფარგლებში. მუშა ღეროების დიამეტრი შეიძლება იყოს 20-დან 40 მმ-მდე; ზოგჯერ უფრო მეტიც კი იხმარება. არმატურა შეიძლება მოეწყოს ცალკე ღეროების სახით, ან ორ-ორი და სამ-სამი ღეროს კონებისაგან; დასაშვებია რამდენიმე ღეროს ერთმანეთზე დალაგება ხარვეზების გარეშე (ნახ. 257). მანძილი a_2 ცალკე ღეროების ან ღეროთა კონებს შორის უნდა იყოს არა ნაკლები ღეროს დიამეტრისა და არა ნაკლები 30 მმ-სა; თუ არმატურის თარაზული რიგების რიცხვი ორს აღემატება, დაბეტონება გართულებულია. ასეთ შემთხვევაში a_2 მანძილი უნდა გავზარდოთ 1,5 დიამეტრამდე (არა ნაკლებ 45 მმ-სა). არმატურის უკეთ გამოყენების მიზნით სასურველია ღეროები დავალაგოთ რაც შეიძლება უფრო კომპაქტურად, ისე რომ მათი საერთო ფართობის სიმძიმის ცენტრი შეძლებისდაგვარად დაშორდეს ნეიტრალურ შრეს. ოთხზე მეტი თარაზული რიგის გამოყენება ყველა შემთხვევაში არასასურველია.

ზემომოყვანილი წესების თანახმად შეიძლება დავნიშნოთ ღეროების დიამეტრი, რიცხვი და განლაგება. ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ არმატურის ფაქტიური ფართობი, მანძილი სიმძიმის ცენტრამდე a და მუშა სიმაღლე h_0. ამის შემდეგ საჭიროა კვეთის შემოწმება. სათანადო წესი მოყვანილი იყო §§ 45,46-ში. კვეთის ზიდვის უნარი გამოითვლება (45.12)—(45.15) ფორმულებით. სიმტკიცის შემოწმება ხდება ასეთნაირად:

$$\max M \leqslant \overline{M}.$$

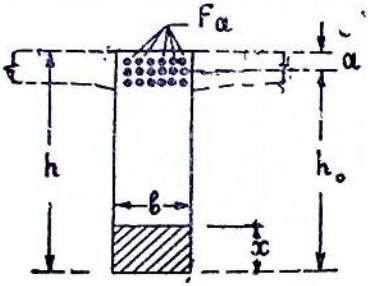
გამძლეობის შესამოწმებლად უნდა გამოვთვალოთ ძაბვები σ'_b, σ'_a ბეტონსა და არმატურაში, (46.7)—(46.10) ფორმულების საშუალებით, $\max M'$ მომენტის მიხედვით. შემოწმებას ასეთი სახე ექნება:

$$\sigma'_a \leqslant R'_a, \qquad \sigma'_b \leqslant R'_u;$$

ცხადია, რომ ამასთან ერთად დაცული უნდა იყოს ზღვრული არმირების (45.6) პირობაც.

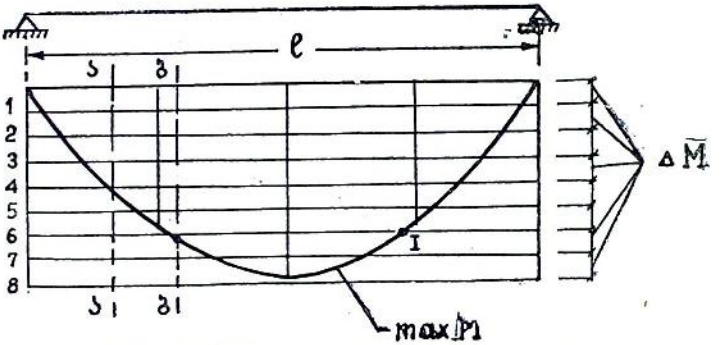
განვიხილოთ ახლა საყრდენი კვეთის შემოწმება. ჭრილი კოჭის საყრდენზე მომენტი ნულია და ამ კვეთში მხოლოდ მთავარი გამჭიმავი ძაბვების შემოწმებაა საჭირო, რაზედაც შემდეგ პარაგრაფში გვექნება საუბარი.

ამიტომ აქ ვგულისხმობთ უჭრი ან კონსოლური კოჭის საყრდენ კვეთს. ასეთ კვეთში უარყოფითი მომენტი მოქმედებს, ამიტომ საბალასტო გობის ფილა გაჭიმულ ზონაში ხვდება და კოჭის საანგარიშო კვეთი მართკუთხა ფორმის იქნება (ნახ. 258). ეს აადვილებს გაანგარიშებას. არმატურის ფართობის დანიშვნის წესი და გამოთვლების მიმდევრობა იგივე რჩება, მხოლოდ შემოწმების დროს უნდა გამოვიყენოთ სათანადო ფორმულები მართკუთხა კვეთისათვის (იხ. §§ 45, 46).



ნახ. 258. მთავარი კოჭის საანგარიშო კვეთი საყრდენზე.

ამგვარად, ჩვენ განვიხილეთ მთავარი კოჭის კვეთების შერჩევისა და შემოწმების წესი. როგორც თავიდან აღვნიშნეთ, შემოწმება ხდება მხოლოდ მალის შუაში და საყრდენებზე (უჭრი და კონსოლური კოჭებისათვის)[1], სადაც უდიდესი დადებითი და უარყოფითი მომენტები მოქმედებს. ამ კვეთებში გამორკვეული იქნება მუშა არმატურის ღეროების საჭირო რაოდენობა. როგორ დავნიშნოთ ღეროების რიცხვი შუალედ კვეთებში? ცხადია, რომ ის დამოკი-

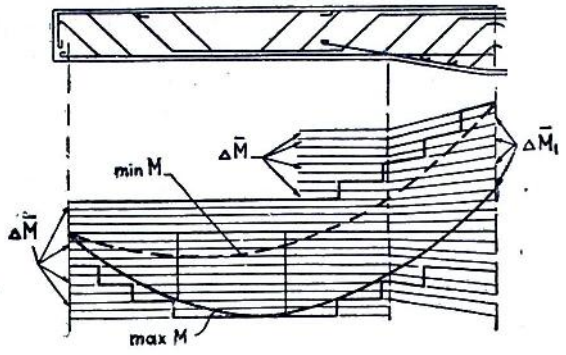


ნახ. 259. არმირების ეპიურა ერთმალიანი ჭრილი კოჭისათვის.

დებულია მღუნავი მომენტის სათანადო სიდიდეებზე. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად იხმარება გრაფიკული წესი, რომელიც მდგომარეობს ე. წ. არმირების ეპიურის აგებაში. მისი აზრის გამოსარკვევად განვიხილოთ მარტივი შემთხვევა—ერთმალიანი ჭრილი მალის ნაშენის მთავარი კოჭი (ნახ. 259). ვგულისხმობთ, რომ ზემოაღწერილი გაანგარიშება უკვე ჩატარებულია, ე. ი. გამოთვლილია საანგარიშო მომენტები, აგებულია მაქსიმალურ და მინიმალურ მომენტთა ეპიურა, შემოწმებულია შუა კვეთი და დადგენილია მუშა არმატურის ღეროების რიცხვი ამ კვეთში. საჭიროა მუშა არმატურის ღეროების რაოდენობის გამორკვევა სხვა კვეთებში. ვიხელმძღვანელოთ ჯერ სიმეტრიის პირობებით. მაქსიმალური M მომენტების ეპიურა მოცემულია ნახ. 259-ზე, მთლიანი მრუდი ხაზის სახით. ამ მრუდის ორდინატი ყოველ წერტილში გამოხატავს, გარკვეულ მასშტაბში, სათანადო კვეთის მაქსიმალურ შესაძლო

[1] დიდი მალების დროს დამატებით აწარმოებენ შემოწმებას მალის მეოთხედებშიც.

მომენტის სიდიდეს (მინიმალურ მომენტებს ყოველ კვეთში ისევ დადებითი ნიშანი აქვს, ამიტომ მათი სიდიდე აქ არ გვაინტერესებს). ვთქვათ, ღეროების რაოდენობა შუა კვეთში არის m, თითოეული მათგანის განივკვეთის ფართობი კი f_a. ცხადია, რომ mf_a არმატურის სრული F_a ფართობის ტოლია.



ნახ. 260. არმირების ეპიურა უჭრი კოჭისათვის.

შუა კვეთის ზიდვის უნარი, (45.14) ფორმულის თანახმად, შეიძლება ასე გამოისახოს:

$$\overline{M}=F_aR_a\zeta=mf_aR_a\zeta\,.$$

ყველა ზემომოყვანილი სიდიდეები ჩვენთვის უკვე ცნობილია შუა კვეთის გაანგარიშებიდან. ზიდვის უნარის $\overline{M}$ სიდიდე შეესაბამება არმატურის m ღეროს. ერთი ღეროთი დაარმირებული კვეთის ზიდვის უნარი ტოლი იქნება[1]:

$$\Delta\overline{M}=f_aR_a\zeta\,.$$

გადავზომოთ $\Delta\overline{M}$ სიდიდეები მაქსიმალური მომენტების ეპიურის ორდინატზე (მომენტების მასშტაბში) და გავავლოთ სათანადო თარაზული 1, 2, 3... ხაზები (ნახ. 259). ცხადია, რომ ყოველი i-ური ხაზის ორდინატი წარმოადგენს i ღეროთი დაარმირებული კვეთის ზიდვის უნარს. ეს ნახაზი საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ არმატურის ღეროების რაოდენობა ნებისმიერ კვეთში: ზიდვის უნარი ყველგან მეტი უნდა იყოს მოქმედ მომენტზე, ამიტომ ყოველ კვეთში საჭიროა იმდენი ღერო, რამდენ $\Delta\overline{M}$ მონაკვეთსაც შეიცავს მაქსიმალურ მომენტთა ეპიურის მრუდის სათანადო ორდინატი. მაგალითად, ნახ. 259 გვიჩვენებს, რომ ა—ა კვეთში საჭიროა 4 ღერო, ბ—ბ კვეთში—6 და ა. შ.

უჭრი ან კონსოლური კოჭების შემთხვევაში არმირების ეპიურის აგება ცოტათი უფრო რთულია. აქ წარმოიშვება როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი მომენტები, ამიტომ უნდა გამოვიყენოთ როგორც მაქსიმალური, ისე მინიმალური $\max M$, $\min M$ მომენტების ეპიურა და აგება ვაწარმოოთ როგორც ქვედა ზონის, ისე ზედა ზონის მუშა არმატურისათვის (ნახ. 260). ვუტის ფარგლებში შიგაწყვილძალის მხარი იცვლება სიმაღლის ცვალებადობასთან ერთად. ამიტომ ასე შეიძლება მოვიქცეთ: ერთეული ზიდვის უნარი $\Delta\overline{M}$

[1] აქ იგულისხმება, რომ ღეროების სხვადასხვა რიცხვის დროს შიგაწყვილძალის მხარი z დაახლოებით ერთი და იგივეა.

უნდა გამოითვალოს ორჯერ: ერთხელ მალის შუა კვეთისათვის:

$$\Delta\overline{M}=f_aR_a\zeta,$$

მეორედ კი საყრდენი კვეთისათვის:

$$\Delta\overline{M}_1=f_aR_a\zeta_1.$$

აქ ζ და ζ_1 შიგაწყვილძალის მხარია შუა კვეთისათვის და საყრდენი კვეთისათვის. მათი სიდიდე ცნობილია ამ კვეთების გაანგარიშებიდან. $\Delta\overline{M}$ სიდიდე მართებულია კოჭის მუდმივი სიმაღლის ფარგლებში, $\Delta\overline{M}_1$ კი—საყრდენ კვეთში. ვუტის ფარგლებში გულისხმობენ, რომ შიგაწყვილძალის მხარი სიმაღლის პროპორციულად იცვლება, ამიტომ სათანადო წერტილები ერთდება დახრილი სწორი ხაზებით (ხახ. 260).

აქამდე ჩვენ ვაგებდით არმირების ეპიურას სიმტკიცის პირობების მიხედვით. ამავე წესით შეიძლება აიგოს იგივე ეპიურა გამძლეობის პირობების მიხედვით. ამისათვის მაქსიმალური და მინიმალური მომენტების ეპიურა უნდა ავაგოთ $\max M'$, $\min M'$ სიდიდეების მიხედვით, ΔM კი გამოვთვალოთ ასეთნაირად:

$$\Delta M'=f_aR'_a\zeta.$$

ჩვეულებრივ ორი ეპიურის აგება საჭირო არ არის ხოლმე: კვეთების შემოწმებისას უკვე ირკვევა, თუ რომელ პირობას—სიმტკიცეს თუ გაძლეობას—აქვს გადამწყვეტი მნიშვნელობა და ამის მიხედვით აიგება არმირების ერთერთი ეპიურა.

არმირების ეპიურა საფუძვლად უდევს კოჭის არმატურის კონსტრუირებას. იგი ნათლად გვიჩვენებს ღეროების საჭირო რაოდენობის ცვალებადობას (ნახ. 259, 260). ქვედა ზონის მუშა არმატურის ღეროების მაქსიმალური რაოდენობა გვაქვს მალის შუა კვეთში (ზედა არმატურისა—საყრდენ კვეთში), შემდეგ ის თანდათან მცირდება. არმირების ეპიურაზე უშუალოდ ჩანს ის წერტილები, სადაც რომელიმე ღერო საჭირო აღარ არის—ეს მაქსიმალურ მომენტთა მრუდის და სათანადო თარაზული ხაზის გადაკვეთის წერტილებია. მაგალითად, ნახ. 259-ზე ჩანს, რომ I წერტილში ორი ღერო ზედმეტი ხდება. ისინი შეიძლება ავღუნოთ ზევით და გამოვიყენოთ ირიბი არმატურის შესაქმნელად. სხვა შემთხვევებში შეიძლება ღერო გავაგრძელოთ I კვეთის იქით, საკმარისი ჩამაგრების შესაქმნელად და შემდეგ შევწვიტოთ[1]. ესა თუ ის გადაწყვეტა ცხადია დამოკიდებულია ირიბი არმატურის საჭიროებაზე. ამიტომ არმირების ეპიურის საბოლოო სახე შეიძლება დაზუსტდეს მხოლოდ ირიბი არმატურის გაანგარიშების შემდეგ. ეს საკითხი შემდეგ პარაგრაფშია განხილული.

§ 50. მთავარი კოჭების გაანგარიშება პირველი ზღვრული მდგომარეობით. დახრილი კვეთების შემოწმება. ირიბი არმატურის გაანგარიშება

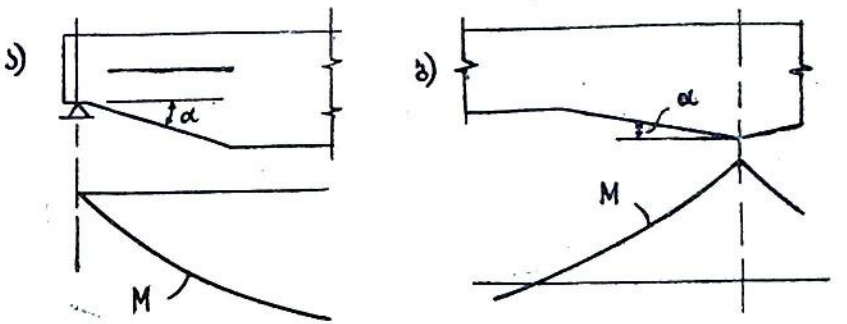
წინა პარაგრაფებში განხილული გაანგარიშება ითვალისწინებს კოჭის გადასვლას პირველ ზღვრულ მდგომარეობაში იმ ნორმალური ძაბვების გამო, რომლებიც მის შეეულ კვეთებში წარმოიშვება, მღუნავი მომენტების მოქმედების შედეგად. ეს გაანგარიშება არკვევს გრძივი მუშა არმატურის საჭირო ფართობს და კოჭის შეეული კვეთების სიმტკიცისა და გამძლეობის გარანტიას იძლევა. მაგრამ ეს საკმარისი არ არის: როგორც ცნობილია, გადამჭრელი ძალის მოქმედების დროს კოჭში წარმოიშვება მხები და მთავარი გამჭიმავი ძაბვები. ამ უკანასკნელთა ზეგავლენით შეიძლება დახრილი ბზარები წარმო-

[1] I კვეთის მარცხნივ ღერო უკვე საჭიროა, ამიტომ ის აქ უკვე საკმარისად ჩამაგრებული უნდა იყოს.

იშვას. არასაკმარისი ირიბი არმატურის დროს ისინი გამოიწვევს კოჭის რღვევას, ე. ი. პირველ ზღვრულ მდგომარეობაში გადასვლას. ამიტომ დამატებით საჭიროა კოჭის დახრილი კვეთების შემოწმება და ირიბი არმატურის გაანგარიშება.

ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად დახრილი კვეთები მხოლოდ გამძლეობაზე უნდა შემოწმდეს. ქვემოთ მოყვანილია გამძლეობის პირობები და გაანგარიშების წესი.

გაანგარიშების ძირითად მონაცემს მაქსიმალურ გადამჭრელ ძალთა ეპიურა წარმოადგენს (ნახ. 254, ბ). როგორც ვიცით, იგი იძლევა



ნახ. 261. ცვლადი სიმაღლის კოჭების მაგალითები.

გადამჭრელი ძალის საანგარიშო $\max Q'$ და $\min Q'$ მნიშვნელობებს კოჭის ნებისმიერ კვეთში. ამ მნიშვნელობების მიხედვით უნდა გამოითვალოს მთავარი ძაბვების სიდიდე. ცნობილია, რომ მთავარი ძაბვები თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ნეიტრალურ ღერძზე აღწევს; თუ გაჭიმულ ზონაში ბეტონის მუშაობას მხედველობაში არ მივიღებთ, მათი სიდიდე რიცხობრივად მხები ძაბვების ტოლი იქნება. ამიტომ შემდგომში ჩვენს მთავარ ძაბვებს τ-თი აღვნიშნავთ. როგორც ვიცით, მთავარი მკუმშავი და მთავარი გამჭიმავი ძაბვები ურთიერთ მართობულ სიბრტყეებში მოქმედებს, მათი სიდიდე კი რიცხობრივად ერთნაირია.

მოვიგონოთ მთავარი ძაბვების გამოსათვლელი ფორმულები. მუდმივ სიმაღლიან კოჭებში მათი სიდიდე მხოლოდ გადამჭრელი ძალის მნიშვნელობაზეა დამოკიდებული:

$$\tau=\frac{Q'}{bz}; \qquad (50.1)$$

აქ Q' გამძლეობაზე საანგარიშო გადამჭრელი ძალაა განსახილველ კვეთში, b—კოჭის სიგანე, z—შიგაწყვილძალის მხარი.

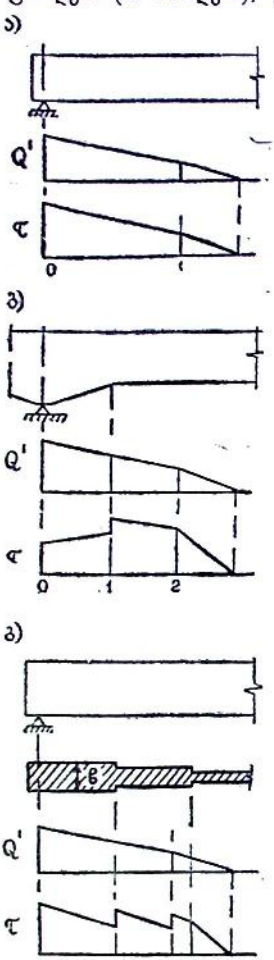
ცვლადი სიმაღლის კოჭის დროს მთავარ ძაბვებზე გავლენას ახდენს როგორც გადამჭრელი ძალა, ისე მღუნავი მომენტიც და მათი სიდიდე ასე გამოისახება:

$$\tau=\frac{Q'}{bz}\pm\frac{M'}{h}\,\frac{\operatorname{tg}\alpha}{bz}; \qquad (50.2)$$

აქ M'—გამძლეობაზე საანგარიშო მღუნავი მომენტია განსახილველ კვეთში, h—კვეთის სრული სიმაღლე, α—კოჭის ქვედა წახნაგის დახრის კუთხე (ნახ. 261). დანარჩენი აღნიშვნები იგივეა, რაც ზემოთ.

(50.2) ფორმულაში მეორე წევრის ნიშანი დამოკიდებულია კოჭის სიმაღლისა და მღუნავი მომენტის ცვალებადობაზე. თუ კოჭის სიმაღლე და მო-

მენტის აბსოლუტური მნიშვნელობა $|M|$ ერთი და იგივე მიმართულებით მცირდება (ან იზრდება), უნდა ავიღოთ ნიშანი „+“, წინააღმდეგ შემთხვევაში ნიშანი „—“. მაგალითად, ნახ. 161, ა-ზე ნაჩვენებ შემთხვევაში (კოჭის განაპირა საყრდენი) კოჭის სიმაღლე და მღუნავი მომენტი იზრდება მარცხნიდან მარჯვნივ, ამიტომ ნიშანი „+“ იქნება. უჭრი კოჭის შუა საყრდენზე, ვუტის ფარგლებში ნახ. 261, ბ), $|M|$ მომენტი და კოჭის სიმაღლე სხვადასხვა მიმართულებით კლებულობს, ამიტომ ნიშანი იქნება „—“. საერთოდ უნდა აღინიშნოს, რომ მეორეწყვრის სიდიდე პირველთან შედარებით მცირეა.



ნახ. 262. მთავარი ძაბვების ეპიურები სხვადასხვა ტიპიურ შემთხვევებში.

(50.1), (50.2) ფორმულები საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ მთავარი ძაბვები კოჭის ნებისმიერ კვეთში. მათი მიხედვით უნდა შემოწმდეს დახრილი კვეთების გამძლეობის პირობები. ისინი შემდეგში მდგომარეობს: ტექნიკური პირობების თანახმად მთავარი მკუმშავი ძაბვები მთლიანად გადაეცემა ბეტონს. მე-19 ცხრილში (§ 43) მოცემულია საანგარიშო წინაღობები R'_{ga}, რომელსაც არ უნდა აღემატებოდეს მთავარი მკუმშავი ძაბვის მაქსიმალური სიდიდე. ამიტომ ბეტონის გამძლეობის პირობა კოჭის დახრილ კვეთში ჩაიწერება ასე:

$$\tau \leqslant R'_{ga}; \qquad (50.3)$$

ეს პირობა ჩვეულებრივ განსაზღვრავს კოჭის კედლის ზომებს.

მთავარი გამჭიმავი ძაბვები მთლიანად უნდა გადაეცეს ირიბ არმატურას. ამ პირობიდან შეირჩევა ირიბი არმატურის რაოდენობა. სათანადო გაანგარიშება ქვევითაა მოყვანილი. წინასწარ აღვნიშნავთ, რომ თუ მთავარი გამჭიმავი ძაბვების სიდიდე მცირეა, ისინი უშუალოდ ბეტონმა შეიძლება აიტანოს. ამიტომ ტექნიკური პირობებით დადგენილია ბეტონის გამძლეობის საანგარიშო წინაღობა მთავარ გამჭიმავ ძაბვებზე, R'_p (იხ. ცხრილი 19, § 43). თუ τ ძაბვები არ აღემატება R'_p სიდიდეს, მაშინ ირიბი არმატურა და საკიდები საჭირო არ არის და ისინი კონსტრუქციული მოსაზრებებით იდგმება. გარდა ამისა, ტექნიკურ პირობებში მოცემულია ბეტონის საანგარიშო წინაღობის კიდევ ერთი, უფრო დაბალი ზღვარი R''_p (იხ. იგივე ცხრილი). კოჭის იმ უბნებზე, სადაც მთავარი გამჭიმავი τ ძაბვები ამ ზღვარზე ნაკლებია, ისინი ყველა შემთხვევაში შეიძლება ბეტონს გადავცეთ.

განვიხილოთ დახრილი კვეთების შემოწმების და ირიბი არმატურის გაანგარიშების მიმდევრობა.

გაანგარიშება მალის ყოველი ნახევრისათვის ცალ-ცალკე ხდება, მაქსიმალურ გადამჭრელ ძალთა ეპიურის მიხედვით. მისი სახე მალის ნახევრისათვის მოცემულია ნახ. 262-ზე (ეპიურა Q'). იგი მთლიანი ეპიურის ნაწილს წარმოად-

გენს (იხ. ნახ. 254, ბ). პირველ რიგში საჭიროა მთავარი ძაბვების ეპიურის აგება. ამისათვის ასე მოვიქცევით: (50.1), (50.2) ფორმულების საშუალებით გამოითვლება მთავარი ძაბვების სიდიდე კოჭის დამახასიათებელ კვეთებში; მიღებული სიდიდეები გადაიზომება სათანადო კვეთების ქვეშ ეპიურის ორდინატებზე და ეს წერტილები შეერთდება სწორი ხაზებით (ნახ. 262). დამახასიათებელ კვეთებს მიეკუთვნება ყველა ის კვეთი, სადაც მკვეთრად იცვლება სანგარიშო ფორმულებში შემავალი ერთ-ერთი სიდიდე მაინც. მაგალითისათვის ნახ. 262-ზე ნაჩვენებია მთავარი ძაბვების ტიპიური ეპიურები. ნახ. 262, ა ეხება მუდმივი სიმაღლისა და სიგანის კოჭის განაპირა საყრდენის უბანს. აქ დამახასიათებელ კვეთებად საკმარისია მივიღოთ 0 და 1 კვეთები. მთავარი გამჭიმავი ძაბვები გამოითვლება (50.1) ფორმულით და ძაბვების ეპიურას მარტივი სახე აქვს. ნახ 262, ბ-ზე ნაჩვენებია უჭრი კოჭის შუა საყრდენის უბანი ვუტით. აქ დამახასიათებელი კვეთებია 0, 1 და 2. 1 კვეთის მარჯვნივ კოჭის სიმაღლე მუდმივია და ამიტომ მართებულია (50.1) ფორმულა, ვუტის ფარგლებში კი—(50.2) ფორმულა. საზღვარზე, ე. ი. ვუტის დასაწყისში (კვეთი 1) ძაბვა უნდა გამოვთვალოთ ორჯერ, კვეთის მარცხენა და მარჯვენა მხრიდან; ამიტომ 1 კვეთში ძაბვების ეპიურას ნახტომი აქვს:

$$\tau_1^{\text{მც}} = \frac{\max Q'_1}{bz} - \frac{M'_1}{h}\,\frac{\operatorname{tg}\alpha}{bz};$$

$$\tau_1^{\text{მხ}} = \frac{\max Q'_1}{bz}.$$

საყრდენ კვეთში (კვეთი 0) ცხადია (50.2) ფორმულა უნდა ვიხმაროთ. მთავარი ძაბვების მაქსიმალური სიდიდის მისაღებად (50.2) ფორმულაში უნდა შევიტანოთ მომენტების შემდეგი მნიშვნელობები:

ვუტის დასაწყისში (კვეთი 1):

$$M'_1 = M'_g:$$

ვუტის ბოლოში (საყრდენი კვეთი 0):

$$M'_0 = M'_g + \frac{1}{2}M'_p,$$

სადაც M'_g და M'_p—გამძლეობაზე საანგარიშო მღუნავი მომენტის სიდიდეა მუდმივი და დროებითი შეუღლი დატვირთვისაგან. ეს მომენტები უკვე ცნობილია ძალების გაანგარიშებიდან. 1 კვეთში მომენტი მუდმივი ტვირთისაგან უშუალოდ არ ყოფილა გამოთვლილი, მაგრამ მისი სიდიდე ადვილად შეიძლება ვიპოვოთ გრაფიკული ინტერპოლაციით, საყრდენი კვეთისა და მალის მეოთხედის მომენტების მიხედვით.

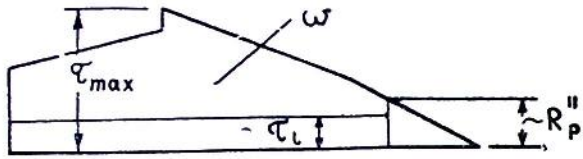
ნახ. 262, გ-ზე ნაჩვენებია ძაბვების ეპიურა ცვლადი სიგანის კოჭისათვის. სიმაღლე აქ მუდმივია, ამიტომ უნდა გამოვიყენოთ (50.1) ფორმულა. დამახასიათებელ კვეთებს მიეკუთვნება სიგანის ცვლილების კვეთები. ამ კვეთებში τ უნდა გამოითვალოს ორჯერ, სიგანის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. ამიტომ ეპიურას აქ ნახტომები აქვს.

ამგვარად, მთავარი გამჭიმავი ძაბვების ეპიურა ყველა შემთხვევაში ადვილად შეიძლება ავაგოთ. იგი შემდგომი გაანგარიშების პროცესის საფუძველს წარმოადგენს. პირველ რიგში ეპიურიდან უნდა ავიღოთ მაქსიმალური მთავარი ძაბვა τ_{max}. ახლა უნდა დავადგინოთ ბეტონის საანგარიშო წინაღობა გამ-

ძლეობაზე $R'_{гл}$. ამისათვის დატვირთვის ციკლის ამპლიტუდა შეიძლება გამოვთვალოთ გადამჭრელი ძალების ფარდობის მიხედვით:

$$\rho = \frac{Q'_{min}}{Q'_{max}}.$$

Q' სიდიდეები შეიძლება ავიღოთ იმავე კვეთისათვის, სადაც ადგილი აქვს τ_{max} ძაბვას. ρ-ს მნიშვნელობისა და ბეტონის მარკის მიხედვით 19 და 20



ნახ. 263. მთავარი გამჭიმავი ძაბვების ეპიურის დანაწილება.

ცხრილებიდან შეიძლება ავიღოთ ბეტონის საანგარიშო წინაღობა გამძლეობაზე $R'_{гл}$. მაშინ დახრილი კვეთების გამძლეობის შესამოწმებელი ფორმულა (50.3) ასეთნაირად ჩაიწერება:

$$\tau_{max} \leqslant R'_{гл}. \qquad (50.4)$$

ამ პირობის დაცვა აუცილებელია. თუ იგი არაა დაკმაყოფილებული, უნდა შევცვალოთ კოჭის კვეთების ზომები ან გავზარდოთ ბეტონის მარკა.

დავუშვათ, რომ (50.4) პირობა დაკმაყოფილებულია და განვიხილოთ ირიბი არმირების საკითხი. წინასწარ, 19 და 20 ცხრილებიდან უნდა ავიღოთ საანგარიშო წინაღობები R'_p და R''_p. აქ შეიძლება გვქონდეს ორი შემთხვევა:

1. შემთხვევა: $\tau_{max} \leqslant R'_p$.

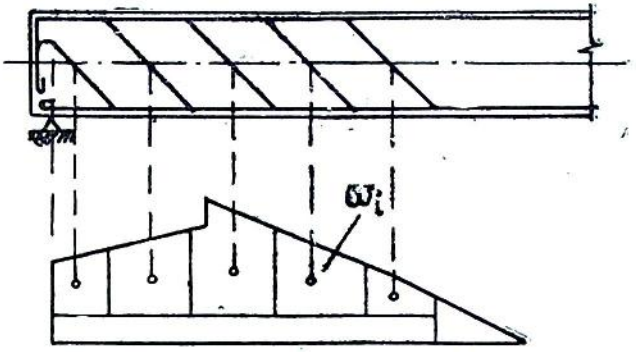
ასეთ შემთხვევაში საკიდებს და ირიბ არმატურას გაანგარიშება არ სჭირდება: ისინი შეიძლება დაიდგას კონსტრუქციულად.

2. შემთხვევა: $\tau_{max} > R'_p$.

აქ უკვე საჭიროა ირიბი არმატურის გაანგარიშება. როგორც აღვნიშნეთ, ნორმები მოითხოვს, რომ მთელი გამჭიმავი ირიბი ძალა, რომელიც ძაბვების ეპიურის ფართობით გამოისახება, გადაეცეს არმატურას (ირიბი, გრძივი არმატურა და საკიდები); გამონაკლისს შეადგენს ეპიურის ის ნაწილი, სადაც τ ძაბვა R''_p სიდიდეზე ნაკლებია: იგი შეიძლება უშუალოდ ბეტონს გადავცეთ. გაანგარიშების მიმდევრობა ასეთია: მთავარი გამჭიმავი ძაბვების ეპიურაზე უნდა ვიპოვოთ კვეთი, სადაც $\tau = R''_p$ (ნახ. 263). ეპიურის ნაწილი ამ კვეთის მარჯვნივ (სადაც $\tau < R''_p$) შეიძლება უკუვაგდოთ. ახლა საჭიროა საკიდების დაპროექტება. ტექნიკური პირობების თანახმად ყოველი საკიდი ერთ რიგში ხუთ გაჭიმულ ღეროზე მეტს არ უნდა შეიცავდეს. ვინაიდან გრძივი არმატურა უკვე გაანგარიშებულია, ამ პირობით შეიძლება გამოვარკვიოთ საკიდის ტოტების რიცხვი. საკიდის დიამეტრი უნდა იყოს არანაკლები მუშა არმატურის დიამეტრის მეოთხედისა (მაგრამ არანაკლები 6 მმ-სა); მანძილი a საკიდებს შორის (საკიდების ბიჯი) მიიღება არა უმეტეს 3/4 h-სა, სადაც h—კოჭის სრული სიმაღლეა (ყოველ შემთხვევაში უნდა ავიღოთ $a \leqslant 50$ სმ). ამგვარად განისაზღვრება საკიდების ყველა საჭირო ელემენტები. მთავარი გამჭიმავი ძაბვა, რომელსაც თავის თავზე აიღებს საკიდები, ტოლია:

$$\tau_ს = \frac{n f_ს \cdot 0{,}8\, R'_a}{ba}; \qquad (50.5)$$

აქ n საკიდის ტოტების რიცხვია, f_t—თითოეული ტოტის განივკვეთის ფართობი, R'_a—საკიდის საანგარიშო წინაღობა გამძლეობაზე[1], a—საკიდების ბიჯი და b—კოჭის სიგანე. τ_t სიდიდის მიხედვით მთავარი ძაბვების ეპიურაზე შეიძლება გავავლოთ თარაზული ხაზი, რომელიც საკიდების მიერ მიღებულ ეპიურის ნაწილს გამოჰყოფს. ეპიურის დანარჩენი ფართობი ω უნდა გადაეცეს ირიბ არმატურას (ნახ. 263). ω-ს მიხედვით შეიძლება გამოითვალოს ირიბი ღეროების განივკვეთის სრული ფართობი; მართლაც, ω ფართობის შე-



ნახ. 264. აღუნული ღეროების სიბრტყეების დანიშვნა და ღეროების რიცხვის გამოთვლა.

საბამისი ირიბი გამჭიმავი ძალვა, რომელიც უნდა გადაეცეს ირიბ ღეროებს, როგორც ვიცით, ტოლია:

$$Z = \omega b \cos 45° = \frac{\omega b}{\sqrt{2}};$$

Z ძალვის ასატანად საჭირო არმატურის განივკვეთის ფართობი იქნება:

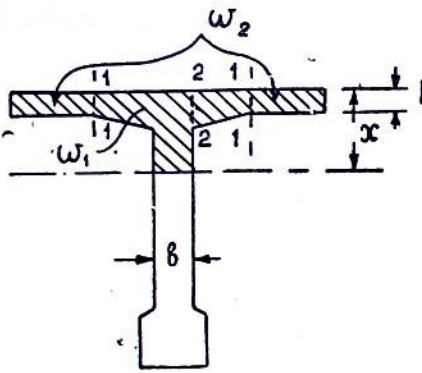
$$F_z = \frac{Z}{0{,}8R'_a} = \frac{\omega b}{0{,}8\sqrt{2}R'_a}, \qquad (50.6)$$

სადაც R'_a არმატურის საანგარიშო წინაღობაა გამძლეობაზე.

მიღებული ფართობი F_z უნდა გავანაწილოთ ირიბ ღეროებად. ტექნიკური პირობები მოითხოვს, რომ კოჭის ყოველი შეეული კვეთი ერთ აღუნვის სიბრტყეს მაინც ჰკვეთდეს; ირიბი ღეროების დახრის კუთხე კოჭის ღერძთან უმჯობესია იყოს 45° (ყოველ შემთხვევაში არა ნაკლებ 30°-სა); ამასთანავე, უნდა ვეცადოთ, რომ ღეროების განაწილება შეეფარდებოდეს მთავარი ძაბვების ეპიურის ფორმას: დიდი ძაბვების უბანზე აღუნული ღეროები უფრო ხშირად უნდა იყოს. მხედველობაში უნდა მივიღოთ არმირების ეპიურის მონაცემებიც (იხ. წინა პარაგრაფი): საჭიროა, რომ აღუნვების დაწყების ადგილი შეძლებისდაგვარად შეეფარდებოდეს გრძივი მუშა არმატურის ღეროების შეწყვეტის ადგილებს. ამ წესების მიხედვით შეიძლება დავნიშნოთ აღუნული (ირიბი) ღეროების სიბრტყეები. ახლა გამოსარკვევი დაგვრჩა ირიბი ღეროების განივკვეთის ფართობი აღუნვის ყოველ სიბრტყეში. ამისათვის ასე მოვიქცეთ: გავავლოთ კოჭის სიმაღლის შუა წერტილში თარაზული ხაზი (ნახ. 264). ამ

[1] ტექნიკური პირობების თანახმად, განივი არმატურის (საკიდები, ირიბი ღეროები) საანგარიშო წინაღობა მიიღება კოეფიციენტით 0,8. ეს კოეფიციენტი შეტანილია (50.5) და (50.6) ფორმულებში.

ხაზისა და აღუნვის სიბრტყეების გადაკვეთის წერტილები დავაგეგმილოთ შვეულად მთავარი ძაბვების ეპიურაზე; ახლა დავყოთ ამ ეპიურის ω ფართობი ნაწილებად, ისე რომ დაგეგმილებული წერტილები დაახლოებით დაემთხვეს სათანადო ნაწილის სიმძიმის ცენტრს. ეპიურის ყოველი ნაწილის ω_i ფართობი განსაზღვრავს იმ ირიბ ძალვას, რომელიც გადაეცემა შესაბამის აღუნვის სიბრტყეს; ამიტომ ირიბი არმატურის საჭირო განივკვეთი f_i აღუნვის ყოველ სიბრტყეში ტოლი იქნება:



ნახ. 265. მხები ძაბვების შემოწმება ფილის კოჭთან შეერთების ადგილზე.

$$f_i = \frac{\omega_i b}{0{,}8\sqrt{2}\,R'_a}. \qquad (50.7)$$

ცხადია, რომ f_i ფართობების ჯამი აღუნვის ყველა სიბრტყისათვის უდრის ირიბი არმატურის განივკვეთის სრულ F_z ფართობს. f_i-ს სიდიდის მიხედვით ადვილად დაინიშნება ირიბი ღეროების რიცხვი აღუნვის ყოველ სიბრტყეში. ეს ღეროები უნდა მივიღოთ ან გრძივი მუშა არმატურის აღუნვით, ან საგანგებო ღეროების დამატებით. ამის მიხედვით საბოლოოდ დაზუსტდება არმირების ეპიურის სახე.

მთავარი ძაბვების შემოწმებასთან ერთად საჭიროა კიდევ ერთი შემოწმების ჩატარება. იგი ტესებრი კოჭის ფილას ეხება. ეს ფილა კოჭის შეკუმშული ზონის ნაწილს წარმოადგენს და მონაწილეობას უნდა იღებდეს მთლიანი კვეთის მუშაობაში. მაგრამ ფილის კოჭთან შეერთების კვეთებში (მაგ. კვეთი 1—1, ნახ. 265) წარმოიშვება მხები ძაბვები. თუ ისინი მეტად დიდია, შეიძლება მოხდეს კვეთის გამძლეობის დაკარგვა და რღვევა ბზარების გამო. ამიტომ საჭიროა ფილის კოჭთან შეერთების კვეთის გამძლეობის შემოწმება. ტექნიკური პირობების თანახმად გამძლეობის პირობა ასე იწერება:

$$\frac{1{,}5\,\tau\, b}{2h_n\left(1+\dfrac{S_1}{S_2}\right)} \leqslant 0{,}8R'_{r.a}; \qquad (50.8)$$

აქ τ— მთავარი ძაბვაა ნეიტრალურ შრეში. მისი სიდიდე ჩვენთვის უკვე ცნობილია.

S_1—შეკუმშული ზონის ω_1 ფართობის სტატიკური მომენტია ნეიტრალური შრის მიმართ (ω_1 ფართობი მოთავსებულია 1—1 კვეთებს შორის).

S_2—შეკუმშული ზონის ω_2 ფართობის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური შრის მიმართ (ω_2 ფართობი მოთავსებულია 1—1 კვეთების გარეთ).

დანარჩენი აღნიშვნები ნათელია ნახ. 265-დან.

ასეთივე წესით უნდა შემოწმდეს 2—2 კვეთებიც.

ამგვარად ჩვენ განვიხილეთ მთავარი კოჭების დახრილი კვეთების შემოწმება და ირიბი არმატურის გაანგარიშება ახალი ტექნიკური პირობების საფუძველზე. ძველი ტექნიკური პირობებით გაანგარიშებისას (დასაშვები ძაბვე-

ბის მეთოდით) გამოთვლების წესი და მიმდევრობა იგივე რჩება. საჭიროა მხოლოდ გვახსოვდეს, რომ გადამჭრელი ძალები გამოთვლილი უნდა იყოს ნორმატიული დატვირთვების მიხედვით, ხოლო საანგარიშო წინაღობათა ნაცვლად ყველგან უნდა ავიღოთ მთავარი გამჭიმავი ძაბვების დასაშვები სიდიდეები ბეტონისათვის და დასაშვები ძაბვები არმატურისათვის, IV დანართის თანახმად. აღსანიშნავია, რომ დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშების დროს ბეტონის შემოწმება დახრილ კვეთებში ხდება არა მთავარ მკუმშავ ძაბვებზე, არამედ მთავარ გამჭიმავ ძაბვებზე. გაანგარიშების დეტალური წესი მოყვანილია სათანადო სახელმძღვანელოებში [46].

§ 51. მთავარი კოჭების გაანგარიშება მეორე და მესამე ზღვრული მდგომარეობით: სიხისტისა და ბზარების გახსნილობის შემოწმება

რკინაბეტონის ხიდების მთავარი კოჭების გაანგარიშება მეორე და მესამე ზღვრული მდგომარეობით გულისხმობს მათი სიხისტის და ბზარების გახსნილობის შემოწმებას. ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად ეს შემოწმებები უნდა ჩატარდეს ნორმალური ექსპლოატაციის რეჟიმის გათვალისწინებით. ამიტომ გაანგარიშებებში მიიღება მუდმივი დატვირთვის ნორმატიული სიდიდე. დროებითი შეუღი დატვირთვისათვის უნდა გავითვალისწინოთ მხოლოდ დატვირთვის კოეფიციენტი n_2. დინამიკური კოეფიციენტი მხედველობაში არ ძიიღება (იხ. § 42, ცხრილი 17).

1. კოჭების სიხისტის შემოწმება

მთავარი კოჭების ზედმეტი ჩაღუნვა აბრკოლებს მალის ნაშენის ნორმალურ ექსპლოატაციას. ამიტომ მათი დაპროექტების დროს დაცული უნდა იყოს სიხისტის პირობა. იგი შემდეგში მდგომარეობს: მთავარი კოჭის უდიდესი ფაქტიური ჩაღუნვა f, გამოთვლილი დროებითი სტატიკური შეუღი დატვირთვისაგან (n_2 კოეფიციენტის გათვალისწინებით), დასაშვებ $[f]$ სიდიდეზე ნაკლები უნდა იყოს:

$$f \leqslant [f]. \tag{51.1}$$

დასაშვები ჩაღუნვა $[f]$ მოცემულია ტექნიკური პირობების მიერ. რკინაბეტონის კოჭური მალის ნაშენებისათვის მიღებულია $[f]=\frac{1}{800}l$; კონსოლურ ხიდებში კონსოლის ბოლოსათვის $[f]=\frac{1}{250}c$, სადაც l—კოჭის საანგარიშო მალია, c—კონსოლის სიგრძე.

მთავარი კოჭების ფაქტიური f ჩაღუნვა გამოითვლება სამშენებლო მექანიკის ცნობილი ფორმულებით. ზოგად შემთხვევაში ჩაღუნვის ფორმულას ასეთი სახე აქვს:

$$f=\alpha\frac{pl^4}{B}; \tag{51.2}$$

აქ $p=p^{\text{н}}n_2=p_0\frac{K}{2}n_2$—დროებითი შეუღი დატვირთვის ინტენსივობაა (p_0—ეკვივალენტური დატვირთვა ერთეული კლასისთვის, K—დატვირთვის კლასი, n_2—დატვირთვის კოეფიციენტი მე-14 ცხრილიდან).

l—კოჭის საანგარიშო მალი.

α—რიცხვითი კოეფიციენტი, დამოკიდებული კოჭის სტატიკურ სქემაზე (მაგალითად, ჭრილი, თავისუფლად მდებარე კოჭისათვის $\alpha=\frac{5}{384}$ და ა. შ.).

B—მთავარი კოჭის სიხისტე.

(51.2) ფორმულა საშუალებას გვაძლევს ყველა კერძო შემთხვევაში გამოვთვალოთ კოჭის ჩაღუნვა. მთავარ სიძნელეს აქ კოჭის B სიხისტის გამოთვლა წარმოადგენს. შევჩერდეთ ამ საკითხზე.

ჩვენ უკვე აღვნიშნეთ, რომ რკინაბეტონის კოჭური მალის ნაშენის ღუნვადი ელემენტები ექსპლოატაციის დროს მუშაობის II სტადიაში იმყოფება, ე. ი. მათი გაჭიმული ზონა ბზარებითაა დასერილი. ამიტომ ბეტონი მთლიანი კვეთით არ მუშაობს. მიუხედავად ამისა, ტექნიკური პირობები ნებას იძლევა მცირე მალებისათვის გამოვთვალოთ სიხისტე მიახლოებითი მეთოდით, მთელი კვეთის გათვალისწინებით:

$$B = E_b I\,, \tag{51.3}$$

სადაც—I კოჭის მთლიანი კვეთის ინერციის მომენტია, E_b—ბეტონის დრეკადობის საანგარიშო მოდული (ცხრილი 21, § 43).

(51.3) ფორმულა პირობითია და ხშირად დიდ ცდომილებას იძლევა. ამიტომ მისი გამოყენება შეიძლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მთავარი კოჭის საანგარიშო მალი არ აღემატება 20 მ-ს. მეტი ზომის მალების შემთხვევაში საჭიროა სიხისტის გამოთვლა უფრო ზუსტი წესით. ამისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ პროფ. ვ. ი. მურაშოვის თეორია. იგი ითვალისწინებს ღუნვადი ელემენტის ფაქტიური მუშაობის პირობებს: იხილავს ბზარებს გაჭიმულ ზონაში, ბეტონის პლასტიკურ დეფორმაციებს შეკუმშულ ზონაში და ბეტონის მუშაობას გაჭიმვაზე ბზარებს შორის, არმატურასთან ერთად. ამიტომ ვ. ი. მურაშოვის ფორმულები უფრო ზუსტ შედეგს იძლევა, ვიდრე (51.3) ფორმულა. სირთულის გამო ეს ფორმულები ჩვენ არ მოგვყავს. მკითხველი მათ იპოვის სათანადო ლიტერატურულ წყაროებში [19, 27, 35, 64].

2. ბზარების გახსნილობის შემოწმება

რკინაბეტონის მთავარი კოჭების ჩვეულებრივი კონსტრუქციის დროს (არმატურის წინასწარი დაძაბვის გარეშე) გაჭიმულ ზონაში ბზარების თავიდან აცილება პრაქტიკულად შეუძლებელია. იძულებული ვართ შევურიგდეთ მათ არსებობას და ვიზრუნოთ მხოლოდ იმაზე, რომ არ მოხდეს არმატურის დაზიანება. ეს შესაძლებელია ბზარების მნიშვნელოვანი გახსნილობის დროს: ბზარებში შესული ტენი და გაზები გამოიწვევს არმატურის ჟანგვას და კოროზიას. ამიტომ საჭიროა, რომ ბზარების ფაქტიური გახსნილობა a_T არ აღემატებოდეს დასაშვებ $[a]$ სიდიდეს:

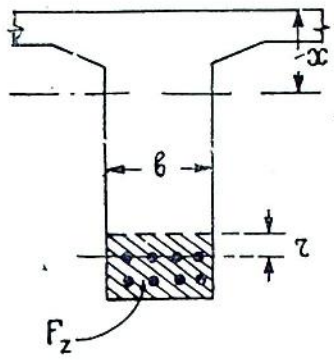
$$a_T \leqslant [a]\,. \tag{51.4}$$

ცდების თანახმად მიღებულია, რომ დასაშვები გახსნილობა $[a]=0{,}3$ მმ.

ბზარების ფაქტიური გახსნილობა a_T მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული. მათ შორის ძირითადია ბეტონის მარკა, ძაბვები არმატურაში, არმატურის ზედაპირის სახეობა, მისი ღეროების დიამეტრი და არმირების ხასიათი. რაც უფრო მაღალია ბეტონის მარკა, მით უფრო მეტია მისი წინაღობა გაჭიმვაზე და მით ნაკლები იქნება ბზარწარმოქმნის ინტენსივობა; რაც უფრო მეტია გამჭიმავი ძაბვები, მით უფრო მეტი იქნება ბოჭკოების წაგრძელება და მეტად გაიხსნება ბზარები. დიდ როლს თამაშობს არმატურის ხასიათი: პერიოდული პროფილის მქონე ღეროებს მეტი შეჭიდულობა აქვს ბეტონთან; ამიტომ ასეთი არმატურის დროს ბზარების გახსნილობა ნაკლებია, ვიდრე გლუვი არმატურის შემთხვევაში. ცხადია აგრეთვე შემდეგი: არმატურის განივკვეთის სრული ფართობის ერთი და იგივე სიდიდის დროს მნიშვნელობა აქვს ღეროე-

ბის დიამეტრსა და რიცხვს; მცირე დიამეტრის ღეროების დროს ბეტონი უფრო ხშირადაა დაარმირებული და მზარწარმოქმნა მცირდება.

ყველა ზემომოყვანილი ფაქტორის თეორიული აღრიცხვა საკმარისად რთულია. საანგარიშო ფორმულების გამოყვანა მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში და რკინაბეტონის კურსებში [27, 35]. ჩვენ მოვიყვანთ მხოლოდ საბოლოო ფორმულებს და გაანგარიშების წესს ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად.



ნახ. 266. ბეტონისა და მუშა არმატურის ურთიერთქმედების ზონა.

საკითხის დასმა ასეთია: მოცემულია კოჭის არმირება (ნახ. 266); საჭიროა ბზარების ფაქტიური გახსნილობის გაანგარიშება და (51.4) პირობის შემოწმება.

პირველ რიგში საჭიროა გამოვარკვიოთ გაჭიმული ზონის ის ნაწილი, რომელიც განიცდის მუშა არმატურის ზეგავლენას ბზარწარმოქმნის თვალსაზრისით. მას ბეტონისა და არმატურის ურთიერთქმედების ზონა ეწოდება. ცხადია, რომ ყოველი ღეროს მოქმედება ბეტონზე, შეჭიდულობის გამო, ვრცელდება გარკვეულ მანძილზე, რომელსაც ურთიერთქმედების რადიუსი ქვია. ცდების თანახმად, ამ რადიუსის სიდიდე ღეროს ექვსმაგი დიამეტრის ტოლია:

$$r = 6d\,.$$

გადავზომოთ r რადიუსი არმატურის ზედა განაპირა რიგის ცენტრიდან ნეიტრალური შრისაკენ[1] და გავავლოთ კვეთის ქვედა წახნაგის პარალელური ხაზი; მიღებული ხაზი, კოჭის კონტურთან ერთად, შემოფარგლავს ბეტონისა და მუშა არმატურის ურთიერთქმედების ზონას (ნახ. 266—კვეთის დაშტრიხული უბანი). ამ ზონის ფართობი აღვნიშნოთ F_r-ით. ურთიერთქმედების ზონის არმირების სიხშირის დასახასიათებლად შემოღებულია არმირების რადიუსის ცნება. მისი სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$R_r = \frac{F_r}{\beta\,(n_1 d_1 + n_2 d_2 + \dots n_i d_i)}\,; \qquad (51.5)$$

აქ d_1, d_2,... ღეროების დიამეტრებია, n_1, n_2,... კი—შესაბამისი ღეროების რიცხვი. ღეროების ერთნაირი დიამეტრის შემთხვევაში გვექნება

$$R_r = \frac{F_r}{\beta\, nd}\,. \qquad (51.6)$$

ორივე შემთხვევაში β კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს არმატურის ღეროების დალაგებას კონების სახით, ან უშუალოდ ერთმანეთზე, უხარვეზო რიგების სახით (ნახ. 257). მისი სიდიდე ტოლია:

ორი ღეროსაგან შემდგარი კონების დროს: 0,85
სამი ღეროსაგან შემდგარი კონების დროს: 0,70

[1] თუ განაპირა რიგში არმატურის ფართობი ქვედა რიგის ფართობის ნახევარზე ნაკლებია, r უნდა გადავზომოთ ქვედა რიგის ცენტრიდან.

ოთხი ან ნაკლები უხარვეზო რიგის დროს: 0,75
ოთხზე მეტი უხარვეზო რიგის დროს: 0,70
დანარჩენ შემთხვევებში $\beta = 1$.

არმირების რადიუსის გამორკვევის შემდეგ შეიძლება უშუალოდ გამოვთვალოთ ბზარების საძიებელი გახსნილობა. ამისათვის იხმარება შემდეგი ფორმულები:

გლუვი არმატურის დროს:

$$a_T = 0{,}8\frac{\sigma_a}{E_a}\psi_1 R_r; \qquad (51.7)$$

პერიოდული პროფილის არმატურის დროს:

$$a_T = 4{,}8\frac{\sigma_a}{E_a}\psi_2\sqrt{R_r}; \qquad (51.8)$$

აქ σ_a ძაბვაა არმატურაში, $E_a = 2100000$ კგ/სმ²—არმატურის დრეკადობის მოდული. ψ_1 და ψ_2—რიცხვითი კოეფიციენტებია. ისინი აღრიცხავენ გაჭიმული ზონის ბეტონის გავლენას არმატურის დეფორმაციებზე. ტექნიკური პირობების თანახმად ეს კოეფიციენტები ტოლია:

150 და 200 მარკის ბეტონისათვის: $\psi_1 = 1{,}0$, $\psi_2 = 0{,}7$
უფრო მაღალი მარკის ბეტონისათვის: $\psi_1 = 0{,}8$, $\psi_2 = 0{,}5$

ფაქტიური გახსნილობის ცნობილი a_T მნიშვნელობის მიხედვით შეიძლება შევამოწმოთ შესრულებულია თუ არა (51. 4) პირობა. უარყოფით შემთხვევაში საჭიროა სათანადო ზომების მიღება (არმატურის დიამეტრის შეცვლა, ბეტონის მარკის გაზრდა და სხვა).

(51.7)—(51.8) ფორმულების გამოყენება რთულდება იმით, რომ აქ საჭიროა წინასწარ გავიგოთ ძაბვა არმატურაში საექსპლოატაციო დატვირთვების დროს (მუდმივი ნორმატიული დატვირთვა და დროებითი შეუული დატვირთვა $p^{\text{ხ}} n_2$). უმეტეს შემთხვევაში ეს ძაბვა, ცხადია, არმატურის გამძლეობის ძირითად წინაღობაზე მეტი არ იქნება (ცხრილი 22, § 43). ასეთ შემთხვევაში ტექნიკური პირობებით ნებადართულია შევამოწმოთ მხოლოდ არმირების რადიუსის სიდიდე. იგი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

გლუვი არმატურისათვის: $R_r \leqslant 60$ სმ.
25 ГС მარკის პერიოდული არმატურისათვის: $R_r \leqslant 140$ სმ.
Ст—5 მარკის პერიოდული არმატურისათვის: $R_r \leqslant 200$ სმ.

(51.4) პირობის შემოწმება ასეთ შემთხვევაში საჭირო აღარ არის.

დეტალური მითითებები ბზარგახსნილობის შემოწმების შესახებ მოცემულია ტექნიკურ პირობებში (ТУПМ-56).

§ 52. საყრდენი ნაწილების გაანგარიშება

რკინაბეტონის კოჭური ხიდების მთავარი კოჭების საყრდენი ნაწილების ძირითადი ტიპები აღწერილი იყო § 9-ში. მათი დაპროექტება სათანადო გაანგარიშების საფუძველზე ხდება. გაანგარიშების მიზანია შევამოწმოთ როგორც თვით საყრდენი ნაწილების ზომები, ისე ბურჯის ზედაპირთან მათი შეხების ფართობი თელვაზე. ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად გაანგარიშება უნდა ჩატარდეს მხოლოდ სიმტკიცეზე. გამძლეობა, როგორც წესი, თავისთავადაა უზრუნველყოფილი და სპეციალურ შემოწმებას არ მოითხოვს.

პირველ რიგში განვიხილოთ ბურჯების თავის თელვის პირობა. როგორც ვიცით, ბურჯების თავზე ეწყობა სპეციალური ფილა, რომლის ზედაპირზეც

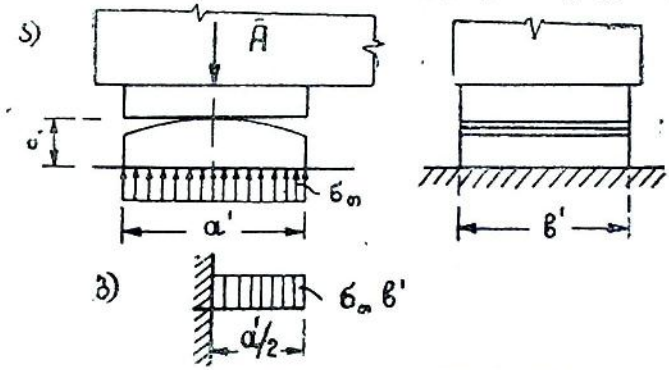
გვაქვს ბაქანი საყრდენი ნაწილების დასადგმელად. ამ ბაქნის ზედაპირი განიცდის თელვას მთავარი კოჭების დაწოლის ზეგავლენით (ნახ. 34). ტექნიკური პირობების თანახმად ფილის ზედაპირის საანგარიშო წინაღობა ადგილობრივ თელვაზე ტოლია:

$$R_{\text{ო}} = \psi R_{np}, \tag{52.1}$$

სადაც

$$\psi = \sqrt[3]{\frac{F}{F_{\text{ო}}}}; \tag{52.2}$$

აქ R_{np}—ფილის ბეტონის პრიზმული სიმტკიცეა, F—საყრდენი ნაწილების დასადგმელი ბაქნის ზედაპირის ფართობი (მოსული ერთ საყრდენ ნაწილზე),



ნახ. 267. ტანგენციალური ბალიშის საანგარიშო სქემა.

$F_{\text{ო}}$—თელვის ფაქტიური ფართობი საყრდენი ნაწილის ქვეშ, ე. ი. საყრდენი ნაწილის ქვედა ბალიშის დაყრდნობის ფართობი:

$$F_{\text{ო}} = a'b';$$

(a', b'—ბალიშის ზომებია გეგმაში).

ტექნიკური პირობების მიხედვით დაცული უნდა იყოს პირობა $\psi \leqslant 1{,}50$.

აღვნიშნოთ მთავარი კოჭის საყრდენი რეაქცია A-თი; მაშინ თელვის შესამოწმებელი პირობა ჩაიწერება ასე:

$$\sigma_{\text{ო}} = \frac{A}{F_{\text{ო}}} \leqslant R_{\text{ო}}. \tag{52.3}$$

ამ პირობის მიხედვით შეიძლება შევამოწმოთ საყრდენი ნაწილის ქვედა ბალიშის ზომები გეგმაში. ცხადია, რომ ასეთივე წესით უნდა შემოწმდეს ზედა ბალიშის ზომები, კოჭის ქვედა წახნაგის თელვის პირობიდან; მაგრამ კოჭის ბეტონის მარკა უმეტეს შემთხვევაში უფრო მაღალია, ვიდრე ფერმისქვეშა ფილისა, ამიტომ ამ შემოწმებას გადამწყვეტი მნიშვნელობა არა აქვს.

უნდა აღინიშნოს, რომ § 38-ში მოცემული იყო საყრდენი ნაწილების გეგმითი ზომების წინასწარ დანიშვნის წესი. იგი დასაშვები ძაბვების მეთოდიდან გამომდინარეობდა. (52.3) ფორმულა შეეფერება ახალ ტექნიკურ პირობებს და უფრო ზუსტია.

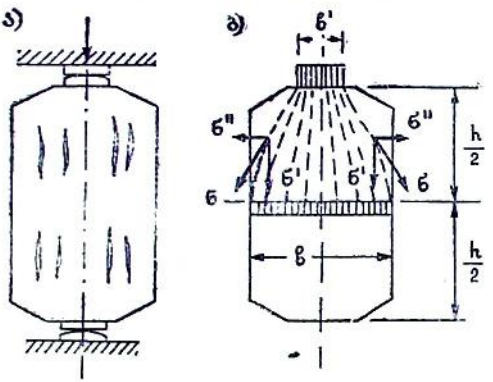
ბალიშების გეგმითი ზომების დადგენის შემდეგ საჭიროა თვით საყრდენი ნაწილის კონსტრუქციის გაანგარიშება.

ტანგენციალური საყრდენი ნაწილის გაანგარიშება მეტად მარტივია. ყოველი ბალიში მუშაობს ღუნვაზე მთავარი კოჭის გრძივი მიმართულებით (ნახ. 267). სიმეტრიის გამო ბალიშის შუა კვეთი მობრუნებას არ

განიცდის, ამიტომ ბალიშის ყოველი ნახევრისათვის საანგარიშო სქემა შეიძლება მივიღოთ კონსოლური კოჭის სახით (ნახ. 267, ბ). კონსოლზე დატვირთვის ინტენსივობა (თელვის ძალვა ბალიშის სიგრძის ერთეულზე) ტოლი იქნება $\sigma_{\text{ო}} b'$, მაქსიმალური მღუნავი მომენტი კი:

$$M_{max} = \frac{\sigma_{\text{ო}} \cdot b'}{2} \left(\frac{a'}{2} \right)^2 . \qquad (52.4)$$

ამ მომენტის მიხედვით უნდა შევამოწმოთ ბალიშის კვეთი; მისი წინაღობის მომენტი ტოლია:



ნახ 268. ლილვაკის მუშაობის სქემა.

$$W = \frac{b' \delta^2}{6} ,$$

სადაც δ—ბალიშის სისქეა; ამიტომ ბალიშის სიმტკიცის შესამოწმებელი ფორმულა ასე ჩაიწერება:

$$\sigma = \frac{M}{W} =$$

$$= 0{,}75 \left(\frac{a'}{\delta} \right)^2 \sigma_{\text{ო}} \leqslant R ; \qquad (52.5)$$

აქ R—ბალიშის საანგარიშო წინაღობაა ღუნვაზე. ტექნიკური პირობების თანახმად $R = 1600$ კგ/სმ² (25-I მარკის სხმული ფოლადისათვის, რომლისგანაც კეთდება ბალიშები). (52.5) პირობა საშუალებას გვაძლევს გამოვარკვიოთ ბალიშის სიმაღლე δ. ამით მთავრდება საყრდენი ნაწილის გაანგარიშება.

საგორავებიანი საყრდენი ნაწილები, როგორც აღნიშნული იყო, რკინაბეტონის ხიდებში იშვიათად იხმარება. ისინი მთლიანად ლითონის კონსტრუქციას წარმოადგენს და დაწვრილებით იქნება განხილული ლითონის ხიდებთან ერთად. აქ ჩვენთვის საინტერესოა ლილვისებური საყრდენი ნაწილის გაანგარიშება. მისი სქემა ნახ. 29-ზე იყო მოცემული. ცხადია, რომ აქაც პირველ რიგში უნდა შემოწმდეს თელვაზე ბალიშების შეხების სიბრტყეები კოჭთან, ლილვაკთან და ბურჯის ბაქნის ზედაპირთან; შემოწმების წესი ზემოთ იყო აღწერილი. ცხადია ავრეთვე, რომ ტანგენციალური ბალიშებიც სათანადო გაანგარიშებას მოითხოვს, ისევ ზემოაღწერილი წესით. დამატებით საჭიროა თვით ლილვაკის ტანის გაანგარიშება. ამისათვის გამოვარკვიოთ წინასწარ მისი მუშაობის პირობები.

გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ არასწორი გაანგარიშების შემთხვევაში ლილვაკის დაზიანება შემდეგნაირად ხდება: მის ტანში, დაყრდნობის ღერძის გასწვრივ, წარმოიშვება შეეული ბზარები, რომლებიც საბოლოოდ ლილვაკის ნგრევას იწვევს (ნახ. 268, ა). ასეთი სურათი გვარწმუნებს, რომ ლილვაკის ტანში თარაზული გამჭიმავი ძაბვები უნდა არსებობდეს, მოქმედი ხიდის ფასადის გასწვრივ. ადგილი სანახავია, რომ ეს მართლაც ასეა; ნახ. 268, ბ-ზე ნაჩვენებია ლილვაკის ტანის დაძაბული მდგომარეობის სურათი: ლილვაკის ზედაპირზე მოქმედებს შეეული მკუმშავი (მთელავი) ძაბვები, გადმოცემული ბალიშიდან; ისინი თანაბრად განაწილებულია ლილვაკის სიგანის ნაწილზე. შეიძ-

ლება ვიგულისხმოთ, რომ სიმაღლის შუა კვეთში მკუმშავი ძაბვები თანაბრად ნაწილდება ლილვაკის მთელ სიგანეზე. ამიტომ ძაბვების განაწილება ლილვაკის ტანში მრუდწირულ ტრაექტორიებს მოჰყვება (ნახ. 268, ბ—წყვეტილი ხაზები). შუალედ წერტილებში მოქმედი დახრილი ძაბვები σ შეიძლება დავშალოთ შვეულ σ' და თარაზულ σ'' მდგენელებად. σ' ძაბვები ლილვაკის კუმშვას იწვევს და ბეტონისათვის საშიში არ არის; რაც შეეხება გამჭიმავ σ'' ძაბვებს, სწორედ ისინია ზემოაღნიშნული ბზარების მიზეზი. ლილვაკის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად მის ტანში უნდა დაიდგას თარაზული არმატურა, რომელიც ამ ძაბვებს აიტანს. მიახლოებითი გამოთვლა გვიჩვენებს, რომ თარაზული გამჭიმავი ძაბვების ტოლქმედი ასე გამოისახება[1]:

$$Z = A\frac{b-b'}{2h},$$

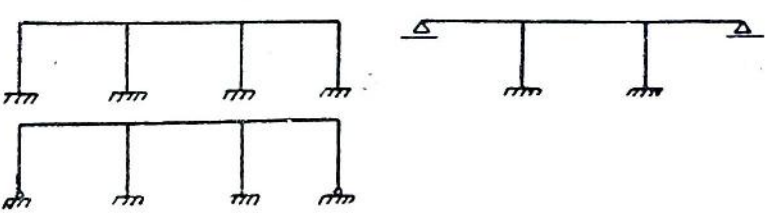
სადაც A—საყრდენი რეაქციაა. ამიტომ თარაზული არმატურის საპირო ფართი ტოლია:

$$F_a = 1{,}5\frac{Z}{R_a} = 1{,}5\frac{A}{R_a}\ \frac{b-b'}{2h}; \qquad (52.6)$$

აქ R_a არმატურის საანგარიშო წინაღობაა სიმტკიცეზე. კოეფიციენტი 1,5 შეტანილია გამჭიმავი ძაბვების არათანაბარი განაწილების მხედველობაში მისაღებად. მიღებული არმატურის ფართობის 60% უნდა განლაგდეს ლილვაკის h სიმაღლის განაპირა მეექვსედებში, დანარჩენი კი—შუა ორ მესამედში.

§ 53. ჩარჩოვანი ხიდების გაანგარიშების თავისებურებანი

ჩარჩოვანი ხიდების რიგელის მუშაობის პირობები ძალიან ახლოა კოჭური ხიდების მთავარი კოჭების მუშაობის პირობებთან; ამასთანავე, ჩარჩოვანი ხიდები შედარებით უფრო იშვიათად გვხვდება. ამიტომ მათ გაანგარიშებას მხოლოდ მოკლედ ვეხებით.



ნახ. 269. ჩარჩოების საანგარიშო სქემები.

ჩარჩოვანი ხიდების საბალასტო გობის ფილის გაანგარიშებაზე შეჩერება საჭირო არ არის—იგი ზუსტად ისეთივე წესით ხდება, როგორც კოჭურ ხიდებში. თავისებურია მხოლოდ მთავარი მზიდი კონსტრუქციის—ჩარჩოს გაანგარიშება.

ჩარჩოს საანგარიშო სქემა მისი ფაქტიური მუშაობის პირობების მიხედვით უნდა დაინიშნოს. კონსტრუქციების განხილვის დროს აღნიშნული იყო, რომ ჩარჩოები უმეტეს შემთხვევაში უსახსრო კეთდება. მხოლოდ ზოგჯერ განაპირა დგარების საძირკველზე დაყრდნობა სრულდება სახსროვანი სახით. ამისდა მიხედვით მივიღებთ ტიპიურ საანგარიშო სქემებს, რომლებიც ნახ. 269-ზეა ნაჩვენები.

[1] გამჭიმავი ძალვის უფრო ზუსტი გამოსახულება, მიღებული ვ. გ. დონჩენკოს მიერ, მოყვანილია ნ. ი. პოლივანოვის წიგნში [3].

მუდმივი და დროებითი დატვირთვები ჩარჩოს რიგელისათვის გამოითვლება იმავე წესით, როგორც კოჭურ ხიდებში; მაგრამ ამ უკანასკნელთაგან განსხვავებით, ჩარჩოვანი ხიდები განიცდის დამატებით ზეგავლენას, დამუხრუჭების ძალის, ტემპერატურის ცვალებადობის, ბეტონის შეკლების და გრუნტების დაჯდომის გამო. ეს ფაქტორები იწვევს დამატებით ძალებს ჩარჩოს რიგელში და სვეტებში, ამიტომ მათი გათვალისწინება გაანგარიშების დროს აუცილებელია.

დამუხრუჭების ძალის მნიშვნელობა მოცემული იყო § 41-ში. მას აქ აღარ გავიმეორებთ. უნდა აღვნიშნოთ მხოლოდ, რომ დამუხრუჭების ძალა პირობით ითვლება მოდებულად რიგელის ღერძის დონეზე.

ტემპერატურული ძალების სიდიდე დამოკიდებულია ტემპერატურის ცვალებადობაზე, რომელიც უნდა ავიღოთ ჩარჩოს ჩაკეტვის ტემპერატურიდან მის მაქსიმალურ, ან მინიმალურ ტემპერატურამდე[1]. ტექნიკური პირობების თანახმად ტემპერატურის ნორმატიული ცვალებადობა გამოითვლება შემდეგი წესით: ჩაკეტვის ტემპერატურა $t_ჩ$ მიიღება 5—15°-ის ფარგლებში, ადგილის კლიმატური პირობების მიხედვით. ჰაერის მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურა ჩარჩოს ადგილმდებარეობაზეა დამოკიდებული. ტექნიკურ პირობებში მოცემულია ივლისისა და იანვრის იზოთერმების რუკები, რომელთა საშუალებით შეიძლება ავიღოთ ჰაერის მაქსიმალური t_{max} და მინიმალური t_{min} ტემპერატურების მნიშვნელობა. ახლა საჭიროა ჩარჩოს რიგელის ღერძის მაქსიმალურ და მინიმალურ ტემპერატურებზე გადასვლა. ამ უკანასკნელთა მნიშვნელობა დამოკიდებულია კონსტრუქციული ელემენტების ზომებზე და მათ დაცულობაზე ჰაერის ტემპერატურის ზეგავლენისაგან. ტექნიკური პირობები იძლევა სპეციალურ გრაფიკებს, რომელთა საშუალებით შეიძლება ჰაერის t_{max} და t_{min} ტემპერატურის მიხედვით ჩარჩოს ღერძის სათანადო t_{max} და t_{min} ტემპერატურების გამორკვევა (იხ. ТУПМ-56, დანართი 13). ამის შემდეგ ტემპერატურის ნორმატიული ცვალებადობის სიდიდე ტოლი იქნება:

ტემპერატურის მომატების დროს:

$$\Delta t_+ = t'_{max} - t_ჩ ;$$

ტემპერატურის შემცირების დროს:

$$\Delta t_- = t_ჩ - t'_{min} ;$$

t'_{max}, t'_{min} სიდიდეები აქ თავისი ნიშნით უნდა ავიღოთ.

ტემპერატურის საანგარიშო ცვალებადობის გამოსათვლელად მიღებული Δt სიდიდეები უნდა გამრავლდეს გადატვირთვის კოეფიციენტზე. ტექნიკური პირობების თანახმად მისი სიდიდე ტოლია: იმ შემთხვევაში, როდესაც ტემპერატურის ზეგავლენის გარდა მხედველობაში მიიღება მხოლოდ მუდმივი და დროებითი დატვირთვა, $n = 1{,}10$; თუკი მხედველობაში მიიღება კიდევ სხვა რაიმე ზეგავლენა (მაგ. ბეტონის შეკლება, ან გრუნტის ჩაჯდომა), მაშინ $n = 1{,}0$.

ბეტონის შეკლების საანგარიშო ზემოქმედება, ტექნიკური პირობების თანახმად, ეთანაბრება ტემპერატურის დაწევას 15°-ით. ამიტომ გაანგარიშების დროს ბეტონის შეკლების გასათვალისწინებლად საკმარისია

[1] ჩაკეტვა ეწოდება ჩარჩოს მშენებლობის იმ მომენტს, როდესაც მისი უკანასკნელი „ჩამკეტი“ ნაწილი ბეტონდება და იგი მუშაობას იწყებს როგორც მთლიანი კონსტრუქცია. ამ მდგომარეობიდან დაწყებული მასში წარმოიშვება ძაბვები ტემპერატურის ცვალებადობის გამო

მხედველობაში მივიღოთ დამატებითი ტემპერატურული ცვალებადობა $\Delta t_- = 15°$.

გრუნტების დაჯდომა გავლენას ახდენს ჩარჩოზე მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ცალკეული საყრდენები არათანაბარ ჩაჯდომას განიცდის; ეს შესაძლებელია არაერთგვაროვანი გრუნტების დროს, მაგრამ ასეთ გრუნტებზე ჩარჩოვანი ხიდები თითქმის არ იხმარება. ამიტომ, როგორც წესი, გრუნტების დაჯდომა მხედველობაში არ უნდა მივიღოთ.

დატვირთვების და გარეშე ზეგავლენათა გამორკვევის შემდეგ საჭიროა ჩარჩოს ელემენტებში საანგარიშო ძალვების გამოთვლა. რიგელისათვის უნდა გამოვთვალოთ მღუნავი მომენტები და გადამჭრელი ძალები, სვეტებისათვის კი მღუნავი მომენტები, გადამჭრელი და ნორმალური (გრძივი) ძალები. ძალვების გამოთვლა ნაშენთა სტატიკის ცნობილი წესებით წარმოებს, ჩარჩოს საანგარიშო სქემის მიხედვით. გამოთვლების გაადვილების მიზნით უნდა ვიხმაროთ დამხმარე ცხრილები, რომლებიც დიდი რაოდენობითაა ცნობილი ტექნიკურ ლიტერატურაში [31, 52, 53].

ტექნიკური პირობების თანახმად ჩარჩოში ძალვების გამოთვლის დროს უნდა გავითვალისწინოთ დატვირთვების ორი თანწყობა[1]: ძირითადი თანწყობა, რომელშიც მუდმივი და დროებითი დატვირთვა შედის, და დამატებითი თანწყობა; ამ უკანასკნელში, გარდა მუდმივი და დროებითი დატვირთვისა, უნდა შევიდეს სხვა ზეგავლენებიც—დამუხრუჭების ძალა, ტემპერატურის ცვალებადობა. ბეტონის შეკლება; ყველა ეს დატვირთვა და ზეგავლენა უნდა ავიღოთ არახელსაყრელი კომბინაციის სახით, დატვირთვისა და გადატვირთვის სათანადო კოეფიციენტების გათვალისწინებით (იხ. § 42). ამგვარად, ჩარჩოს სტატიკური გაანგარიშების შედეგად გამორკვეული იქნება საანგარიშო ძალვები ჩარჩოს რიგელისა და დგარების დამახასიათებელ კვეთებში. მათი მიხედვით უნდა მოხდეს კვეთების სიმტკიცისა და გამძლეობის პირობების შემოწმება. ამ საკითხზე ჩვენ არ შევჩერდებით: რიგელის კვეთების შემოწმება და არმატურის გაანგარიშება ხდება ისეთნაირადვე, როგორც კოჭური ხიდის მთავარი კოჭებისათვის (იხ. § 49). რაც შეეხება დგარებს, მათი კვეთები უნდა შემოწმდეს ექსცენტრულ კუმშვაზე. სათანადო ფორმულები მოყვანილი იყო §§ 45, 46-ში.

კვეთების შემოწმების შედეგად შესაძლებელია საჭირო გახდეს მათი წინასწარდანიშნული ზომების შეცვლა. ეს თავის მხრივ გამოიწვევს ჩარჩოს ელემენტების სიხისტისა და საანგარიშო ძალვების შეცვლას. ძალვების მნიშვნელობა დამოკიდებულია რიგელისა და სვეტების გრძივი სიხისტეების თანაფარდობაზე. ტექნიკური პირობების თანახმად თუ ეს თანაფარდობა 20%-ზე მეტად არ იცვლება, შეიძლება საანგარიშო ძალვების სიდიდე უცვლელი დავტოვოთ. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭიროა სტატიკური ანგარიშის ხელახალი წარმოება და ძალვების ახალი, შეცვლილი მნიშვნელობების გამორკვევა.

---

[1] სეისმურ რაიონებში, ან ჩარჩოს მშენებლობის რთული პირობების დროს უნდა გავითვალისწინოთ განსაკუთრებული თანწყობაც, რომელშიც სეისმური ან სამშენებლო დატვირთვები შევა.

თ ა ვ ი XII

თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენების გაანგარიშება

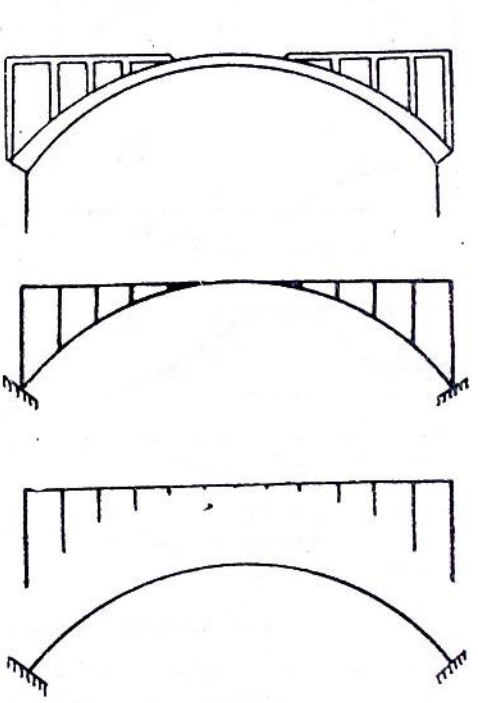
§ 54. ზესავლელი და შუასავლელი ხიდების გაანგარიშება. ზოგადი მითითებები

ზესავლელ და შუასავლელ თაღოვან ხიდებს, როგორც განმბრჯენიან სისტემებს, გაანგარიშების მხრივ ბევრი რამ აქვთ საერთო. მათი მუშაობის პირობები ძალიან ახლოა ერთმანეთთან; ამიტომ საკმარისია დაწვრილებით განვიხილოთ ძირითადი სახეობის—ზესავლელი მალის ნაშენის გაანგარიშების წესი და მოკლედ აღვნიშნოთ შუასავლელი მალის ნაშენის გაანგარიშების თავისებურებანი.

ზესავლელი ხიდის თაღოვანი მალის ნაშენის ჩვეულებრივი კონსტრუქცია აღწერილი იყო § 20-ში. იგი რთულ სივრცულ ნაგებობას წარმოადგენს, რომელსაც მუშაობა უხდება როგორც შვეულ, ისე თარაზულ დატვირთვებზე. ადვილი წარმოსადგენია, რომ გადამწყვეტი მნიშვნელობა შვეულ დატვირთვებს აქვს; მალის ნაშენის ჩვეულებრივი განივი ზომები, მოყვანილი § 39-ში, უმეტეს შემთხვევაში უზრუნველყოფს მის სიმტკიცესა და სიხისტეს თარაზული ძალების მოქმედებისას; ამიტომ მალის ნაშენის გაანგარიშება განივ თარაზულ ძალებზე, როგორც წესი, აუცილებელი არ არის. ჩვენ გავეცნობით ძირითად ამოცანას—მალის ნაშენის გაანგარიშებას შვეულ დატვირთვებზე. საპიროების შემთხვევაში თარაზულ ძალებზე გაანგარიშების მეთოდები შეიძლება შესწავლილ იქნას ლიტერატურული წყაროების საშუალებით [3, 11].

შვეული დატვირთვების ძირითად მზიდ კონსტრუქციას მთავარი თაღი ან კამარები წარმოადგენს. მაგრამ, როგორც ვიცით, თაღზედა ნაშენი ხისტადაა შეერთებული თაღთან და მასთან ერთად მთლიან კონსტრუქციას ქმნის (ნახ. 270, ა); ცხადია, რომ იგი მონაწილეობას მიიღებს მთავარი თაღის მუშაობაში. ამიტომ ფაქტიურად მალის ნაშენის მზიდი კონსტრუქცია წარმოადგენს რთულ სისტემას, შემდგარს თაღისა (ან კამარის) და თაღზედა ჩარჩოსაგან. მისი საანგარიშო სქემა ნახ. 270, ბ-ზეა მოცემული. ძალვების ზუსტი მნიშვნელობის უზრუნველსაყოფად ყველაზე კარგი იქნებოდა სწორედ ასეთი სქემა მიგვეღო გაანგარიშების საფუძვლად. მაგრამ ეს მეტად ართულებს გამოთვლებს. მართლაც, ნახ. 270, ბ-ზე ნაჩვენები სისტემა მრავალჯერ სტატიკურად ურკვევია; ძალთა მეთოდით გაანგარიშების დროს ზედმეტი უცნობების რაოდენობა იქნება $3(n+1)$, სადაც n—თაღზედა ნაშენის პანელების რიცხვია; ჩვეულებრივ პირობებში ეს რიცხვი 8—10-ზე ნაკლები არ არის და აქედან ადვილი წარმოსადგენია, თუ რა სირთულეს წარმოადგენს ასეთი სისტემების გაანგარიშება. ამიტომ საპროექტო პრაქტიკაში გამარტივებული ხერხი იხმარება: მალის ნაშენი იყოფა ორ ნაწილად—თაღი (ან კამარა) და თაღზედა ჩარჩო, და

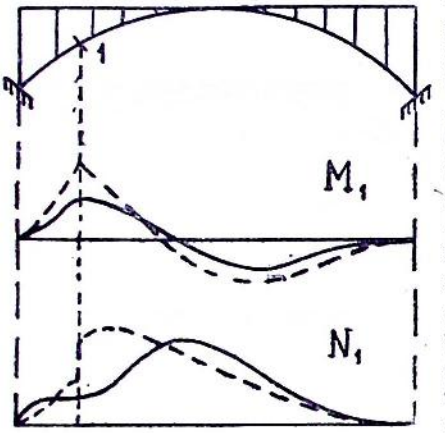
თითოეული ნაწილი გაიანგარიშება დამოუკიდებლად (ნახ. 270, გ). ცხადია. რომ გაანგარიშების ასეთი მეთოდი მიახლოებითია; იგი უგულებელყოფს თაღისა და ზედნაშენის ურთიერთქმედებას. ზუსტი ანალიზური გამოთვლები, ექსპერიმენტები მოდელებზე და არსებული მალის ნაშენების გამოცდა გვიჩვენებს, რომ თაღზედა ნაშენი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს თაღის მუშაობაში; იგი იღებს თავის თავზე დატვირთვების ნაწილს და განტვირთავს თაღს. მეორე მხრივ, თაღის დეფორმაციის გამო ზედნაშენის ჩარჩოში წარმოიშვება დამატებითი ძალვები და იცვლება მისი მუშაობის პირობები. ამიტომ თაღისა და ზედნაშენის დამოუკიდებელი გაანგარიშების დროს ცხადია ვერ მივიღებთ ძალვების განაწილების ზუსტ სურათს. ამის საილუსტრაციოდ ნახ. 271-ზე მოყვანილია თაღოვანი მალის ნაშენის ზოგიერთი ძალვის გავლენის ხაზები; წყვეტილი ხაზებით ნაჩვენებია გავლენის ხაზები, აგებული მიახლოებითი წესით (თაღისა და ზედნაშენის დამოუკიდებელი გაანგარიშებით), მთლიანით კი— გავლენის ხაზები, მიღებული ზუსტი გაანგარიშების ან ექსპერიმენტის შედეგად. როგორც ვხედავთ, განსხვავება შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს. რამდენად დასაშვებია ასეთ პირობებში გაანგარიშების მიახლოებითი წესის გამოყენება? ადვილი წარმოსადგენია, რომ გამარტივების შედეგად მიღებული ცდომილება დამოკიდებული იქნება თაღისა და ზედნაშენის სიხისტეების თანაფარდობაზე: რაც უფრო მცირეა ზედნაშენის სიხისტე თაღის სიხისტესთან შედარებით, მით ნაკლებია მისი მონაწილეობა ერთობლივ მუშაობაში და მით უფრო მცირეა ცდომილება, გამოწვეული ერთობლივი მუშაობის უგულებელყოფით. გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ ჩვეულებრივი სახის მალის ნაშენებში სიხისტეების თანაფარდობა ისეთია, რომ თაღის ძალვებისათვის მიახლოებითი წესი დასაშვებ ცდომილებას იძლევა, თანაც ეს ცდომილება მარაგში მიდის. ამიტომ თაღის გაანგარიშებისათვის მიახლოებითი წესის გამოყენება დასაშვებია. ზედნაშენის ძალვების მხრივ მდგომარეობა უფრო უარესია: აქ ცდომილება უფრო მეტი გამოდის და, რაც მთავარია, ზოგიერთი კვეთისათვის მარაგს არ იძლევა. მიუხედავად ამისა, მაინც იძულებული ვართ მივმართოთ



ნახ. 270. ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის მუშაობის სქემა.

მიახლოებით მეთოდს. ამასთან ერთად უნდა გვახსოვდეს ძალვების ფაქტიური განაწილება ზედნაშენის კვეთებში და მივიღოთ კონსტრუქციული ზომები სუსტი ადგილების გასაძლიერებლად. ასეთებია მოკლე დგარების რიგელთან ან თაღთან შეერთების კვანძები. როგორც ვიცით, აქ გაძლიერებული არმატურა იდგმება, ან სახსრები კეთდება.

აღსანიშნავია, რომ ამჟამად დიდი კვლევა წარმოებს თაღოვანი მალის ნაშენების გაანგარიშების უფრო ზუსტი და თან მარტივი მეთოდების გამომუშავების მიზნით. თაღისა და ზედნაშენის ერთობლივი მუშაობის აღრიცხვა და გათვალისწინება რკინაბეტონის ხიდების თეორიის ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს. სხვადასხვა ავტორის მიერ უკვე წამოყენებულია გაანგარიშების რამდენიმე მეთოდი [3, 40], მაგრამ ისინი ჯეროვნობით მოკლებულია საინჟინრო პრაქტიკისათვის საჭირო სიმარტივეს და მხოლოდ კვლევითი მუშაობისათვის გამოიყენება. ხიდების დაპროექტების დროს უმეტესად იხმარება ის გამარტივებული წესი, რომელიც ზემოთ იყო მოყვანილი.



ნახ. 271. თაღოვანი მალის ნაშენის ძალვების მიახლოებითი და ზუსტი გავლენის ხაზები.

ამგვარად, ზესავლელი და შუასავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების გაანგარიშების დროს ცალ-ცალკე იანგარიშება ჯერ თაღზედა ნაშენი და შემდეგ მთავარი თაღი ან კამარები. ამ ელემენტების გაანგარიშების წესი მომდევნო პარაგრაფებშია განხილული.

§ 55. თაღზედა ნაშენის გაანგარიშება

როგორც წინა პარაგრაფში აღვნიშნეთ, თაღზედა ნაშენი გაიანგარიშება თაღისაგან (ან კამარისგან) დამოუკიდებლად. ზედნაშენის საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია ნახ. 272, ა-ზე. სტატიკური თვალსაზრისით იგი ჩარჩოს წარმოადგენს. საკითხი რთულდება იმით, რომ ჩარჩოს დგარები ცვალებადი სიმაღლისაა; გარდა ამისა, ამ დგარების დასაყრდენს თაღი ან კამარა წარმოადგენს, ეს უკანასკნელი კი ჩაღუნვას განიცდის დატვირთვის მოქმედების დროს. ამიტომ ჩარჩოს საყრდენების ფუძე (გარდა განაპირა დგარისა) დრეკადია. ასეთი ჩარჩოს გაანგარიშება თავისთავად რთული ამოცანაა, ამიტომ პრაქტიკაში შემდეგ გამარტივებას მიმართავენ: როგორც ვიცით, ზედნაშენის მაღალი დგარები საკმარისად თხელი და მოქნილი კეთდება,[1] ამიტომ დიდი საყრდენი მომენტების შექმნა მათ არ შეუძლიათ; მოკლე დგარები უმეტეს შემთხვევაში ხორციელდება სახსროვანი შეერთებებით (იხ. § 20) და მომენტზე სულ არ

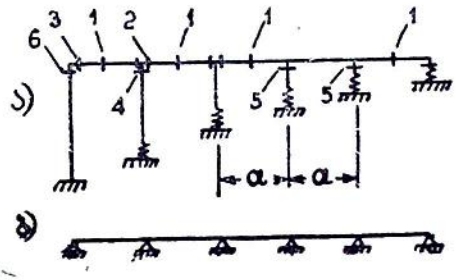
[1] როგორც § 39-ში იყო აღნიშნული, სვეტის სიგანე ხიდის ფასადის სიბრტყეში აიღება მისი სიმაღლის $\frac{1}{20} \div \frac{1}{25}$.

მუშაობს. ამის გამო ჩარჩოს რიგელი მიახლოებით შეიძლება განვიხილოთ როგორც მრავალმალიანი უჭრი კოჭი (ნახ. 272, ბ). ასეთი სქემა მეტად აადვილებს გაანგარიშებას და საშუალებას გვაძლევს ადვილად გამოვთვალოთ მღუნავი მომენტები რიგელის კვეთებში. ჩვეულებრივად საკმარისია რიგელი განვიხილოთ როგორც სამმალიანი უჭრი კოჭი და დანარჩენ შუალედ მალებში მომენტები ავიღოთ როგორც სამმალიანი კოჭის შუა მალისათვის. გადამჭრელი ძალები რიგელში ადვილად მიიღება იმავე უჭრი კოჭის საანგარიშო სქემიდან.

დგარებისათვის საანგარიშო ძალვებს წარმოადგენს ნორმალური ძალები და მღუნავი მომენტები. დგარებზე გადაცემული მღუნავი მომენტის სიდიდე დამოკიდებულია რიგელისა და დგარის სიხისტეების ფარდობაზე:

$$k=\frac{I_{ს}h}{I_{დ}a}; \qquad (55.1)$$

აქ $I_{ს}$ და $I_{დ}$—რიგელისა და დგარის ინერციის მომენტია, h—დგარის სიმაღლე, a—თაღზედა ჩარჩოს პანელი (რიგელის საანგარიშო მალი). ადვილი გასაგებია, რომ რაც უფრო მეტია k ფარდობა, მით უფრო ნაკლები მომენტი გადაეცემა დგარს. მიახლოებით, მომენტის სიდიდე შუალედი დგარის ზედა კვეთში შეიძლება მივიღოთ:



ნახ. 272. ზედნაშენის საანგარიშო სქემები.

$$\left.\begin{aligned} M_{4}&=0{,}1\,M_{2};\ \text{თუ}\ k\geqslant 4;\\ M_{4}&=0{,}2\,M_{2};\ \text{თუ}\ k\leqslant 1.\end{aligned}\right\} \qquad (55{,}2$$

აქ M_2—რიგელის საყრდენი მომენტია; k ფარდობის შუალედი მნიშვნელობებისათვის M_4 მომენტი გამოითვლება სწორხაზოვანი ინტერპოლაციით. განაპირა დგარისათვის მომენტი ზედა კვეთში ტოლია:

$$M_{6}=\frac{2}{3}\,\frac{M_{0}}{1+k}, \qquad (55.3)$$

სადაც M_0—მაქსიმალური მომენტია a-მალიანი უბრალო კოჭის შუა კვეთში.

ნორმალური ძალები დგარებში შეიძლება გამოვთვალოთ როგორც რიგელის (უჭრი კოჭის) სათანადო რეაქციები. ქვედა კვეთისათვის ნორმალური ძალის სიდიდეში შევა აგრეთვე დგარის საკუთარი წონაც.

თაღზედა ნაშენის გაანგარიშების ზემომყვანილი წესი მოითხოვს უჭრი კოჭის მომენტების გამოთვლას. ესკიზური (მიახლოებითი) გაანგარიშებისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ კიდევ უფრო მარტივი წესი. მისი აზრი იმაში მდგომარეობს, რომ საანგარიშო ძალვებისათვის მოცემულია მზა ფორმულები, დადგენილი პრაქტიკული გამოთვლების საფუძველზე. ქვემოთ მოგვყავს ეს ფორმულები. კვეთების აღნიშვნა მოცემულია ნახ. 272, ა-ზე.

მღუნავი მომენტები რიგელის მალის შუა კვეთში:

$$\max M_1 = \frac{(g+p)a^2}{12}; \quad \min M_1 = -\frac{(g+p)a^2}{120};$$

მომენტები რიგელის შუალედ საყრდენებზე:

$$\max M_2 = -\frac{(g+p)a^2}{10}; \qquad \min M_2 = \frac{(g+p)a^2}{50};$$

მომენტები რიგელის განაპირა საყრდენზე:

$$\max M_3 = -\frac{(g+p)a^2}{30}; \qquad \min M_3 = \frac{(g+p)a^2}{50};$$

მომენტი შუალედი დგარების ზედა კვეთებში (55.4)

$$M_4 = \pm\frac{pa^2}{30};$$

მომენტი განაპირა მოკლე დგარების ზედა კვეთში (გარდა სახსროვანისა):

$$M_5 = \pm\frac{pa^2}{20};$$

გადამჭრელი ძალები რიგელის საყრდენ კვეთებში:

$$Q_2 = \frac{(g+p)a}{2}.$$

ამ ფორმულებში g — მუდმივი დატვირთვის, ხოლო p — დროებითი დატვირთვის საანგარიშო ინტენსივობაა; ამ სახით ფორმულები გამოსადეგია სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის. გამძლეობაზე გაანგარიშების დროს g, p დატვირთვები, როგორც ვიცით, უნდა შეიცვალოს g^H და p' დატვირთვებით. დატვირთვების ინტენსივობა გამოითვლება იმავე წესით, როგორც კოჭური მალის ნაშენების მთავარი კოჭებისათვის, ე. ი. (48.1)—(48.4) ფორმულებით.

საანგარიშო ძალვების გამოთვლის შემდეგ საჭიროა თაღზედა ნაშენის ელემენტების კვეთებია შემოწმება. რიგელის კვეთების შემოწმების წესი მის კონსტრუქციაზეა დამოკიდებული. როგორც § 20-ში იყო აღნიშნული, ზედნაშენის ჩარჩოს რიგელი შეიძლება იყოს ფილოვანი ან წიბოვანი ტიპის (ნახ. 273). ფილოვანი რიგელის შემთხვევაში საანგარიშო კვეთი მართკუთხა ფილას წარმოადგენს (ნახ. 273, ა); მისი შემოწმება ზემომყვანილ მომენტებზე ხდება ჩვეულებრივი წესით, 45, 46 პარაგრაფების მითითების თანახმად. ტროტუარის კონსოლები იანგარიშება დამოუკიდებლად, ღუნვაზე ხიდის მართობი მიმართულებით. წიბოვანი რიგელი (ნახ. 273, ბ) ღუნვაზე მუშაობის თვალსაზრისით წარმოადგენს ტესებრი კვეთის კოჭს; მისი კვეთების შემოწმება ხდება იმავე წესით, როგორც კოჭური ხიდების მთავარი კოჭებისათვის (იხ. § 49). ამ შემთხვევაში სავალი ნაწილის ფილა მუშაობს ღუნვაზე ხიდის განივად, ისე როგორც კოჭურ მალის ნაშენებში. იგი წინასწარ უნდა იყოს გაანგარიშებული, § 47-ში მოცემული წესის მიხედვით.

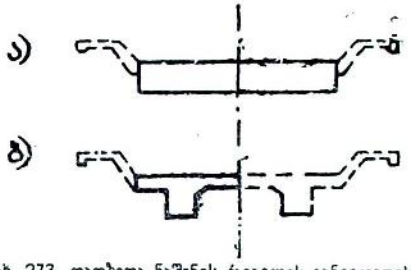
დგარები უნდა გაანგარიშდეს მომენტისა და ნორმალური ძალის ერთობლივ მოქმედებაზე, ე. ი. ექსცენტრულ კუმშვაზე. კვეთების შესამოწმებელი ფორმულები მოცემული იყო §§ 45, 46-ში. აქ დამატებით უნდა აღინიშნოს

შემდეგი: დიდი სიმაღლის დროს საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ ის გარემოება, რომ მომენტის მოქმედების გამო დგარი გაღუნვას განიცდის და წარმოიშვება დამატებითი მომენტი ნორმალური ძალისაგან, ე. ი. იზრდება საანგარიშო მომენტის სიდიდე. ამ მოვლენის გასათვალისწინებლად. ტექნიკური პირობების თანახმად, ნორმალური ძალის საანგარიშო ექსცენტრისიტეტი კვეთის ცენტრის მიმართ უნდა გავზარდოთ ψ კოეფიციენტზე გამრავლებით; ამ უკანასკნელის სიდიდე ასეთი ფორმულით გამოითვლება:

$$\psi = \frac{1}{1 - k\frac{N}{N_э}}; \qquad (55.5)$$

აქ N—საანგარიშო ნორმალური ძალვაა დგარში, $k = 2{,}50$—რიცხვითი კოეფიციენტი. ხოლო $N_э$—კრიტიკული მკუმშავი (ეილერის) ძალა დგარის კვეთისათვის:

$$N_э = \frac{\pi^2 E_б I_б}{l_0^2}; \qquad (55.6)$$



ნახ. 273. თაღზედა ნაშენის რიგელის განივკვეთის საანგარიშო სქემები. ა—ფილოვანი რიგელი, ბ—წიბოვანი რიგელი.

სადაც $I_б$ დგარის სრული კვეთის ინერციის მომენტია (უარმატუროდ), $E_б$—ბეტონის დრეკადობის მოდული, l_0—კი დგარის საანგარიშო სიგრძე, რომელიც შეიძლება მივიღოთ მისი გეომეტრიული სიმაღლის ტოლად.

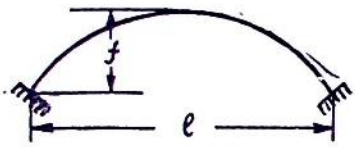
§ 56. თაღების და კამარების გაანგარიშება. მითითებანი ძვესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის გაანგარიშების შესახებ

ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების ძირითადი მზიდი კონსტრუქცია—თაღი ან კამარა—პრაქტიკულად გაიანგარიშება ზედნაშენისაგან დამოუკიდებლივ; როგორც ვიცით, უმეტეს შემთხვევაში იგი უსახსრო კეთდება და თავისი საანგარიშო სქემით სამჯერ სტატიკურად ურკვევ სისტემას წარმოადგენს (ნახ. 274). უსახსრო თაღის (ან კამარის) გაანგარიშების პრინციპები განხილული იყო ქვის ხიდების კურსში[1]: ზოგად შემთხვევაში შეიძლება მივმართოთ ძალთა მეთოდს და მისი საშუალებით გამოვარკვიოთ ზედმეტი უცნობები; მაგრამ გაანგარიშების ანალიზური წესი იშვიათად იხმარება—პრაქტიკაში თითქმის ყოველთვის მიმართავენ დაჩქარებულ გაანგარიშების სხვადასხვა ხერხებს, დამხმარე ცხრილების საშუალებით. ქვის ხიდების კურსში აღნიშნული იყო, რომ ამ ხერხებიდან ყველაზე უფრო გავრცელებული და მოხერხებულია შტრასნერ-ზავრიევის მეთოდი [15]. იქვე იყო მოყვანილი ამ მეთოდის ძირითადი დებულებები, გაანგარიშების მიმდევრობა, გავლენის ხაზების დატვირთვისა და ძალვების გამოთვლის წესი. ამიტომ ამ საკითხის დეტალურ განხილვას აქ აღარ შევუდგებით. აღვნიშნავთ მხოლოდ იმ თავისებურებებს, რომლებიც რკინაბეტონის თაღების (კამარების) გაანგარიშებას ახასიათებს.

რკინაბეტონის თაღების გაანგარიშება ხდება დატვირთვების ძირითად და დამატებით თანწყობებზე. ძირითად თანწყობაში შედის მუდმივი დატვირთვა და დროებითი შეუღლი დატვირთვა. ამ თანწყობაზე საჭიროა როგორც სიმტკიცის, ისე გამძლეობის პირობების შემოწმება. მუდმივი და

[1] იხ. წიგნის I ნაწილი, § 44.

დროებითი დატვირთვების ნორმატიული და საანგარიშო ინტენსივობის გამოთვლა ხდება ისეთივე წესით, როგორც კოჭოვანი მალის ნაშენების მთავარი კოჭებისათვის (იხ. § 48), მხოლოდ უნდა გვახსოვდეს შემდეგი: მთლიანი თაღის შემთხვევაში დატვირთვები და ძალვები ჩვეულებრივ ითვლება თაღის მთელი სიგანისათვის, ამიტომ (48.3) ფორმულაში კოეფიციენტი 1/2 საჭირო არ არის; იგი სამართლიანია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც მალის ნაშენში ორი დამოუკიდებელი კამარაა და ძალვები ერთი კამარისათვის ითვლება.



ნახ. 274. თაღის ან კამარის საანგარიშო სქემა.

დინამიკური კოეფიციენტი $1+\mu$ უნდა გამოითვალოს (41.6) ფორმულის მიხედვით. თავისთავად ცხადია, რომ მუდმივი დატვირთვის ინტენსივობაც სათანადოდ უნდა გამოითვალოს: მთლიანი თაღის დროს—მთელი მალის ნაშენისათვის და ცალკე კამარების დროს კი—ერთი კამარისათვის.

დამატებით თანწყობაში გარდა შეული დატვირთვებისა შედის ტემპერატურის ცვალებადობა, ბეტონის შეკლება და დამუხრუჭების ძალა. ამ თანწყობისათვის საჭიროა მხოლოდ სიმტკიცის პირობების შემოწმება. ტემპერატურის ცვალებადობის გამოთვლის წესი მოცემული იყო ჩარჩოვანი ხიდების განხილვის დროს (§ 53); იქვე იყო აღნიშნული, რომ ბეტონის შეკლების ზეგავლენის გასათვალისწინებლად მხედველობაში უნდა მივიღოთ ტემპერატურის დამატებითი დაწევა $\Delta t_- = 15°$-ით. დამუხრუჭების ძალით გამოწვეული მომენტები უმეტეს შემთხვევაში უმნიშვნელოა და ის შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ.

ზემომოყვანილი დატვირთვების და ზეგავლენების მიხედვით შტრასნერ-ზავრიევის მეთოდით გამოითვლება საანგარიშო ძალვები — მღუნავი მომენტები და ნორმალური ძალები—თაღის ან კამარის საანგარიშო კვეთებში. წინასწარი გაანგარიშების დროს ან მცირემალიან ხიდებში საანგარიშო კვეთებად მიიღება კვეთი თაღის ქუსლში, კლიტეში და მეოთხედში, დიდი მალების დროს საჭიროა დამატებითი შუალედი კვეთების განხილვაც. ძალვების გამოთვლის შემდეგ ხდება კვეთების არმატურის შერჩევა და მათი სიმტკიცის და გამძლეობის პირობების შემოწმება. სათანადო მითითებები მოცემული იყო §§ 45, 46-ში. კამარის ან თაღის გაღუნვის გავლენა მღუნავი მომენტის სიდიდეზე მხედველობაში უნდა მივიღოთ (55.5), (55.6) ფორმულების საშუალებით. ამ ფორმულებში რიცხვითი k კოეფიციენტის სიდიდე უნდა მივიღოთ: ძირითადი თანწყობის ძალვებისათვის $k=2{,}5$, დამატებითი თანწყობის ძალვებისათვის კი $k=2{,}0$. უსახსრო თაღის ან კამარის საანგარიშო სიგრძე შეულ სიბრტყეში გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

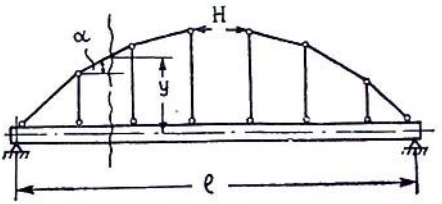
$$l_0 = \frac{S}{2{,}85\sqrt{1-\left(\frac{S}{2\pi r}\right)^2}}; \qquad (56.1)$$

აქ S—თაღის ღერძის სიგრძეა (ჩამაგრების კვეთებს შორის), r—თაღის ქუსლების და კლიტის ცენტრებზე გატარებული წრეხაზის რადიუსი.

თაღებისა და კამარების გაანგარიშებაზე დასაშვები ძაბვების მეთოდით ჩვენ არ შევჩერდებით: ის განსხვავებები, რომლებიც დაკავშირე-

ბულია დატვირთვების და ძალვების გამოთვლასთან და კვეთების შემოწმებასთან, საკმარისად იყო გაშუქებული კოჭური ხიდების განხილვის დროს. გაანგარიშების მიმდევრობა დეტალურადაა მოცემული ტექნიკურ ლიტერატურაში [46].

მოკლედ შევჩერდეთ ქვესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების გაანგარიშების თავისებურებაზე. მათი სავალი ნაწილის კონსტრუქცია აღწერილი იყო § 25-ში; იქვე იყო განხილული სავალი ნაწილის ელემენტების მუშაობის პირობები, რაც საშუალებას გვაძლევს ადვილად დავადგინოთ მათი საანგარიშო სქემები. გრძივი კოჭები ჩვეულებრივ გაიანგარიშება მრავალმალიანი უჭრი კოჭების სახით, განივი კოჭები კი—როგორც ერთმალიანი თავისუფლად მდებარე კოჭები.



ნახ. 275. ხისტი შემკვრელიანი და დრეკადი კამარიანი სისტემის საანგარიშო სქემა.

ქვესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენის მთავარ მზიდ კონსტრუქციას შემკვრელიანი კამარა წარმოადგენს. სხვადასხვა ტიპის კამარების საანგარიშო სქემები მოცემული იყო § 24-ში. მაგალითისათვის აქ განვიხილოთ კონსტრუქცია ხისტი შემკვრელით და დრეკადი კამარით (ნახ. 275). ვინაიდან კამარა მღუნავ მომენტებზე არ მუშაობს, იგი შეიძლება წარმოვიდგინოთ სახსროვნად შეერთებული ღეროების სისტემის სახით; საკიდებიც საკმარისად თხელი კეთდება და მომენტზე არ მუშაობს, ამიტომ ისინიც შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ღერძულ ძალებზე მომუშავე ღეროები, სახსროვნად შეერთებული კამარასთან და შემკვრელთან. ამგვარად წარმოდგენილი საანგარიშო სქემა ერთჯერ სტატიკურად ურკვევია; ზედმეტ უცნობად ხელსაყრელია მივიღოთ ძალვა კამარის შუა პანელში, ე. ი. კამარის განმბრჯენი H. განმბრჯენის გამოთვლა შეიძლება ძალთა მეთოდის კანონიკური განტოლების საფუძველზე, მაგრამ გაანგარიშების გამარტივების მიზნით უმჯობესია მივმართოთ დამხმარე ცხრილებს და გრაფიკებს, რომლებიც მოცემულია ტექნიკურ ლიტერატურაში [8,47]. ისინი საშუალებას გვაძლევენ ადვილად ავაგოთ განმბრჯენის გავლენის ხაზი. ამის შემდეგ საკითხი უკვე ადვილად წყდება: ძალვები სისტემის ნებისმიერ კვეთში განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

მკუმშავი ძალვა კამარაში:

$$N=\frac{H}{\cos\alpha}; \tag{56.2}$$

გამჭიმავი ძალვა შემკვრელში

$$N_1=H; \tag{56.3}$$

მღუნავი მომენტი შემკვრელში:

$$M=M^{\circ}-Hy; \tag{56.4}$$

გადამჭრელი ძალა შემკვრელში:

$$Q=Q^{\circ}-H\operatorname{tg}\alpha; \tag{56.5}$$

აქ M°, Q°—მღუნავი მომენტი და გადამჭრელი ძალაა იმავე მალის უბრალო (ორ საყრდენზე მდებარე) კოჭის სათანადო კვეთში, y და α—კამარის ორდინატი და მისი მხების დახრის კუთხე განსახილველ კვეთში. მოცემული ფორმულების საშუალებით ადვილად ავაგებთ საძიებელი ძალვების გავლენის ხაზებს და ამ უკანასკნელთა დატვირთვით ვიპოვით მათ საანგარიშო სიდიდეს. აღსანიშნავია, რომ გაანგარიშების მოცემული წესი გამოსადეგია ხისტი კამარისა და ხისტი შემკვრელის შემთხვევაშიც, მხოლოდ M მომენტის მიღებული სიდიდე უნდა გავანაწილოთ კამარასა და შემკვრელს შორის, § 24-ში მოცემული (24.4) ფორმულების საშუალებით. ხისტკამარიანი და დრეკადშემკვრელიანი სისტემის გაანგარიშება ანალოგიურად ხდება.

თავი XIII

ბურჯების გაანგარიშება

§ 57. ზოგადი ცნობები. ბურჯებზე მოქმედი დატვირთვები და საანგარიშო ძალები

ახალი ტექნიკური პირობების თანახმად რკინაბეტონის ხიდების ბურჯები უნდა გავიანგარიშოთ I და II ზღვრულ მდგომარეობაზე. I ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშება სავალდებულოა ყველა სახის ბურჯებისათვის: იგი გულისხმობს ბურჯების სიმტკიცისა და მდგომარეობის მდგრადობის (წაცურებისა და გადაბრუნების) პირობების შემოწმებას. მეორე ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშება ითვალისწინებს ბურჯების შეეული ჩაჯდომის და მათი თავის თარაზული გადაადგილების შემოწმებას; იგი სავალდებულოა მხოლოდ დიდი ხიდების ბურჯებისათვის, რომელთა მთლიანი სიგრძე აღემატება 100 მ-ს, ხოლო მალების სიდიდე 55 მ-ს; მხოლოდ ლიოსისებრი გრუნტების დროს ან მაღალი ხიმინჯოვანი როსტვერკის შემთხვევაში ეს გაანგარიშება აუცილებელია ყველა ზომის ხიდისათვის.

ხიდების ბურჯების ძირითადი ზომები ჩვეულებრივ დანიშნულია ხიდის დაპროექტების დროს, ამიტომ გაანგარიშების მიზანია ბურჯების წინასწარ დანიშნული ზომების შემოწმება. გაანგარიშება რამდენიმე თანმიმდევარ ოპერაციას შეიცავს. პირველ რიგში საჭიროა გამოიხაზოს ბურჯის სქემა და დაინიშნოს მისი საანგარიშო კვეთები; ასეთ კვეთებად მიიღება საძირკვლის ფუძისა და შენაჭრის კვეთი და ყველა ის ადგილი, სადაც წყობის ზომების მკვეთრი ცვლილება ხდება (ნახ. 276, კვეთები I—I, II—II, III—III). ამის შემდეგ უნდა დაინიშნოს ბურჯის ნაწილების მასალა და გამოირკვეს მათი საანგარიშო წინაღობები; ბეტონის წყობის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები დამოკიდებულია მის მარკაზე, ხოლო ქვის წყობისა დამატებით აგრეთვე წყობის ხასიათზე. წინაღობათა სიდიდე სხვადასხვა სახის წყობებისათვის, დადგენილი ახალი ტექნიკური პირობებით, მოცემულია V დანართში. წინასწარ აუცილებელია აგრეთვე ბურჯის ფუძის გრუნტის საანგარიშო წინაღობის დადგენა. ეს უნდა მოხდეს სათანადო საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევის საფუძველზე, რომელიც იძლევა გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს. თუ ასეთი მონაცემები არა გვაქვს, გრუნტის პირობითი წინაღობა R' შეიძლება საორიენტაციოდ დავადგინოთ მისი ხასიათის მიხედვით; სათანადო რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია VI დანართში. ამ სიდიდეების მიხედვით შეიძლება ვიპოვოთ გრუნტის საანგარიშო წინაღობა, შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$R=1{,}15\{R'[1+k_1(b-2)]+k_2\gamma(h-3)\}; \qquad (57.1)$$

აქ R'—გრუნტის პირობითი წინაღობაა (VI დანართის მიხედვით), b—სა-

ძირკვლის უმცირესი სიგანე[1], h—საძირკვლის ჩაღრმავება გაპორეცხვის დონიდან, γ—გრუნტის მოცულობითი წონა ტ/მ³-თ, k_1 და k_2 კი—რიცხვითი კოეფიციენტები. მათი სიდიდე მოცემულია VI დანართში.

(57.1) ფორმულა სამართლიანია არაკლდოვანი გრუნტებისათვის. კლდოვანი გრუნტების საანგარიშო წინაღობა ღერძული კუმშვის დროს გამოითვლება ფორმულით:

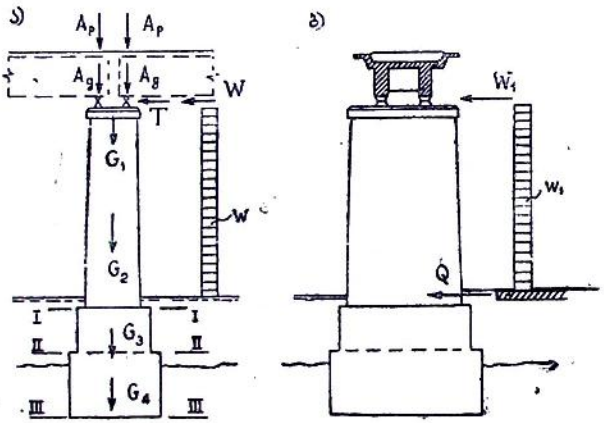
$$R = mkR_ა, \tag{57.2}$$

სადაც $R_ა$—კლდოვანი გრუნტის ნიმუშების საშუალო სიმტკიცის ზღვარია, $k=0{,}17$—ერთგვაროვნების კოეფიციენტი და m—მუშაობის პირობების კოეფიციენტი; მისი სიდიდე, გრუნტის მდგომარეობისაგან დამოკიდებულებით, მიიღება 2-დან 3-მდე.

ექსცენტრული კუმშვის დროს კლდოვანი გრუნტის საანგარიშო წინაღობა შეიძლება გავზარდოთ 20%-ით, ე. ი. მივიღოთ $R'=1{,}20\ R$.

ბურჯის სქემის დადგენით და საანგარიშო წინაღობების გამოკვლევით თავდება წინასწარი სამუშაოები. შემდეგ საჭიროა გაანგარიშების ძირითადი ოპერაციების ჩატარება. ასეთებია:

1. ბურჯზე მოქმედი დატვირთვების (ძალების) გამოთვლა.
2. ბურჯის კვეთებში საანგარიშო ძალვების გამოთვლა.
3. კვეთების სიმტკიცისა და მთლიანი ბურჯის მდგრადობის პირობების შემოწმება, ჩაჯდომისა და თარაზული გადაადგილების გამოთვლა და მეორე ზღვრული მდგომარეობის პირობების შემოწმება. დამაკმაყოფილებელი შედეგების დროს ბურჯის ზომები უცვლელი რჩება, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი საჭიროა ზომების შეცვლა—დაზუსტება და გაანგარიშების გამეორება. ამ პარაგრაფში ჩვენ ბურჯებზე მოქმედი დატვირთვებისა და ძალვების გამოთვლას შევეხებით, შემდეგ პარაგრაფში კი—ბურჯების შემოწმებას.

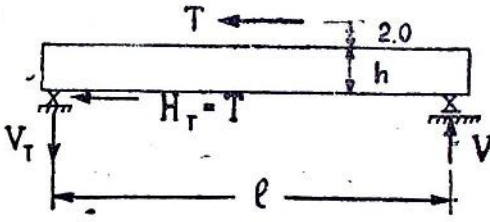


ნახ. 276. კოპოვანი ხიდის შუალედი ბურჯის საანგარიშო სქემა.

დავიწყოთ კოპოვანი ხიდების შუალედი ბურჯიდან (ნახ. 276). ასეთ ბურჯზე მოქმედებს როგორც შვეული, ისე თარაზული ძალები. შვეულ

[1] თუ $b>6$ მ, ფორმულაში უნდა მივიღოთ $b=6$.

ძალებს მიეკუთვნება: 1) ბურჯის ნაწილების საკუთარი წონები G_1, G_2, G_3,... ეს ძალები ადვილად გამოითვლება წინასწარდასახული ზომების მიხედვით; 2) მალის ნაშენების რეაქციები მუდმივი დატვირთვისაგან—A_g; 3) მალის ნაშენების რეაქციები დროებითი დატვირთვისაგან—A_p. ეს რეაქციები ცნობილია მალის ნაშენის გაანგარიშებიდან. ჩამოთვლილი ძალები დატვირთვების ძირითად თანწყობას შეადგენს. დამატებით თანწყობაში გარდა ამ დატვირთვებისა შედის კიდევ თარაზული ძალები. ბურჯზე თარაზული ძალები მოქმედებენ როგორც ხიდის გრძივად, ისე განივად. ჯერ განვიხილოთ ხიდის გასწვრივ მოქმედი თარაზული ძალები. ასეთებია დამუხრუჭების ძალა და ქარის დატვირთვა. დამუხრუჭების ძალა T, როგორც ვიცით, მალის ნაშენზე მოქმედებს და მოდებულია 2 მ-ით ზევით რელსის თავიდან (ნახ. 277); მისი სიდიდის გამოთვლა მოცემული იყო § 41-ში. დამუხრუჭების ძალის მოქმედების გამო მალის ნაშენიდან ბურჯს გადაეცემა თარაზული ძალა H_T, მოდებული უძრავი საყრდენი ნაწილის ცენტრში და შვეული ძალები V_T. წონასწორობის პირობებიდან ადვილად ვიპოვით ამ ძალების სიდიდეს (ნახ. 277):



ნახ. 277. დამუხრუჭების ძალის ბურჯზე გადაცემის სქემა.

$$H_T = T; \quad V_T = \pm\frac{T(h+2)}{l}.$$

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ $h+2$ სიდიდე მცირეა l-თან შედარებით. ამიტომ V_T ძალების სიდიდე მცირეა, კიდევ უფრო მცირე იქნება მათი მომენტი ბურჯის საანგარიშო კვეთების ცენტრის მიმართ, H_T ძალის მომენტთან შედარებით; თუ კიდევ მხედველობაში მივიღებთ იმ გარემოებას, რომ V_T ძალის მომენტს შებრუნებული ნიშანი აქვს H_T-ს მომენტთან შედარებით, მაშინ ცხადი იქნება, რომ V_T ძალის უგულებელყოფა დამატებით მარაგს ქმნის და მცირე ცდომილებას იძლევა. ამგვარად, საბოლოოდ შეიძლება მივიღოთ, რომ დამუხრუჭების ძალა T მოდებულია ბურჯზე საყრდენი ნაწილის სახსრის ცენტრის დონეზე, როგორც ეს ნახ. 276, ა-ზეა ნაჩვენები.

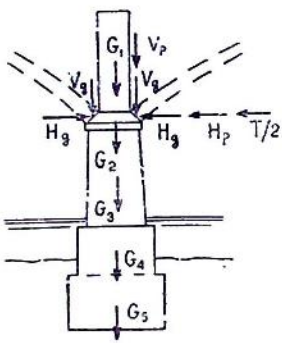
ჭრილი კოჭური ხიდის შემთხვევაში შუალედ ბურჯზე ორი მეზობელი მალის ნაშენი ეყრდნობა და ორივე მათგანზე დამუხრუჭების ძალა წარმოიშვება. თეორიულად ბურჯს დამუხრუჭების ძალა უნდა გადაეცეს მხოლოდ უძრავი საყრდენი ნაწილით, მაგრამ თუ მხედველობაში მივიღებთ ხახუნის ძალებს, ადვილი წარმოსადგენია, რომ დამუხრუჭების ძალას ნაწილობრივ მოძრავი საყრდენი ნაწილიც გადასცემს. ამიტომ ნორმებით მიღებულია, რომ ყოველ ბურჯზე მალის ნაშენებიდან უნდა გადაეცეს: უძრავი საყრდენი ნაწილის მიერ დამუხრუჭების ძალის 100%, ბრტყელი ან ტანგენციალური საყრდენი ნაწილის მიერ—50%, ხოლო სავორაეებიანი საყრდენი ნაწილის მიერ—25%. ამასთან სრული დამუხრუჭების ძალა T, გადაცემული შუალედ ბურჯზე ამ წესების თანახმად, არ უნდა იყოს მეტი, ვიდრე დამუხრუჭების ძალა უდიდეს მალზე.

ქარის გრძივი დაწოლა ბურჯის ზედაპირზე მოქმედებს თანაბარგანაწი-

ლებული w დატვირთვის სახით, დაბალი წყლის ჰორიზონტიდან ბურჯის თავამდე (ნახ. 276, ა); გარდა ამისა, ბურჯს გადაეცემა ქარის გრძივი დაწოლა მალის ნაშენებიდან, რომელიც შეყურსული W ძალის სახით მოდებულია საყრდენი ნაწილის სახსრის ცენტრში[1]; ამ დატვირთვების გამოთვლის წესი ნათელია § 41-დან.

ხიდის განივი მიმართულებით ბურჯზე მოქმედებს შემდეგი თარაზული ძალები (ნახ. 276, ბ): თანაბარგანაწილებული ქარის დატვირთვა w_1 ბურჯის ზედაპირზე, შეყურსული ქარის დაწოლა W_1, გადმოცემული მალის ნაშენებიდან და ყინულის წნევა Q. ამ ძალების სიდიდე გამოითვლება ჩვეულებრივი წესით.

განვიხილოთ ახლა თაღოვანი ხიდის შუალედი ბურჯი (ნახ. 278). აქ განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ გარდა შეყული რეაქციებისა მალის ნაშენებიდან გადმოეცემა აგრეთვე თარაზული ძალები (განმბრჯენი): მუდმივი დატვირთვისაგან—H_g და დროებითი დატვირთვისაგან H_p; დამუხრუჭების ძალა $\frac{T}{2}$ მოდებული იქნება ქუსლის კვეთის ცენტრში. ქარის გრძივი დაწოლა მალის ნაშენზე მხედველობაში არ მიიღება.



ნახ. 278. თაღოვანი ხიდის შუალედი ბურჯის საანგარიშო სქემა.

ზემოჩამოთვლილი ძალების საანგარიშო სიდიდეების გამოთვლის დროს მხედველობაში უნდა გვქონდეს შემდეგი: ბურჯების გაანგარიშება I ზღვრულ მდგომარეობაზე ხდება მხოლოდ სიმტკიცეზე და მდგომარეობის მდგრადობაზე. დინამიკური კოეფიციენტი საყრდენებისათვის მხედველობაში არ მიიღება $(1+\mu=1)$; ამიტომ დროებითი დატვირთვა უნდა ავიღოთ დატვირთვის n_1 კოეფიციენტით, ყველა დანარჩენი დატვირთვა კი—გადატვირთვის n კოეფიციენტით.

განვიხილოთ ახლა შუალედი ბურჯების საანგარიშო ძალვების გამოთვლის წესი. ყოველი საანგარიშო კვეთისათვის უნდა გამოითვალოს ნორმალური ძალა N და მომენტი კვეთის ცენტრის მიმართ M. რადგან ბურჯზე მოქმედი ყოველი გარე ძალის სიდიდე, მიმართულება და მოდების წერტილი უკვე ცნობილია, ეს ამოცანა სირთულეს არ წარმოადგენს. დატვირთვების ძირითადი და დამატებითი თანწყობისათვის საანგარიშო ძალვები ცალ-ცალკე უნდა გამოითვალოს. ცხადია, რომ გაანგარიშებისათვის საინტერესოა ძალვების ყველაზე უფრო არახელსაყრელი სურათის გამორკვევა, ამიტომ ორივე თანწყობის ფარგლებში საჭიროა დატვირთვების რამდენიმე კომბინაციის განხილვა. ძირითადი თანწყობის დროს ჩვეულებრივ იხილავენ დატვირთვების ორ კომბინაციას: როდესაც დროებითი შეყული დატვირთვა მოთავსებულია ერთ მალზე (ბურჯის ერთი მხრიდან) და როდესაც იგი მოთავსებულია ორივე მალზე; მეორე კომბინაციის დროს გვექნება მაქსიმალური ნორმალური ძალა და შედარებით მცირე მომენტები[2], პირველი კომბინაციის დროს კი, პირიქით, მაქსიმალური მომენ-

[1] იმავე მოსაზრებით, როგორც დამუხრუჭების ძალის დროს.

[2] თანაბარი მალების შემთხვევაში ამ კომბინაციის დროს დატვირთვების ძირითადი თანწყობისას შუალედი ბურჯი ცენტრალურ კუმშვაზე მუშაობს.

ტები და შედარებით მცირე ნორმალური ძალა. დამატებით თანწყობებში ამ დატვირთვებს დაემატება სხვადასხვა თარაზული დატვირთვები და დატვირთვების კიდევ რამდენიმე კომბინაციას მივიღებთ. აღსანიშნავია, რომ ტექნიკური პირობების მიხედვით ხიდის გასწვრივ და განივად მოქმედი თარაზული დატვირთვები ერთდროულად მხედველობაში არ მიიღება—ისინი უნდა განვიხილოთ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად.

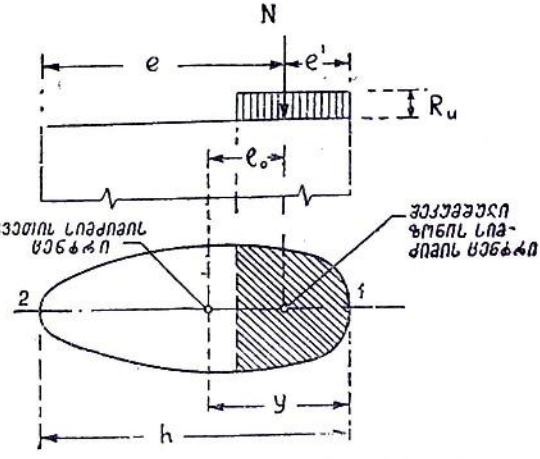
აქამდე ჩვენ ლაპარაკი გვქონდა მხოლოდ შუალედ ბურჯებზე. სანაპირო ბურჯების შემთხვევაში დამატებით უნდა მივიღოთ მხედველობაში გრუნტის დაწოლა ბურჯის უკანა წახნაგზე, გამოწვეული გრუნტის საკუთარი წონით და დროებითი დატვირთვის მოქმედებით. ამ ძალების გამოთვლის წესი წიგნის პირველ ნაწილში იყო განხილული, ამიტომ აქ ამაზე აღარ შევჩერდებით.

§ 58. ბურჯების კვეთების შემოწმება. საძირკვლის გაანგარიშება

ძალვების გაანგარიშების შედეგად ბურჯის ყველა საანგარიშო კვეთისათვის დადგენილი იქნება ნორმალური ძალის და მღუნავი მომენტის სიდიდე დატვირთვების სხვადასხვა კომბინაციის დროს. ამის შემდეგ საჭიროა კვეთების სიმტკიცის პირობების შემოწმება.

ბურჯის კვეთის ზოგადი სახე და ძირითადი ზომები ნახ. 279-ზეა მოცემული. კვეთი ექსცენტრულ კუმშვაზე მუშაობს და ნორმალური ძალის ექსცენტრისიტეტის სიდიდის მიხედვით შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ორ საანგარიშო შემთხვევას.

პ ი რ ვ ე ლ ი შ ე მ თ ხ ვ ე ვ ა შედარებით დიდი ექსცენტრისიტეტის დროს არის. ასეთ შემთხვევაში კვეთის ნაწილი შეკუმშულია, ნაწილი კი გაჭიმული; გაანგარიშების დროს გულისხმობენ, რომ გაჭიმული ზონა ბზარების გამო მუშაობიდან გამორიცხულია, შეკუმშულ ზონაში კი პლასტიკური დეფორმაციების გამო მკუმშავი ძაბვების ეპიურა მართკუთხაა (ნახ. 279). ასეთი და-



ნახ. 279. ბურჯის კვეთის შემოწმების სქემა (I შემთხვევა).

შვებების საფუძველზე ადვილად შეიძლება ვიპოვოთ შეკუმშული ზონის საზღვარი: ცხადია, რომ მკუმშავი ძაბვების ტოლქმედი ნორმალური ძალის მოქმედების ხაზზე უნდა იყოს, ამიტომ შეკუმშული ზონის სიმაღლე x განი-

საზღვრება იმ პირობიდან, რომ მისი სიმძიმის ცენტრი დაემთხვეს N ძალის მოქმედების ხაზს. მართკუთხა კვეთის შემთხვევაში ეს პირობა მოგვცემს:

$$x=2e', \tag{58.1}$$

სადაც e' მანძილია N ძალიდან კვეთის მეტად დაძაბულ კიდემდე (წერტილი 1); უფრო რთული კვეთებისათვის x შეიძლება გამოითვალოს ცდებით. ტესებრი კვეთებისათვის არსებობს დამხმარე ცხრილები (იხ. ТУПМ-56, დანართი 20).

შეკუმშული ზონის განსაზღვრის შემდეგ კვეთის შემოწმება სირთულეს აღარ წარმოადგენს. ცხადია, რომ მკუმშავი ძაბვა ნაკლები უნდა იყოს წყობის საანგარიშო წინაღობაზე. გრძივი ღუნვის გათვალისწინებით სიმტკიცის პირობა ასე ჩაიწერება:

$$\frac{N}{\varphi F_c}\leqslant R_u; \tag{58.2}$$

აქ R_u—წყობის საანგარიშო წინაღობაა კუმშვაზე ღუნვის დროს, V დანართის მიხედვით; F_c—შეკუმშული ზონის ფართობი და φ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი. მისი სიდიდე შეიძლება ავიღოთ 28 ცხრილიდან.

მართკუთხა კვეთის შემთხვევაში (58.2) ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\frac{N}{\varphi b\bar{x}}\leqslant R_u, \tag{58.3}$$

სადაც b კვეთის სიგანეა.

ცხრილი 28

გრძივი ღუნვის კოეფიციენტის სიდიდეები ბეტონისა და კვის წყობის ელემენტებისათვის

$l_0/b=$	<4	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$l_0/r=$	<14	14	21	28	35	42	49	56	63	70
$\varphi=$	1.00	0.98	0.96	0.91	0.86	0.82	0.77	0.72	0.68	0.63

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ცხრილში l_0 ელემენტის საანგარიშო სიგრძეა, r—მისი მინიმალური ინერციის რადიუსი, b—კვეთის მინიმალური განივი ზომა (სიგანე).

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, I შემთხვევა შედარებით დიდ ექსცენტრისიტეტებს გულისხმობს, ამიტომ (58.1)—(58.3) ფორმულები სამართლიანია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დაცულია პირობა:

$$S_c\leqslant 0{,}8S_0; \tag{58.4}$$

აქ S_c—შეკუმშული ზონის სტატიკური მომენტია კვეთის ნაკლებად დაძაბულ კიდემდე (წერტილი 2), ხოლო S_0—მთელი კვეთის სტატიკური მომენტი ამავე წერტილის მიმართ. მართკუთხა კვეთის შემთხვევაში ეს პირობა ჩაიწერება უფრო მარტივად:

$$e_0\geqslant 0{,}225h, \tag{58.5}$$

სადაც h კვეთის სიმაღლეა, e_0 კი—ნორმალური ძალის ექსცენტრისიტეტი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ: $e_0=\frac{M}{N}$.

თუ (58.4) ან (58.5) პირობები დაკმაყოფილებული არ არის, მაშინ საქმე გვაქვს მეორე ე. წ. შემთხვევასთან—ეს არის მცირე ექსცენტრისიტეტის შემთხვევა. იგი უახლოვდება ცენტრალური კუმშვის შემთხვევას: ექსცენტრისიტეტი იმდენად მცირეა, რომ კვეთში გამჭიმავი ძაბვები ან სულ არა გვაქვს, ან ისინი იმდენად მცირეა, რომ ბზარები არ წარმოიშობა და მუშაობაში მონაწილეობას მთელი კვეთი იღებს. ასეთ შემთხვევაში კვეთის სიმტკიცის პირობას შემდეგი სახე აქვს:

$$\frac{Ne}{\varphi S_0} \leqslant R_{np}; \tag{58.6}$$

აქ e მანძილია მკუმშავი N ძალის მოდების წერტილიდან კვეთის ნაკლებად დაძაბულ კიდემდე, R_{np}—ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე (იხ. დანართი V). დანარჩენი აღნიშვნები იგივეა.

მართკუთხა კვეთის შემთხვევაში (58.6) ფორმულა ასე იწერება:

$$\frac{N}{\varphi F}\left(1+\frac{2e_0}{h}\right) \leqslant R_{np}, \tag{58.7}$$

სადაც F—კვეთის სრული ფართობია. თუ $e_0=0$, მივიღებთ ცენტრალური კუმშვის ფორმულას.

ზემომოყვანილი ფორმულები გულისხმობს შეკუმშული ბეტონის სიმტკიცის შემოწმებას. მაგრამ ეს საკმარისი არ არის: აუცილებელია კიდევ დავრწმუნდეთ, რომ ბზარები გაჭიმულ ზონაში დაუშვებელ გახსნილობას არ მიიღებს, განსაკუთრებით პირველ შემთხვევაში. ამისათვის ტექნიკური პირობებით შეზღუდულია ნორმალური ძალის ექსცენტრისიტეტის სიდიდე: ახალი ტექნიკური პირობები მოითხოვს, რომ ნორმალური ძალის ფაქტიური ექსცენტრისიტეტი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ $e_0=\frac{M}{N}$ ნაკლები იყოს დაშვები ექსცენტრისიტეტის სიდიდეზე:

$$e_0 \leqslant [e] = 0{,}50y, \tag{58.8}$$

სადაც y მანძილია კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან მეტად დაძაბულ კიდემდე (იხ. ნახ. 279).

მიღებული ფორმულები ამოსწურავს ბეტონის ან ქვის წყობის ბურჯების შუალედი კვეთების სიმტკიცის და მდგრადობის პირობებს. განვიხილოთ ახლა საძირკვლის ფუძის კვეთის შემოწმება.

ზოგად შემთხვევაში საძირკვლის ფუძის კვეთში ნორმალური ძალა და მომენტი მოქმედებს, ე. ი. ეს კვეთიც, ისევე როგორც ბურჯის შუალედი კვეთები, ექსცენტრულ კუმშვაზე მუშაობს. ტექნიკური პირობების თანახმად საძირკვლის სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს დაცული უნდა იყოს ორი პირობა:

1. მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვა ფუძის კვეთში ნაკლები უნდა იყოს გრუნტის საანგარიშო წინაღობაზე:

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} \leqslant R; \tag{58.9}$$

აქ F, W—საძირკვლის კვეთის ფართობი და წინაღობის მომენტია, R—გრუნტის საანგარიშო წინაღობა (იხ. წინა პარაგრაფი). კლდოვანი გრუნტების

დროს, თუ მომენტი ნულის ტოლი არ არის, R-ის ნაცვლად უნდა ავიღოთ საანგარიშო წინაღობა $R'=1.2R$.

2. ნორმალური ძალის ექსცენტრისიტეტი კვეთის ცენტრის მიმართ $e_0=\frac{M}{N}$ ნაკლები უნდა იყოს დასაშვებ $[e]$ სიდიდეზე. ეს უკანასკნელი ტოლია:

მხოლოდ მუდმივი დატვირთვების მოქმედების დროს: $[e]=0{,}05\rho$

დატვირთვების დამატებითი თანწყობის დროს:

შუალედი ბურჯებისათვის: $[e]=\rho$ (კლდოვან გრუნტებში 1,20 ρ).

სანაპირო ბურჯებისათვის: $[e]=0{,}6\rho$.

აქ $\rho=\frac{W}{F}$ საძირკვლის ფუძის კვეთის გულის რადიუსია.

აღსანიშნავია, რომ (58,9) ფორმულა გულისხმობს, თითქოს ბურჯზე გარე ძალების მოქმედების დროს ძაბვები წარმოიშვება მხოლოდ საძირკვლის ფუძის კვეთში, ე. ი. ის მხედველობაში არ იღებს ძაბვებს საძირკვლის გვერდით წახნაგებზე და მის ჩამაგრებას გრუნტში. ასეთი გაანგარიშება სამართლიანია მცირე ჩაღრმავების საძირკვლებში, სადაც გრუნტში ჩამაგრების ეფექტი უმნიშვნელოა. თუ საძირკვლის ფუძის ჩაღრმავება წარეცხვის დონის ქვევით აღემატება 5 მ-ს, საჭიროა საძირკვლის გაანგარიშება ჩამაგრების გათვალისწინებით. ეს საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ საძირკვლის განივი ზომები. საძირკვლების საანგარიშო ფორმულები გრუნტში ჩამაგრების გათვალისწინებით მოცემულია ფუძე-საძირკვლების კურსებში და ტექნიკურ პირობებში (იხილეთ მაგალითად ТУПМ-56, დანართი 24).

§ 59. ბურჯების მდგომარეობის მდგრადობის შემოწმება. გაანგარიშება მეორე ზღვრულ მდგომარეობაზე

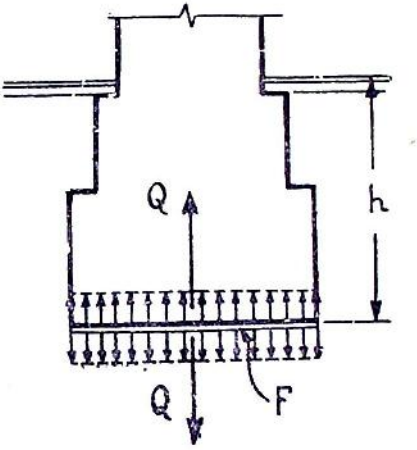
წინა პარაგრაფში ჩვენ განვიხილეთ ბურჯების საანგარიშო კვეთების სიმტკიცის შემოწმების წესი. ხიდის ნორმალური ექსპლოატაციის უზრუნველსაყოფად ეს საკმარისი არ არის: როგორც § 57-ში იყო აღნიშნული, საჭიროა კიდევ ბურჯის მდგომარეობის საერთო მდგრადობის შემოწმება და მისი საძირკვლის ჩაჯდომის გაანგარიშება.

ბურჯის მდგომარეობის მდგრადობის გაანგარიშება გულისხმობს მის შემოწმებას წაცურებაზე და გადაბრუნებაზე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ეს გაანგარიშება თაღოვანი ხიდების ბურჯებისათვის, რომლებზედაც მნიშვნელოვანი თარაზული ძალები მოქმედებს. კოჭური ხიდების შუალედი ბურჯებისათვის იგი სავალდებულო არ არის.

მდგრადობის შემოწმება ხდება ყველა იმ დატვირთვის გათვალისწინებით, რომლებიც § 57-ში იყო მოყვანილი. გარდა ამისა, მხედველობაში უნდა მივიღოთ ერთი დამატებითი დატვირთვა: *წყლის არის ჰიდროსტატიკური წნევა საძირკვლის ფუძეზე*; როგორც ვიცით, ეს წნევა მოქმედებს ბურჯზე ქვევიდან ზევით (ნახ. 280) და არქიმედის კანონის თანახმად თითქოს მის წონას ამცირებს. ჰიდროსტატიკური წნევა აუარესებს ბურჯების წაცურების და გადაბრუნების პირობებს, ამიტომ მდგრადობის შემოწმების დროს მისი მხედველობაში მიღება აუცილებელია. რაც შეეხება ბურჯის საძირკვლის ფუძის სიმტკიცის შემოწმებას, რომელიც წინა პარაგრაფში იყო განხილული, იქ ჰიდროსტატიკურ წნევას შეიძლება ყურადღება არ მივაქციოთ. მართლაც, ჰიდროსტატიკური წნევის ძირითადი თვისების თანახმად იგი ერთნაირი ძალით მოქმედებს როგორც ქვევიდან ზევით ბურჯის საძირკვლის ფსკერზე,

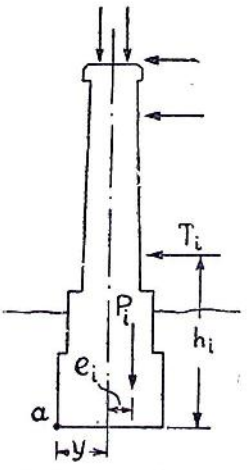
ისე ზევიდან ქვევით გრუნტის ზედაპირზე, საძირკვლის ფუძის ქვეშ (ნახ. 280). ამიტომ გრუნტის დაძაბული მდგომარეობის თვალსაზრისით ბურჯის „გამსუბუქება“ ბათილდება და ჰიდროსტატიკური წნევა მხედველობაში არაა მისაღები.

ამგვარად, ბურჯის მდგრადობის გაანგარიშების დროს § 57-ში მოყვანილ ყველა დატვირთვას უნდა დავუმატოთ ჰიდროსტატიკური უკუწნევა საძირკვლის ფუძეზე. მისი ნორმატიული სიდიდე ტოლია $Q=Fh$, სადაც F—საძირკვლის ფართობია, h—წყლის სიღრმე; გადატვირთვის კოეფიციენტი ამ დატვირთვისათვის $n=1{,}10$.



ნახ. 280. ჰიდროსტატიკური წნევის მოქმედება ბურჯის საძირკველზე.

ბურჯის მდგრადობის შემოწმება გადაბრუნებაზე ხდება მისი საძირკვლის განაპირა წიბოს მიმართ (ნახ. 281, წერტილი a). როგორც ცნობილია, მარაგის კოეფიციენტი გადაბრუნებაზე უდრის დამშერი მომენტის შეფარდებას გადამბრუნებელ მომენტთან. ძველი ტექნიკური პირობების თანახმად შემოწმების აზრი იმაში მდგომარეობს, რომ მარაგის კოეფიციენტი გარკვეულ ნორმირებულ სიდიდეზე ნაკლები არ იყოს: $k\geqslant 1{,}5$. მთელი რიგი მოსაზრებებისა გვიჩვენებს, რომ მდგრადობის შემოწმების ასეთი წესი ვერ ასახავს კონსტრუქციის ფაქტიურ მარაგს. ამიტომ ახალ ტექნიკურ პირობებში შემოღებულია მდგრადობაზე შემოწმების ახალი მეთოდიკა, დაფუძნებული ინჟ. პისიცინის შრომებზე [29]. იგი შემდეგში მდგომარეობს:



ნახ. 281. ბურჯის მდგომარეობის მდგრადობის შემოწმების სქემა.

აღვნიშნოთ ბურჯზე მოქმედი შეუღლი ძალები Pi-თ, თარაზული ძალები Ti-თ და მათი მხრები საძირკვლის ფუძის კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ სათანადოდ e_i და h_i-თ (ნახ. 281). ვუწოდოთ ყველა ძალის მომენტების ჯამს კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ გადამბრუნებელი მომენტი:

$$M_{\text{გად}}=\Sigma P_i e_i+\Sigma T_i h_i. \qquad (59.1)$$

ყველა შეუღლი ძალის ტოლქმედი იქნება ΣP_i, ხოლო ამ ტოლქმედის მანძილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან:

$$e_0=\frac{M_{\text{გად}}}{\Sigma P_i}=\frac{\Sigma P_i e_i+\Sigma T_i h_i}{\Sigma P_i}; \qquad (59.2)$$

ადვილი გასაგებია, რომ რაც უფრო მეტია e_0 სიდიდე, მით უფრო მოსალოდნელია ბურჯის გადაბრუნება, ე. ი. მით ნაკლებია მისი მდგრადობა. მდგრადობის მარაგი ამოწურული იქნება მაშინ, როდესაც შეუღლი ძალების ტოლქმედი საძირკვლის ფუძის

კიდეში გაივლის, ე. ი. როდესაც $e_0 = y$, სადაც y მანძილია კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან კიდემდე. ამიტომ ზღვრული გადამბრუნებელი მომენტი, რომლის დროსაც ამოიწურება ბურჯის მდგრადობა, ტოლი იქნება:

$$M_{ზღ} = y\Sigma Pi. \tag{59.3}$$

ზემოთქმულიდან ცხადია, რომ ბურჯის მდგრადობის დამახასიათებელ სიდიდედ შეიძლება მივიღოთ გადამბრუნებელი $M_{გად}$ მომენტის ფარდობა ზღვრული $M_{ზღ}$ მომენტთან: რაც უფრო ახლოა $M_{გად}$ სიდიდე $M_{ზღ}$-თან, მით ნაკლებია მდგრადობის მარაგი. ბურჯის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა, რომ $M_{გად}/M_{ზღ}$ ფარდობა გარკვეულ m სიდიდეზე მეტი არ იყოს, ამიტომ გადაბრუნებაზე მდგრადობის შესამოწმებელი პირობა ასე ჩაიწერება:

$$\frac{M_{გად}}{M_{ზღ}} = \frac{\Sigma P_i e_i + \Sigma T_i h_i}{y\Sigma P_i} \leqslant m. \tag{59.4}$$

(59.2) გამოსახულების გათვალისწინებით ეს ფორმულა შეიძლება ასე გადავწეროთ:

$$\frac{e_0}{y} \leqslant m. \tag{59.5}$$

ორივე შემთხვევაში m მუშაობათა პირობების კოეფიციენტია. ტექნიკური პირობების თანახმად მისი სიდიდე ტოლია: კლდოვანი გრუნტების შემთხვევაში $m = 0{,}75$, სხვა გრუნტების დროს კი $m = 0{,}60$.

განვიხილოთ ახლა ბურჯის შემოწმება წაცურებაზე. იმავე მოსაზრებების საფუძველზე შეიძლება მივიღოთ მდგრადობის შესამოწმებელი ასეთი ფორმულა:

$$\frac{T_ფ}{T_{ზღ}} = \frac{\Sigma T_i}{f\Sigma P_i} \leqslant m; \tag{59.6}$$

აქ $T_ფ$—წამცურებელი ძალაა (ყველა თარაზული ძალების ჯამი), $T_{ზღ}$—ზღვრული წამცურებელი ძალა; ΣP_i—შვეული ძალების ჯამი და f—საძირკვლის გრუნტზე ხახუნის კოეფიციენტი. მისი სიდიდე დამოკიდებულია გრუნტების ხასიათზე და განისაზღვრება 29-ე ცხრილის მონაცემებით. მუშაობის პირობების კოეფიციენტი m (59.6) ფორმულაში ტოლია: $m = 0{,}8$.

ცხრილი 29

საძირკვლის გრუნტზე ხახუნის კოეფიციენტები

№№	გრუნტის დასახელება	ხახუნის კოეფიციენტი f
1	თიხები და თიხოვანი კლდოვანი გრუნტები	
	სველ მდგომარეობაში	0.25
	მშრალ მდგომარეობაში . . .	0.30
2	თიხნარი და ქვიშნარი	0.30
3	ქვიშა	0.40
4	ხრეში, რიყის ქვა	0.50
5	კლდოვანი გრუნტები	0.60

აღსანიშნავია, რომ (59.4), (59.6) ფორმულები გაცილებით უფრო კარგად ასახავს ბურჯის მდგრადობის მარაგს, ვიდრე ძველ ტექნიკურ პირობებში

დანართი II

ძარის დატვირთვის ნორმატიული ინტენსივობა w_0 კგ/მ²-ობით რკინიგზის ხიდებისათვის

(ТУПМ-56-ს მიხედვით)

გეოგრაფიული რაიონები	w_0	
	გრუნტიდან ან დაბალი წყლის დონიდან 20 მ-ს სიმაღლეზე ან უფრო ქვევით	გრუნტიდან ან დაბალი წყლის დონიდან 20 მ-ზე ზევით
I რაიონი—სსრ კავშირის მთელი ტერიტორია, გარდა II, III, IV რაიონებისა	60	70
II რაიონი—მთიანი ადგილები და ოკეანეებისა და ხღვების სანაპირო ზოლი (სიგანით 100 კმ, მაგრამ არა უფრო შორს, ვიდრე უახლოეს ქედამდე)	100	110
III რაიონი—შავი ზღვის სანაპირო ზოლი ჭ. ანაპიდან ჭ. ტუაპსემდე	140	160
IV რაიონი—ბარენცის, კარის, ლაპტევების, ბერინგის, ჩუკოტის, აღმოსავლეთ-ციმბირის ხღვების და შელეხოვის უბის სანაპირო ზოლები, ნახევარკუნძული კამჩატკა, კუნძული სახალინი, კუოილის და კომანდორის კუნძულები	საგანგებო ნორმების მიხედვით	

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ქარის დატვირთვის ნორმატიული ინტენსივობა w_0 მიიღება ორი შემთხვევისათვის, შემდეგი მითითებების თანახმად:

I შ ე მ თ ხ ვ ე ვ ა: ხიდზე მოძრავი შემადგენლობა არის. w_0 აიღება ცხრილიდან, მაგრამ არა უმეტეს 100 კგ/მ².

II შ ე მ თ ხ ვ ე ვ ა: ხიდზე მოძრავი შემადგენლობა არ არის. w_0 მიიღება ცხრილში მოყვანილი სიდიდეების 20%-ით გაზრდით, მაგრამ არა ნაკლებ 100 კგ/მ² და არა უმეტეს 200 კგ/მ².

ტიპობრივი კონსტრუქციებისათვის w_0 მიიღება 100 კგ/მ², თუ ხიდზე მოძრავი შემადგენლობა არის, და 200 კგ/მ², თუ მოძრავი შემადგენლობა არ არის.

დანართი III

რკინიგზის ხიდების დატვირთვების კლასიფიკაცია

(ТУПМ-56-ს მიხედვით)

№№	დატვირთვის დასახელება	ნაგებობის ნაწილი	
		მალის ნაშენები და საყრდენი ნაწილები	ბურჯები, საძიოკვლები და ფუძეები
	A. მუდმივი დატვირთვები და ზემოქმედებები		
1	ნაგებობის საკუთარი წონა	+	+
2	გრუნტის დაწოლა საკუთარი წონისაგან	+	+
3	წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა	—	+
4	გრუნტის დაჯდომის გავლენა სტატიკურად ურკვევ კონსტრუქციებზე	+	+
	Б. დროებითი დატვირთვები მოძრავი შემადგენლობისაგან		
5	შეუღლი დროებითი დატვირთვა	+	+
6	გრუნტის შეუღლი და თარაზული დაწოლა დროებითი შეუღლი დატვირთვისაგან	+	+
7	ცენტრიდანული ძალა (მრუდზე მოთავსებული ხიდებისათვის)	+	+

№№	დატვირთვის დასახელება	ნაგებობის ნაწილი	
		მალის ნაშენები და საყრდენი ნაწილები	ბურჯები, საძირკვლები და ფუძეები
8	თარაზული განივი დატვირთვა მოძრავი შემადგენლობის დარტყმებისაგან	+	—
9	დამუხრუჭების ძალა	+	+
	B. სხვა დროებითი დატვირთვები და ზემოქმედებები		
10	ტროტუარების დატვირთვა (მხოლოდ ტროტუარებისათვის)	+	—
11	ქარის დატვირთვა	+	+
12	ყინულის ზნევა	—	+
13	გემების მიწოლა	—	+
14	ტემპერატურის ცვალებადობა	+	+
15	ბეტონის შეკლება	+	+
16	სეისმური დატვირთვა	+	+
17	სამშენებლო დატვირთვები	+	+

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: 1. + ნიშნის დროს განსახილველი დატვირთვა კონსტრუქციის გაანგარიშების დროს მხედველობაში მიიღება, — ნიშნის დროს კი არა.

2. დატვირთვები №7 და №8; 8 და 11; 9, 12 და 13; 8, 9 და 17 ერთდროულად მხედველობაში არ მიიღება.

3. დატვირთვები № 11 და 13 მხედველობაში უნდა მივიღოთ ცალ-ცალკე როგორც ხიდის გასწვრივ, ისე განივად (მაგრამ ამ ორი მიმართულებით არაერთდროულად).

4. დატვირთვა №9 (დამუხრუჭების ძალა) კოშკების, კამარების და თაღების გაანგარიშების დროს მხედველობაში არ მიიღება.

დანართი IV

დასაშვები ძაბვები რკინიგზის ხიდების რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის

(ТУПМ-47-ს მიხედვით)

№№	ძაბვის სახეობა	ბეტონის მარკა					
		350	300	250	200	170	140
1	ღერძული კუმშვა	90	80	70	60	50	40
2	კუმშვა ღუნვის დროს ან ექსცენტრული კუმშვა	115	100	85	70	60	50
3	მთავარი გამჭიმავი ძაბვები	22	20	18	16	14	12
4	მთავარი გამჭიმავი ძაბვები, რომელთა დროს საკიდები და ირიბი არმატურა საჭირო არ არის	8,3	7,5	6,7	5,7	5,2	4,5
5	მთავარი გამჭიმავი ძაბვები, რომლებიც გადაეცემა ბეტონს კოჭის სიგრძის ნაწილზე	4,1	3,7	3,3	2,8	2,6	2.2
6	უშუალო ჭრა	12,5	11,0	10,0	8,5	7,8	6,8
7	შეჭიდულობა ბეტონსა და გლუვ არმატურას შორის (კაუჭების დროს)	10,4	9,4	8,4	7,1	6,5	5,6
8	ადგილობრივი კუმშვა (F—კვეთის სრული ფართობი F_1—წნევის გადაცემის ფართობი)	$90\sqrt[3]{\frac{F}{F_1}}$	$80\sqrt[3]{\frac{F}{F_1}}$	$70\sqrt[3]{\frac{F}{F_1}}$	$60\sqrt[3]{\frac{F}{F_1}}$	$50\sqrt[3]{\frac{F}{F_1}}$	$40\sqrt[3]{\frac{F}{F_1}}$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: 1. ძირითადი და დამატებითი დატვირთვების მხედველობაში მიღების დროს 1, 2 და 8 პუნქტში მოყვანილი დასაშვები ძაბვები იზრდება 30%-ით.

2. ქარხნებში განხორციელებული ნაკრები კონსტრუქციებისათვის 1, 2 და 8 პუნქტში მოყვანილი დასაშვები ძაბვები იზრდება 10%-ით.

ბეტონისა და ძვის წყობის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები

(ТУПМ-56-ს მიხედვით)

ცხრილი 1

ბეტონის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობანი კუმშვაზე

№№ რიგზე	წინაღობის სახეობა	ბეტონის მარკა							
		150		200		300		400	
		ნორმატიული	საანგარიშო	ნორმატიული	საანგარიშო	ნორმატიული	საანგარიშო	ნორმატიული	საანგარიშო
1	ღერძული კუმშვა (პრიზმული სიმტკიცე) R_{np} .	115	50	145	65	210	100	280	135
2	კუმშვა ღუნვის დროს R_u . .	140	60	180	80	260	125	350	170

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ჭარხნული წესით მომზადებული ბეტონებისათვის (შემადგენლების ავტომატური დოზირების და ხარისხის სისტემატური კონტროლის დროს) საანგარიშო წინაღობები შეიძლება გავზარდოთ 10%-ით.

ცხრილი 2

ქვის წყობის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები ღერძულ კუმშვაზე

(ТУПМ-56-ს მიხედვით)

წყობის სახეობა	ხსნარის მარკა	წინაღობები კგ/სმ²	
		ნორმატიული	საანგარიშო
1. წ ყ ო ბ ა ც ა ლ ე უ ლ ი ქ ვ ე ბ ი ს ა გ ა ნ (28 დ ღ ი ს ა ს ა კ ი)			
ა) ნახევრად სუფთად გათლილი ქვებისაგან, როდესაც მათი მარკა ⩾ 1000, ქვის სისქე არანაკლებია მისი სიგრძის ნახევრისა და ნაკერების სისქე არა უმეტეს 15 მმ-სა . . .	200	210	105
ბ) ნახევრად სუფთად გათლილი ქვებისაგან, როდესაც მათი მარკა ⩾ 800, ქვის სისქე არა ნაკლებია სიგრძის მესამედისა და ნაკერების სისქე არა უმეტეს 15 მმ-სა	150	170	85
გ) უხეშად გათლილი სწორი ფორმის ქვებისაგან, როდესაც ქვების მარკა ⩾ 600, ქვის სისქე არა ნაკლებია სიგრძის მესამედისა	100	110	55
დ) ბეტონის ბლოკებისაგან, როდესაც ნაკერების სისქე არა უმეტესია 15 მმ-სა			
1) წყობის რიგის 350 მმ სიმაღლის დროს			
ბეტონის მარკა 300	150	80	40
ბეტონის მარკა 200	100	55	28
2) წყობის რიგის 500—800 მმ სიმაღლის დროს			
ბეტონის მარკა 300	150	140	65
ბეტონის მარკა 200	100	100	50
2. ყ ო რ ე წ ყ ო ბ ა (3 თ ვ ი ს ა ს ა კ ი)			
ა) ნარჩევი ბრტყელი ქვებისაგან, როდესაც ქვის მარკა⩾400, ქვის სისქე არა ნაკლებია მისი სიგრძის მეოთხედისა და 200 მმ-სა	100	60	30
ბ) ბრტყელი ქვებისაგან, როდესაც ქვის მარკა⩾400 . . .	100	45	22
გ) ჩვეულებრივი ყორული ქვებისაგან მარკით⩾400	100	30	15

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: 1. ცალეული ქვების და ბეტონის ბლოკების წყობის საანგარიშო წინაღობანი, ქვისა და ხსნარის სიმტკიცის სისტემატური კონტროლის შემთხვევაში, შეიძლება გავზარდოთ 10%-ით.

2. 28 დღის ასაკისათვის ყორე წყობის საანგარიშო წინაღობები მცირდება 20%-ით.

ქვის წყობის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობანი კუმშვაზე ღუნვის დროს ან ექსცენტრულ კუმშვაზე (დიდი ექსცენტრისიტეტის დროს)

გამოითვლება ფორმულით:

$$R_u = \psi R_{np},$$

სადაც R_{np}—წყობის წინაღობაა ღერძულ კუმშვაზე (2 ცხრილის მიხედვით);

$$\psi = \sqrt[3]{\frac{F}{F_c}},$$

სადაც F —მთელი კვეთის ფართობია;

F_c—კვეთის შეკუმშული ნაწილის ფართობი (ძაბვების მართკუთხა ეპიურის დროს).

დანართი VI

გრუნტების პირობითი წინაღობები

(ТУПМ-56-ს მიხედვით)

ცხრილი 1

თიხოვანი (არამაკროფორიანი) გრუნტების პირობითი R' წინაღობები (კგ/სმ²-ობით)

გრუნტის დასახელება	ფოროვნობის კოეფიციენტი	R' გრუნტის მდგომარეობა		
		მაგარი	მაგარ-პლასტიკური	რბილ-პლასტიკური
ქვიშნარი	0,5	3,0	2,5	2,0
	0,7	2,5	2,0	1,5
თიხნარი	0,5	4,0	3,0	2,5
	0,7	2,5	2,0	1,5
	1,0	2,0	1,5	1,0
თ ი ხ ა	0,5	6,0	4,5	3,5
	0,6	5,0	3,5	2,5
	0,8	3,0	2,5	1,5
	1,1	2,5	1,5	1,0

ცხრილი 2

მაკროფოროვანი ლიოსისებური გრუნტების პირობითი R' წინაღობანი (კგ/სმ²-ობით)

წყლით შეჯერების ხარისხი	R'
მცირეოდენ ტენიანი	2,5
ძალზე ტენიანი	2,0
წყლით ნაჯერი	1,5

ცხრილი 3

ქვიშების პირობითი R' წინაღობანი (კგ/სმ²-ობით)

გრუნტის დასახელება	R' გრუნტის მდგომარეობა	
	მკვრივი	საშუალო სიმკვრივის
ხრეშოვანი და მსხვილი ქვიშები, ტენიანობის მიუხედავად	4,5	3,5
საშუალო სიმსხვილის ქვიშები:		
ა) მცირეტენიანი	4,0	3,0
ბ) მეტადტენიანი და წყლით გაჟღენთილი	3,5	2,5
წვრილი ქვიშები		
ა) მცირეტენიანი	3,0	2,0
ბ) მეტადტენიანი და წყლით გაჟღენთილი	2,5	1,5
მტვრისებრი ქვიშები		
ა) მცირეტენიანი	2,5	2,0
ბ) მეტადტენიანი	2,0	1,5
გ) წყლით გაჟღენთილი	1,5	1,0

ცხრილი 4

მსხვილი მონატეხი გრუნტების პირობითი წინაღობები (კგ/სმ²-ობით)

გრუნტის დასახელება	R'
ღორღოვანი (კენჭნაროვანი) გრუნტი ქვიშის შევსებით	6,0
ხრეშოვანი გრუნტი კრისტალური ქანების ნატეხებისაგან	5,0
ხრეშოვანი გრუნტი დანალექი ქანების ნატეხებისაგან	3,0

ცხრილი 5

გრუნტის საანგარიშო წინაღობის გამოსათვლელი k_1 და k_2 კოეფიციენტების სიდიდეები

გრუნტის დასახელება	k_1	k_2
კენჭნარი, ხრეში, ხრეშოვანი ქვიშა, მსხვილი და საშუალო სიმსხვილის ქვიშა	0,10	0,30
წვრილი ქვიშა	0,08	0,25
მტვრისებრი ქვიშა, ქვიშნარი	0,06	0,20
მაგარი თიხნარი და თიხა	0,04	0,20
პლასტიკური თიხნარი და თიხა	0,02	0,15

ლიტერატურა

ძირითადი და დამხმარე სახელმძღვანელოები

1. Г. К. Евграфов — Мосты на железных дорогах. ГТЖИ. 1956, М.
2. Г. П. Передерий—Курс мостов, т. III, ГТЖИ, 1951, М.
3. Н. И. Поливанов — Железобетонные мосты на автомобильных дорогах. Автотрансиздат, 1956, М.
4. გ. ქარცივაძე, ზ. ცაგარელი — ხიდები, ნაწილი I, „ცოდნა", 1958, თბილისი.
5. Е. Е. Гибшман—Мосты. Автотрансиздат, 1957, М.
6. Н. Б. Лялин, Т. М. Богданов—Искусственные сооружения на железнодорожном транспорте, ГТЖИ, 1948, М.
7. И. Н. Никонов—Искусственные сооружения железнодорожного транспорта, ГТЖИ, 1954, М.

ლიტერატურა ცალკეულ საკითხებზე

8. А. Я. Аствацатуров — Расчет мостовых арок с вертикальными и наклонными подвесками. Дориздат, 1952, М.
9. О. Я. Берг — Методы расчета несущей способности железобетонных конструкций в ТУПМ-56. Журн. „Транспортное строительство", 1957, № 7.
10. Е. Я. Бергер — Примеры расчета балочных железобетонных мостов. ГИТЛУ, 1957, Киев.
11. Н. Г. Бондарь — Формулы и таблицы для расчета бесшарнирных сводов железнодорожных массивных мостов на горизонтальные поперечные нагрузки. Труды Днепропетр. инст. инж. ж. д. тр-та, вып. 23, 1953.
12. Б. Ф. Горюнов — Статически неопределимые конструкции из напряженно армированного бетона. ГИЛСА, 1957, М.
13. Г. Грио—Неразрезные балки с постоянным моментом инерции. ГНТИ, 1931, М-Л.
14. В. Г. Донченко—Пространственный расчет балочных автодорожных мостов. Автотрансиздат, 1953, М.
15. К. С. Завриев — Расчет арочных мостов. ГТЖИ, 1956, М.
16. И. А. Иванченко, Б. А. Забродин, Е. А. Сидоров—Индустриализация и механизация постройки железобетонных мостов, ГТЖИ, 1952, М.
17. Л. И. Иосилевский, М. Н. Малько—Сборные решетчатые пролетные строения из железобетонных предварительно напряженных элементов. Труды МИИТ, вып. 101, ГТЖИ, 1958, М.
18. Н. А. Калашников — Комбинированный напряженно-армированный бетон и возможности его применения в городских и автодорожных мостах. МКХ РСФСР, 1952, М.
19. Н. С. Карпухин—Железобетонные конструкции, ГИЛСА, 1957, М.
20. Н. М. Колоколов—Сборные железобетонные свайные мосты. ГТЖИ, 1955, М.
21. А. П. Коровкин—Предварительно напряженный железобетон, ГТЖИ, 1947, М.

22. У. С. Кочиев—Формулы и таблицы для ускоренного эскизного расчета быков железнодорожных мостов. ТБИИЖТ, 1957, Тбилиси.
23. Л. М. Левицкий—Расчет неразрезных балок с разными пролетами и жесткостями под подвижную нагрузку. Стройиздат, 1940, М-Л.
24. Ф. Леонгардт—Напряженно армированный железобетон. ГИЛСА, 1957, М.
25. Н. Б. Лялин, Н. Н. Стрелецкий—Основы расчета мостов по предельным состояниям. Труды ЦНИС, вып. 16, сб. „Расчеты металлических мостов", ГТЖИ, 1955, М.
26. И. А. Матаров—Сборные железобетонные мосты с многорядной сварной арматурой. ГТЖИ, 1949, М.
27. В. И. Мурашев — Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона. Машстройиздат, 1950, М.
28. А. И. Петровский—Опыс применения сборных мостов-труб из крупных железобетонных блоков, ГТЖИ, 1954, М.
29. М. Е. Писицын—К вопросу о грузоподъемности железнодорожных мостов. ГТЖИ, 1949, М.
30. Е. В. Платонов—Опоры мостов. ГТЖИ, 1946, М.
31. К. Г. Протасов—Формулы для расчета рам. ГТЖИ, 1934, М.
32. П. Н. Поликарпов—Сборные железобетонные предварительно напряженные арочные пролетные строения с ездой понизу для железнодорожных мостов. Труды МИИТ. Вып. 101, ГТЖИ, 1958, М.
33. Е. И. Пуш торский—Основные принципы проектирования городских мостов. Изд. МКХ РСФСР, 1956, М.
34. К. В. Самохвалов—Арочные мосты под насыпями. Автореф. ТБИИЖТ, 1953, Тбилиси.
35. К. В. Сахновский—Железобетонные конструкции, ГИЛСА, 1957, М-Л.
36. В. А. Словинский—Сборные пролетные строения мостов под железную и автомобильную дороги из унифицированных элементов. ТБИИЖТ, Тбилиси, 1957.
37. Н. А. Словинский, Е. А. Бабанов, Г. Т. Копалеишвили, Г. В. Робиташвили—Мосты малых отверстий с облегченными опорами, Дориздат, 1951, М.
38. Н. А. Словинский, В. А. Российский, Б. П. Назаренко—Проектирование сборных железобетонных мостов. Автотрансиздат, 1955, М.
39. В. М. Скопич—Автодорожные мосты из напряженно армированного железобетона. Автотрансиздат, 1957, М.
40. Н. К. Снитко—Методы расчета мостовых арок со сквозным надарочным строением, Труды ВТА, вып. 17, 1949, Л.
41. К. Э. Таль—Расчет бетонных и железобетонных конструкций по расчетным предельным состояниям. ГИЛСА, 1955, М.
42. Е. А. Тройцкий, Н. И. Богданов, Л. И. Иосилевский—Пролетные строения железнодорожных мостов из предварительно напряженного железобетона. ГТЖИ, 1955, М.
43. Е. Л. Хлебников—Постройка мостов, ч. I, Дориздат, 1949, М.
44. Е. Л. Хлебников—Сборные конструкции железобетонных арочных мостов. ГТЖИ, 1935, М.
45. З. В. Цагарели—Устои с уменьшенным давлением земли. Труды ТБИИЖТ, вып. 20, 1949, Тбилиси.
46. К. К. Якобсон—Расчет железобетонных мостов. ГТЖИ, 1948, М.
47. К. К. Якобсон—Трещины в железобетоне и проектирование мостов с пролетными строениями безраспорного типа. ГТЖИ, 1947, М.
48. М. А. Якубович--Автодорожные мосты из легкого железобетона. Автотрансиздат, 1956, М.
49. М. А. Якубович—Железнодорожные мосты из легкого железобетона, Оргтрансстрой, 1956, М.

50. Б. В. Якубовский—Применение предварительно напряженного железобетона в мостах. Дориздат, 1950, М.

სანობარო ლიტერატურა

51. Н. П. Андреев, А. И. Дубровский, И. С. Файнштейн—Справочник по постройке искусственных сооружений. ГТЖИ, 1957, М.
52. Промстройпроект—Справочник проектировщика промышленных сооружений, т. II—Расчетно-теоретический. Госстройиздат, 1934, М-Л.
53. Справочник—Инженерные сооружения, т. I, Машстройиздат, 1950, М.
54. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации городских дорог, мостов и гидротехнических сооружений, т. I—Мосты. Изд. МКХ РСФСР, 1953, М.
55. Технический справочник железнодорожника, т. 4—Искусственные сооружения, ГТЖИ, 1951, М.
56. А. А. Фоломеев—Оборудование для напряженного армирования. Промстройиздат, 1957, М.

ნორმები და ტექნიკური პირობები

57. Строительные нормы и правила, ч. II, ГИЛСА, 1954, М.
58. МПС СССР—Технические условия проектирования мостов и труб на железных дорогах нормальной колеи. (ТУПМ-56). Трансжелдориздат, 1957, М.
59. МПС СССР—Технические условия проектирования капитального восстановления и строительства новых мостов и труб под железную дорогу нормальной колеи (ТУПМ-47), ГТЖИ, 1948, М.
60. ГУШОСДОР СССР—Правила и указания по проектированию железобетонных, металлических, бетонных и каменных искусственных сооружений на автомобильных дорогах. Дориздат, 1948, М.
61. МКХ РСФСР—Технические условия и нормы проектирования искусственных сооружений на городских путях сообщения. Изд. МКХ РСФСР, 1948, М-Л.
62. Госстрой СССР—Нормы габаритов приближения конструкций для мостов на автомобильных дорогах (Н-112-53).
63. Госстрой СССР—Нормы подвижных вертикальных нагрузок для расчета искусственных сооружений на автомобильных дорогах (Н-106-53).
64. МСПМ и ХП СССР — Инструкция по расчету сечений элементов железобетонных конструкций. (И-123-55). ГИЛСА, 1956, М.
65. Госстрой СССР—Инструкция по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций (СН-10-57). ГИЛСА, 1958, М.
66. Госстрой СССР—Нормы и правила строительства в сейсмических районах (СН-8-57). ГИЛСА, 1957, М.

ᲡᲐᲠᲩᲔᲕᲘ

თავი I. ზოგადი ცნობები რკინაბეტონის ხიდების შესახებ

§ 1. რკინაბეტონის ხიდების ძირითადი თვისებები და გამოყენების სფერო . . . 3
§ 2. რკინაბეტონის ხიდების ძირითადი სახეები 5
§ 3. რკინაბეტონის ხიდების ჰასალა 6

თავი II. მონოლითური რკინაბეტონის კოჭური ხიდების კონსტრუქციები

§ 4. ზოგადი ცნობები 9
§ 5. ჭრილი ფილოვანი მალის ნაშენების კონსტრუქცია 11
§ 6. ჭრილი წიბოვანი მალის ნაშენების კონსტრუქცია 15
§ 7. უჭრი მალის ნაშენების კონსტრუქცია 23
§ 8. სახსროვან-კონსოლური მალის ნაშენების კონსტრუქცია 27
§ 9. კოჭური ხიდების საყრდენი ნაწილები 31
§ 10. კოჭური ხიდების შუალედი ბურჯების კონსტრუქციები 35
§ 11. კოჭური ხიდების სანაპირო ბურჯების კონსტრუქციები 40

თავი III. ნაკრები რკინაბეტონის კოჭური ხიდების კონსტრუქციები

§ 12. ზოგადი ცნობები ნაკრები კონსტრუქციის კოჭური ხიდების შესახებ 49
§ 13. კოჭური ხიდების ნაკრები მალის ნაშენების კონსტრუქციები 51
§ 14. კოჭური ხიდების ნაკრები ბურჯების კონსტრუქციები 52
§ 15. მცირემალიანი ნაკრები ხიდების კონსტრუქციები 59
§ 15. ნაკრები ელემენტების პირაპირები 77

თავი IV. ჩარჩოვანი ხიდების კონსტრუქცია

§ 17. ჩარჩოვანი ხიდების თვისებები და ძირითადი სქემები 81
§ 18. ჩარჩოვანი ხიდების კონსტრუქცია 86

თავი V. თაღოვანი ხიდების კონსტრუქცია

§ 19. ზესავლელი თაღოვანი ხიდების ძირითადი თვისებები და გამოყენების სფერო . 90
§ 20. მონოლითური რკინაბეტონის ზესავლელი თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენების კონსტრუქცია 92
§ 21. მონოლითური რკინაბეტონის ზესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების ზოგიერთი საგანგებო ტიპები 109
§ 22. ნაკრები რკინაბეტონის ზესავლელი თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენების კონსტრუქცია 126
§ 23. შუასავლელი თაღოვანი მალის ნაშენების კონსტრუქცია 114
§ 24. ქვესავლელი თაღოვანი მალის ნაშენები შემკვრელიანი კამარებით; მუშაობის პირობები და ძირითადი ტიპები 118
§ 25. კონსტრუქცია თაღოვანი მალის ნაშენებისა შემკვრელიანი კამარებით . . . 122
§ 26. თაღოვანი ხიდების ბურჯების კონსტრუქცია 130

თ ა ვ ი VI. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ხიდების კონსტრუქცია

§ 27. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის საერთო თვისებები, ძირითადი სახეები და გამოყენების სფერო 133
§ 28. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციების მასალა 139
§ 29. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ჭრილი კოჭური ხიდების კონსტრუქცია . . 145
§ 30. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის უჭრი კოჭური და ჩარჩოვანი ხიდების კონსტრუქცია. კოჭური ხიდები წინასწარდაძაბული ფერმებით 160
§ 31. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გამოყენება თაღოვან მალის ნაშენებში . . 165

თ ა ვ ი VII. ზოგადი ცნობები ავტოგზის და ქალაქის ხიდების შესახებ

§ 32. ავტოგზის და ქალაქის ხიდების ძირითადი თავისებურებანი. საავალი ნაწილის კონსტრუქცია 170
§ 33. კოჭური და ჩარჩოვანი ხიდების თავისებურებანი 173
§ 34. თაღოვანი ხიდების თავისებურებანი 179

თ ა ვ ი VIII. რკინაბეტონის ხიდების კონსტრუქციული დეტალები

§ 35. წყლის გადაყვანა და იზოლაცია 184
§ 36. ტროტუარები, მოაჯირები, სათვალიერებელი მოწყობილობა 189

თ ა ვ ი IX. რკინაბეტონის ხიდების დაპროექტება.

§ 37. ხიდის ვარიანტების შედგენის წესი. ხიდის დაყოფა მალებად 192
§ 38. კოჭური და ჩარჩოვანი ხიდების დაპროექტება და ძირითადი ზომების დანიშვნა . 196
§ 39. თაღოვანი ხიდების დაპროექტება და ძირითადი ზომების დანიშვნა 202

თ ა ვ ი X. რკინაბეტონის ხიდების გაანგარიშების საფუძვლები

§ 40. ზოგადი ცნობები. დასაშვები ძაბვების და ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდების საფუძვლები 205
§ 41. ნორმატიული დატვირთვები, გადატვირთვისა და დატვირთვის კოეფიციენტები. დინამიკური კოეფიციენტი 214
§ 42. დატვირთვების თანწყობანი. საანგარიშო დატვირთვების გამოთვლის წესი . . 220
§ 43. ბეტონის და არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები. დასაშვები ძაბვები 222
§ 44. რკინაბეტონის ელემენტების მუშაობის პირობები. კვეთების შემოწმების საფუძვლები 229
§ 45. რკინაბეტონის ელემენტების კვეთების შემოწმება სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით 231
§ 46. რკინაბეტონის ელემენტების კვეთების შემოწმება გამძლეობაზე ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით. კვეთების შემოწმება დასაშვები ძაბვების მეთოდით . . 238

თ ა ვ ი XI. კოჭური და ჩარჩოვანი ხიდების მალის ნაშენების გაანგარიშება

§ 47. ზოგადი მითითებები. საბალასტო გობის ფილის გაანგარიშება 244
§ 48. მთავარი კოჭების გაანგარიშება პირველი ზღვრული მდგომარეობით. საანგარიშო ძალვების გამოთვლა 251
§ 49. მთავარი კოჭების გაანგარიშება პირველი ზღვრული მდგომარეობით. კვეთების შერჩევა და შემოწმება. არმირების ეპიურა 257
§ 50. მთავარი კოჭების გაანგარიშება პირველი ზღვრული მდგომარეობით. დახრილი კვეთების შემოწმება. ირიბი არმატურის გაანგარიშება 262
§ 51. მთავარი კოჭების გაანგარიშება მეორე და მესამე ზღვრული მდგომარეობით: სიხისტისა და ბზარების გახსნილობის შემოწმება 269
§ 52. საყრდენი ნაწილების გაანგარიშება 272
§ 53. ჩარჩოვანი ხიდების გაანგარიშების თავისებურებანი 275

თ ა ვ ი XII. თაღოვანი ხიდების მალის ნაშენების გაანგარიშება

§ 54. ზესაყელი და შუასაყელი ხიდების გაანგარიშება. ზოგადი მითითებები . . 278
§ 55. თაღზედა ნაშენის გაანგარიშება 280
§ 56. თაღების და კამარების გაანგარიშება. მითითებანი ქვესაყელი თაღოვანი მალის ნაშენის გაანგარიშების შესახებ 283

თ ა ვ ი XIII. ბურჯების გაანგარიშება

§ 57. ზოგადი ცნობები. ბურჯებზე მოქმედი დატვირთვები და საანგარიშო ძალები . 287
§ 58. ბურჯების კვეთების შემოწმება. საძირკვლის გაანგარიშება 291
§ 59. ბურჯების მდგომარეობის მდგრადობის შემოწმება. გაანგარიშება მეორე ზღვრულ მდგომარეობაზე 294
დანართები 298
ლიტერატურა 304

რედაქტორი ტექნ. მეცნ. დოქტ. პროფ. ო. დ. ონიაშვილი
გამომც. რედაქტორი ც. ანდღულაძე კორექტორი ნ. აბდუშელიშვილი
ტექრედაქტორი ა. მეგრელაძე გამომშვები ნ. ბიბილური
გარეკანი მხატვ. შ. ნიორაძისა

ვე00991. ტირაჟი 1000. შეკვ. № 3235.
გადაეცა ასაწყობად 23/XII-58 წ., ხელმოწერილია დასაბეჭდად 29/IV-59 წ.
ანაწყობის ზომა 7×12, ქაღალდის ზომა 70×108, სასტამბო ფურცელთა
რაოდენობა 19,5.

საქართველოს სსრ კულტურის სამინისტროს გამომცემლობებისა და
პოლიგრაფიული მრეწველობის მთავარი სამმართველოს სტამბა № 2.
თბილისი, ფურცელაძის ქ. № 5.

Типография № 2 Главного управления издательств и полиграфической промышленности Министерства культуры Грузинской ССР.
Тбилиси, ул. Пурцеладзе, № 5.

КАРЦИВАДЗЕ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ
ЦАГАРЕЛИ ЗУРАБ ВЛАДИМИРОВИЧ

МОСТЫ

II

(На грузинском языке)

Редактор докт. тех. наук, проф. Они а швили О. Д.
Техредактор Мегреладзе А. Г.

Государственное издательство
учебно-педагогической литературы
„ЦОДНА"
Тбилиси—1959