

მ. შილაკაძე

მექანიკური მოწყობილობების
საიმედოობის საფუძვლები

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. შილაკაძე

მექანიკური მოწყობილობების
საიმედოობის საფუძვლები



დამტკიცებულია სტუ-ს

სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს

მიერ. 02.07.2009, ოქმი №6

თბილისი

2009

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2009

ISBN 978-9941-14-666-4

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>



Verba volant,
scripta manent

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

კომპიუტერული უზრუნველყოფა მედია რჩეულიშვილის

იბეჭდება ავტორის მიერ წარმოდგენილი სახით

გადაეცა წარმოებას 03.07.2009. ხელმოწერილია დასაბუჯდად
08.07.2009. ქალაქის ზომა 60X84 1/16. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 25.
ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი,
კოსტავას 77



Verba volant,
scripta manent

ს ა რ ჩ ე ვ ი

წინასიტყვაობა 3

შესავალი 8

I თავი. მემანკური მოწყობილობის აიშვლოზა

- 1.1. მანქანის საიმედოობა და თანმედროვე ტექნიკა.....10
- 1.2. საიმედოობის ტერმინები და მათი განმარტებანი13
- 1.3. მანქანათა პოტენციური თვისებები.....21
- 1.4. მტყუნებათა კლასიფიკაცია.....23
- 1.5. საიმედოობის თვისებები და მარვენებლები.....28
- 1.6. ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის მარვენებლები.....33
- 1.7. საიმედოობის მარვენებლების შერჩევა.....35
- 1.8. საიმედოობის ამოცანები და კვლევის მათემატიკური მეთოდები.....38
- 1.9. მანქანათა საიმედოობა და სისტემური ანალიზის საფუძვლები.....40

II თავი. საიმედოობის თემორიის ძირეული დებულებები

- 2.1. ალბათობის თეორიის ძირითადი ცნება და განმარტება.....44
- 2.2. არააღდგენადი ელემენტის საიმედოობის მარვენებლები.....46
- 2.3. უმტყუნებო მუშაობის და მტყუნების ალბათობის ექსპერიმენტული განსაზღვრა.....54
- 2.4. მტყუნების ინტენსიურობის (საფრთხის) ექსპერიმენტული განსაზღვრა.....57
- 2.5. უმტყუნებო მუშაობის (საიმედოობის) რიცხოზობივი მახასიათებლები.....59
- 2.6. საიმედოობის რიცხოზობივი მახასიათებლების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.....60
- 2.7. საიმედოობის მარვენებლების სტატისტიკური შეფასება.....63
- 2.8. საიმედოობის მარვენებლების განაწილების ზოგიერთი კანონი.....67
- 2.9. პიპოთეზა შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების კანონზე და მისი შემოწმება.....90
- 2.10. აღდგენადი ელემენტების საიმედოობა.....93
- 2.11. სისტემის საიმედოობის შეფასება.....98
- მაგალითი.....107
- 2.12. მექანიკური მოწყობილობის და მისი ელემენტების გამოცდები საიმედოობაზე.....111
- მაგალითი.....125

III თავი. მანქანა-მოწყობილობების საიმედოობის ფიზიკური საფუძვლები და კრიტერიუმები127

IV	თავი. ტრიბოლოგია და ტრიბოტექნიკა	
4.1.	განვითარების საწყისები	128
4.2.	ძირითადი ცნებები და განმარტებანი	135
4.3.	განვითარების ძირითადი მიმართულებანი	142
V	თავი. ტრიბოტექნიკის თეორიის საფუძვლები	
5.1.	ძირითადი თეორიული ცნებები და პარამეტრები	148
5.2.	ზედაპირული ფენის მექანიკური თვისებები და სტრუქტურა.....	155
5.3.	ხახუნის თეორიები და მუშა ზედაპირების კონტაქტები	163
5.4.	მოლეკულური ურთიერთქმედება ტრიბოლოგიურ პროცესში.....	165
5.5.	მექანიკური ურთიერთქმედება ტრიბოლოგიურ პროცესში.....	167
5.6.	მასალის მექანიკური თვისებების შეფასება დადებითი გრადიენტის წესით	171
VI	თავი. ტრიბოლოგიური პროცესი შუამავთი მასალებით	
6.1.	შემზეთი მასალის დანიშნულება და თვისებები.....	175
6.2.	შემზეთი მასალების სახეები და კლასიფიკაცია.....	184
6.3.	შეზეთვის სახეები.....	197
VII	თავი. თხევადი შუამავთა და მისი ჰიდროდინამიკური თეორია	
7.1.	ჰიდროდინამიკური შეზეთვის (ხახუნის) საფუძვლები.....	206
7.2.	გეომეტრიული პარამეტრები.....	210
7.3.	ზეთის ფენის ზიდვის უნარი.....	212
7.4.	ხახუნის პარამეტრები.....	224
7.5.	თბური გაანგარიშების საფუძვლები წნევით შეზეთვის დროს.....	227
	მაგალითი.....	236
VIII	თავი. შუამავთის სისტემები და მეთოდები.....	240
8.1.	ინდივიდუალური შეზეთვა	243
8.2.	ცენტრალური შეზეთვა.....	252
8.3.	სპეციფიკური მანქანა-მოწყობილობის შეზეთვის სისტემები.....	255
IX	თავი. სრიალის საკისრების გაანგარიშების მეთოდები სასაზღვრო და მშრალი სახუნის დროს	
9.1.	სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის კრიტერიუმები.....	259
9.2.	საკისრების ზიდვის უნარი.....	262
9.3.	სრიალის საკისრის ზიდვის უნარის განსაზღვრის განტოლებები....	264
9.4.	კონტაქტური ამოცანების ინტეგრალური განტოლების ამოხსნის მეთოდი.....	270
9.5.	სრიალის საკისარში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მეთოდიკა.....	276

9.6. დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდოლოგია (პლასტმასოვანი სადებე- ბისათვის).....	281
9.7. ტრიბოსისტემების თბური გაანგარიშების საფუძვლები.....	288
9.8. სრიალის საკისრების კონსტრუქციული პარამეტრები.....	299
9.9. სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოდოლოგია.....	306
მაგალითი.....	310
X თავი. სრიალის საკისრების კონსტრუქციები	
10.1. სრიალის საკისრების ტრადიციული კონსტრუქციები პოლიმერული სადებით.....	315
10.2. დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრები მოდულური ელემენტებით.....	321
XI თავი. მასალები ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის.....	
11.1. ფერადი ანტიფრიქციული შენაღობები.....	327
11.2. ანტიფრიქციული თუჯი.....	331
11.3. ლითონკერამიკული (ფხენილოვანი) მასალები	332
11.4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები).....	333
11.5. სხვა არალითონური მასალები	341
11.6. თვითზეთვადი ანტიფრიქციული თბომედეგი პოლიმერული კომპოზიციები.....	345
XII თავი. მანქანათა მასალების დაღლილობა	
12.1. დეტალი ამტანობის უნარზე მოქმედი ფაქტორები.....	347
12.2. ციკლურ დატვირთვათა სახეები.....	351
12.3. დაღლილობის მახასიათებლები.....	352
12.4. დაღლილობის პარამეტრების და მასალის მექანიკური მაჩვენებლების ურთიერთდამოკიდებულება.....	360
12.5. დეტალის ამტანობის უნარის დასაშვები ძაბვა.....	385
მაგალითი.....	392
ლიტერატურა	

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. შილაკაძე

მექანიკური მოწყობილობის საიმედოების საფუძვლები

საიმედოების მარკენებლები
ტრიბოტექნიკის საფუძვლები
დადღილობა

თბილისი 2009

უპკ 621.01

წინამდებარე წიგნში მოცემულია მანქანა-მექანიზმებისა და მექანიკური მოწყობილობის ექსპლუატაციის საიმედოობის საკითხები. განხილულია საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებლების ცვლილებათა კანონზომიერებანი, პროგნოზირების საკითხები და მართვის ძირითადი მიმართულებანი მათი დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის სტადიებზე.

განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის ფიზიკურ საფუძვლებს.

წიგნში მოცემულია ტრიბოტექნიკის თეორიული საფუძვლები და მისი თანმედროვე პრობლემები, ტრიბოლოგიური სისტემების საინჟინრო განგარიშების მეთოდები და მათთვის საჭირო მასალები, მანქანათა დეტალების ზღვრულ ამტანობაზე (დაღლილობაზე) განგარიშების საინჟინრო მეთოდთა და მასთან დაკავშირებული საცნობარო მასალა.

განკუთვნილია როგორც სახელმძღვანელო ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის ყველა მექანიკური სპეციალობის სტუდენტებისათვის. იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, ასევე საწარმოთა ინჟინერ-ტექნიკური მუშაკების, კონსტრუქტორებისა და დოქტორანტებისათვის.

წინასიტყვაობა

საიმედოობის თეორია მრავალწახნაგა მეცნიერული დისციპლინაა, რომელიც შეისწავლის ტექნიკური ობიექტების ეფექტური მუშაობის საფუძვლებს. ამასთან დაკავშირებით, მათემატიკური აპარატის გამოყენებით იგი განიხილავს კონსტრუქციულ, ტექნოლოგიურ, ფიზიკურ-ქიმიურ და ორგანიზაციულ საკითხებს. საიმედოობის თეორია მექანიკური მანქანა-მექანიზმებისა და მოწყობილობის დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის ერთ-ერთ ძირითად მეცნიერულ საფუძველს წარმოადგენს.

როგორც სასწავლო დისციპლინა, საიმედოობის თეორია კადრების კომპლექსური მომზადების შემადგენელი ნაწილია და ბუნებრივია, ინჟინერ-მექანიკოსების სასწავლო გეგმაში მას ზოგად დისციპლინებს შორის კუთვნილი ადგილი უჭირავს.

წინამდებარე ნაშრომში განიხილება მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის ფიზიკურ საფუძვლებს შორის უმთავრესი საკითხები – მასალების დაღლილობა და ტრიბოტექნიკა, ამასთან, უკანასკნელი სრულად შეესაბამება საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ტრიბოტექნიკის ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სასწავლო პროგრამას მექანიკოსებისათვის. საფიქრებელია, რომ უახლოეს პერიოდში ტრიბოტექნიკის, როგორც სასწავლო დისციპლინის, შესწავლა დაიწყება აგრეთვე ქვეყნის სხვა უმაღლეს ტექნიკურ სასწავლებლებში (მსოფლიო პრაქტიკის შესაბამისად მოსალოდნელია სპეციალისტ ტრიბოლოგების გამოშვების დაწყებაც).

მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის როგორც ზოგადი (საიმედოობის და ალბათობის თეორია), ისე შედარებით კონკრეტული საკითხები (ფიზიკური საფუძვლების სახით – ტრიბოტექნიკა, დაღლილობა, კოროზია) მომავალი ინჟინერ-მექანიკოსების მიერ დღევანდლამდე მხოლოდ ნაწილობრივ, ცალკეულ ნაწილებად შეისწავლებოდა სხვადასხვა სასწავლო დისციპლინებში (მათემატიკაში, მანქანებისა და მექანიზმების თეორიაში, მანქანათა ნაწილებში, მასალათა გამძლეობაში და ა. შ.). მოყვნილი სახელმძღვანელო განმეორებით ცდაა, წარმოგვედგინა იგი მოცემული სახით, როცა საიმედოობის თეორიის კანონზომიერებებთან და მაჩვენებლებთან ერთად დაწვრილებით განიხილება ტრიბოტექნიკის თანამედროვე პრობლემები და დაღლილობის ძირითადი საკითხები პრაქტიკული რეკომენდაციებით. წიგნი კარგ სამსახურს გაუწევს, როგორც მომავალ ბაკალავრებს და მაგისტრანტებს, ასევე წარმოების მუშაკებსა და მეცნიერებს.

წინამდებარე ნაშრომი ფაქტიურად მეორედ გამოიცემა. მას წინ უსწრებდა სტუ-ს 1998 წლის გამოცემა „სამშენებლო მანქანების საიმედოობის საფუძვლები“, რომლის ძირითადი შინაარსი, მიდგომა და დანიშნულება დიდად არ განსხვავდება მოცემული ნაშრომისაგან. თუმცა უკანასკნელში დამატებულია სამი თავი და შეტანილია რიგი კორექტივებისა.

სახელმძღვანელო დაწერილია საკუთარი გამკვლევებისა და სხვადასხვა ავტორების მიერ მიღებული შედეგების განზოგადების საფუძველზე.

პირველ თავში ჩამოთვლილია საიმედოობის მაჩვენებლების ტერმინები და განმარტებანი, საიმედოობის თვისებები, ამოცანები, განხილულია საიმედოობის კვლევის მეთოდები.

მეორე თავი შეიცავს საიმედოობის თეორიის ძირითად დებულებებს, განიხილავს საიმედოობის მაჩვენებლებს არააღდგენადი და აღდგენადი ობიექტებისათვის – მტყუნებისა და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობას, მტყუნებათა სიმკვრივესა და ინტენსიურობას, რიცხვით მახასიათებლებსა და მათ სტატისტიკურ შეფასებას; შეისწავლის შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების კანონებს: ექსპონენციალურს, ნორმალურს, ლოგარითმულ ნორმალურს, ვეიბულის კანონებს, საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმებს, მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამებს, მოყვანილია საიმედოობის რიცხვითი შეფასების მაგალითი.

მესამე თავში ჩამოყალიბებულია მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის ფიზიკური საფუძვლები და კრიტერიუმები.

მეოთხე თავი ეძღვნება ტრიბოლოგიის და ტრიბოტექნიკის ზოგად საკითხებს; აქ მოცემულია ტრიბოტექნიკის განვითარების საწყისები და ძირითადი მიმართულებანი, ტრიბოტექნიკის ძირითადი ცნებები და განმარტებანი.

მეხუთე თავში მოცემულია ტრიბოტექნიკის თეორიის საფუძვლები, ზედაპირული ფენის მექანიკური თვისებები და სტრუქტურა, მოლეკულური და მექანიკური ურთიერთქმედებანი ტრიბოლოგიურ პროცესში, ზედაპირის მექანიკური თვისებების შეფასების – „დადებითი გრადიენტის წესის“ არსი.

მეექვსე თავში აღწერილია შემზეთი მასალების დანიშნულება და თვისებები, მათი სახეები და კლასიფიკაცია.

მეშვიდე თავი ეძღვნება ტრიბოლოგიური პროცესების კლასიფიკაციას, თხევად შეხეთვას და მისი ჰიდროდინამიკური თეორიის საფუძვლების შესწავლას. განსაზღვრულია ზეთის წნევითი ფენის ზიდვის უნარი და ხახუნის პარამეტრები თხევადი შეხეთვის პირობებში; მოცემულია ტრიბოსისტემის თბური გაანგარიშების მეთოდика; მოტანილია გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი.

მერვე თავი შეისწავლის შეხეთვის სხვადასხვა სახის სისტემებსა და მეთოდებს; მოცემულია მათი განსხვავებული კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები.

მეცხრე თავში ფუნდამენტურადაა განხილული ტრიბოსისტემების და კერძოდ, სრიალის საკისრების გაანგარიშების მეთოდика სასაზღვრო და მშრალი ხახუნის დროს; ჩამოთვლილია და დასაბუთებულია ტრიბოსისტემების მუშაობის უნარის კრიტერიუმები; მოცემულ თავში განსაკუთრებული ადგილი ეთმობა პლასტმასოვან სრიალის საკისრებს; მოყვანილია კონტაქტური ამოცანის დასმის საფუძველზე მიღებული სრიალის საკისრების ზიდვის უნარის განსაზღვრის განტოლებები და მათი ამოხსნის მეთოდი; წარმოდგენილია სრიალის საკისრებში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრისათვის საჭირო გრაფიკულ-ანალიზური დამოკიდებულებები და საინჟინრო გაანგარიშების მეთოდика, საცნობარო მასალები დასაშვები ძაბვების შერჩევისათვის; შემოთავაზებულია ტრიბოსისტემის თბური გაანგარიშების მეთოდები; მოცემულია რეკომენდაციები სრიალის საკისრების კონსტრუქციული პარამეტრების შესახებ; მოცემულია სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოდика. მოტანილია სრიალის საკისრების გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი მშრალი და სასაზღვრო ხახუნის დროს.

მეათე თავში აღწერილია სრიალის საკისრების კონსტრუქციები პოლიმერული სადებებით. მოცემულია დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრის პრინციპულად ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტა მოდულური ელემენტებით.

მეთერთმეტე თავში მოცემულია ტრიბოლოგიურ სისტემებში გამოყენებული მასალების: ფერადი შენადნობების, ანტიფრიქციული თუჯის, პოლიმერების და სხვა მასალების თვისებები და გამოყენების სფეროები.

მეთორმეტე თავში განიხილება კონსტრუქციული მასალების დადლილობის საკითხები; ჩამოთვლილია მანქანათა ნაწილების ამტანობაზე მოქმედი ფაქტორები და ციკლურ დატვირთვათა სახეები; დახასიათებულია დადლილობის მახასიათებლების სპეციფიკური თავისებურებანი და წარმოდგენილია მათი დამოკიდებულების ხასიათი მასალის მექანიკურ მაჩვენებლებზე; დართული აქვს საცნობარო მასალები; მოცემულია ამტანობაზე დასაშვები ძაბვის განსაზღვრის მეთოდოლოგია.

შესავალი

თანამედროვე სამრეწველო ინდუსტრიის ერთ-ერთ მთავარ თავისებურებად მიჩნეულია ტექნოლოგიური პროცესების ერთმანეთთან მჭიდრო დაკავშირება, რომელთა შესრულებაც ასევე ურთიერთდაკავშირებული მანქანებით, კომპლექსებით არის შესაძლებელი. ამასთან, წლითიწლობით იზრდება ცალკეული საშუალების მექანიზაციის კუთრი წილი და მანქანათა სირთულის დონე. ბუნებრივია, ასეთ პირობებში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მანქანათა ხარისხობრივ მაჩვენებლებს, რომელთა შორის საიმედოობის მაჩვენებლები ფუნქციონირების, ეკონომიურობის და უსაფრთხოების მაჩვენებლებთან ერთად უმნიშვნელოვანესია მანქანის ხარისხობრივი შეფასების დროს.

მანქანათა არასაკმარისი საიმედოობა აქვეითებს მათი გამოყენების ეფექტურობას მუშაობის პროცესში, რაც განპირობებულია მწარმოებლურობის შემცირებით აღდგენაზე დროითი დანაკარგების მიზეზით, ხოლო ცალკეული დეტალების და კვანძების ზედმეტი საიმედოობა ასევე არ იძლევა დადებით ეფექტს, ვინაიდან, იგი მართალია აღიღებს მთლიანად მანქანის ან კომპლექსის მწარმოებლურობას, მაგრამ ამასთან ზრდის მის თვითღირებულებას მასალის გადახარჯვის ან დამატებითი ტექნოლოგიური ოპერაციების ჩატარებისათვის საჭირო დანახარჯებით.

აღნიშნულის გამო საიმედოობის ოპტიმალური დონის შერჩევა მანქანათა შექმნის პროცესის მეტად აქტუალური ამოცანაა. ამასთან, პოსტ საბჭოთა კავშირის ეკონომიკურ სივრცეში დამზადებული მანქანები ამ კრიტერიუმით ვერ პასუხობენ მსოფლიო სტანდარტებს.

საიმედოობის ეკონომიკურად და ტექნიკურად მიზანშეწონილი დონის მიღწევა და მანქანათა საიმედოობის დონის მართვა შესაძლებელია მიღწეულ იქნეს საკითხებისადმი შევჯერებული მიდგომით, თანამედროვე პროგრესული მეთოდების გამოყენებით: საიმედოობის თეორიის საკითხებზე დაყრდნობით, მტყუნებათა ალბათობის მაჩვენებელთა გაანალიზებით, ნაკეთობათა დაპროექტების, დამზადებისა და ექსპლუატაციის პროცესში არსებული ყველა შესაძლო პარამეტრის გათვალისწინებით, საკითხებისადმი სისტემური მიდგომით და ა.შ.

საიმედოობის მაჩვენებლების ოპტიმალური დონის დადგენა მნიშვნელოვანწილადაა განპირობებული მანქანების მტყუნებების ფიზიკური საფუძვლებით. მექანიკური მოწყობილობების მტყუნებათა აბსოლუტური უმრავლესობის მიზეზებად მიიჩნევენ დეტალების ცვეთას და დაღლილობას. სწორედ ამ ფაქტორებზე კეთდება აქცენტი მექანიკური მოწყობილობების საიმედოობის საკითხების შესწავლის დროს, როცა პირველ შემთხვევაში შეისწავლება ტრიბოტექნიკის, ხოლო მეორე შემთხვევაში – მასალათა დაღლილობის საფუძვლები.

აღნიშნულმა საკითხებმა სათანადო გამოხატულება პოვა შემოთავაზებულ ნაშრომში.

I ტაში

მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობა

1.1. მანქანათა საიმედოობა და თანამედროვე ტექნიკა

საიმედოობის თეორიის ძირითადი დებულებები წარმოადგენს მექანიკური მანქანებისა და მოწყობილობების და საერთოდ, მექანიკური სისტემების შექმნისა და გამოყენების ერთ-ერთ ძირითად მეცნიერულ საფუძველს.

საიმედოობის თეორიის ზოგადი მეთოდების განხილვის საფუძველზე შესაბამისი დისციპლინა შეისწავლის მექანიკური სისტემების საიმედოობის პრინციპულ საკითხებს დაპროექტების, დამზადების და ექსპლუატაციის პროცესში და მათ განიხილავს მთლიანობაში.

პრინციპულ საკითხთა რიგს განეკუთვნება საიმედოობის მაჩვენებლების ნომენკლატურის შერჩევა და მაჩვენებელთა ნორმირების ამოცანები. მანქანათა საიმედოობის კურსში დაწვრილებით შეისწავლება მანქანათა ნაწილების რესურსის პროგნოზირების საკითხები ცვეთისა და დაღლილობის კრიტერიუმების მიხედვით. საკმაო ყურადღება ეთმობა ობიექტის დამზადებისა და ექსპლუატაციის პროცესებში საიმედოობის მაჩვენებელთა დონის შენარჩუნებას, როცა გათვალისწინებულია მისი როგორც დამზადების ტექნოლოგია, ისე ტექნიკური მომსახურების, დიაგნოსტიკის, რემონტის, ტრანსპორტირებისა და შენახვის საკითხები. შეისწავლება ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის მეთოდები და პროგრამები, განიხილება მექანიკური სისტემების საიმედოობის მართვის და საიმედოობის მაჩვენებელთა ნაკეთობის ეკონომიკურ ეფექტიანობაზე გავლენის საკითხები.

მექანიკური სისტემების საიმედოობის შესწავლა ეფუძნება მათემატიკური სტატისტიკის, ალბათობის თეორიის, მასალათა გამძლეობის, მანქანებისა და მექანიზმების თეორიის, მანქანათა ნაწილების, ლითონმცოდნეობის, პოლიმერების მექანიკის და სხვა დისციპლინების ცალკეული ნაწილების ცოდნას.

მანქანათა ნაწილების საიმედოობის ზოგიერთი საკითხი გარკვეულწილად განიხილება სპეციალური დისციპლინების კურსში, მაგალითად, მანქანათა ნაწილების, მასალათა გამძლეობის შესწავლის დროს. მოცემული კურსი კი ობიექტის საიმედოობას განიხილავს უფრო ფართოდ, კომპლექსში – სხვადასხვა ფაქტორებთან ურთიერთდაზოკიდებულებაში, სისტემურად.

განივილთ საიმედოობის როლი, როგორც ობიექტის თვისება.

როგორც ცნობილია, ტექნიკური პროგრესის თანამედროვე ეტაპზე საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები უმრავლეს შემთხვევაში ორგანულად არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული. ამასთან, მექანიზაციის დონე განუხრელად იზრდება, რაც უპირობოდ მოითხოვს მანქანების და მოწყობილობის ხარისხის მაჩვენებლების შესაბამის გაზრდას. უკანასკნელი, ბუნებრივია, უშუალოდ მოქმედებს წარმოების ეფექტურობაზე. მანქანათა ხარისხის მაჩვენებლებს სხვა მრავალ თვისებასთან ერთად მიეკუთვნება: ფუნქციური დანიშნულების მაჩვენებელი, ეკონომიურობა, უსაფრთხოება, საიმედოობა, ტექნოლოგიურობა, ერგონომიკულობა, ესთეტიკა, სტანდარტიზაცია, უნიფიკაცია.

დიდია მანქანების საიმედოობის როლი წარმოების ეფექტიანობასა და ინტენსიფიკაციაზე.

მექანიკური სისტემების საიმედოობა დიდად არის დამოკიდებული მომიჯნავე უწყებების ტექნოლოგიურ დონეზე. ამავე დროს შესაძლებელია საიმედოობის მაჩვენებელთა მართვა მანქანის დაპროექტების, დამზადებისა და ექსპლუატაციის პროცესებში.

მანქანათა საიმედოობის მაჩვენებელთა დაბალი დონე ამცირებს წარმოებულურობას, ადიდებს დანახარჯებს ექსპლუატაციაზე და კაპიტალურ დაბანდებს, ამიტომ დიდი ყურადღება ექცევა მექანიკური სისტემების ეკონომიკურად მიზანშეწონილ საიმედოობის მაჩვენებელს. ასე მაგალითად, პოსტ საბჭოთა კავშირის ეკონომიკურ სივრცეში წარმოებულმა სამშენებლო და მიწასათხრელი მანქანების კონსტრუქციულმა ანალიზმა დაგვანახვა, რომ მათი საიმედოობა 20-30%-ით ნაკლებია ეკონომიკურად მიზანშეწონილ და ობიექტურად აღიარებულ მაჩვენებლებზე. მეორეს მხრივ, იმის გამო, რომ ლითონი არარაციონალურად არის გამოყენებული, ანუ სხვადასხვა ელემენტების საიმედოობის დონეები, ელემენტების ლითონტევადობა* ხშირად 15-20%-ით მეტია ოპტიმალურზე.

საიმედოობის ეკონომიკურად მიზანშეწონილი დონის მიღწევა მექანიკური სისტემებისათვის შეიძლება გაანგარიშებების ახალი პროგრესული მეთოდების გამოყენებით, რომლებიც დაფუძნებულია საიმედოობის თეორიის ზოგად და გამოყენებით საკითხებზე. ამასთან საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს მექანიკური სისტემების საიმედოობაზე მოქმედი მრავალი პარამეტრი – დატვირთვის რეჟიმი, კლიმატური პირობები, მასალების და გრუნტების სპეციფიკა, დაზიანებათა დაგროვების

* ლითონტევადობად იწოდება მაჩვენებელი, რომელიც წარმოადგენს ნაკეთობის მასის ფარდობას მის მთავარ პარამეტრთან.

ხასიათი, მტყუნებათა მექანიზმი და მრავალი სხვა (მათ შორის სუბექტური), რომელთაგან თითოეული წარმოადგენს რთულ ტექნიკურ სისტემას.

1.2. საიმედოობის ტერმინები და მათი განმარტებანი

საიმედოობის თეორია მეცნიერების სხვა მიმართულებების მსგავსად ტერმინების ჩამოყალიბების, ძირითადი ცნებების განმარტებისა და მათ შორის არსებული კავშირების აღწერიდან იღებს სათავეს. საიმედოობის სფეროს აღნიშნულ საკითხებზე ყოფილ საბჭოთა კავშირში 1988 წლამდე ვრცელდებოდა სახელმწიფო სტანდარტი ГОСТ 27.002-83*, რომელშიც მითითებული იყო აგრეთვე ექვივალენტური სტანდარტიზებული ტერმინები, ინგლისურ და ფრანგულ ენებზე (დღეს რუსეთის ფედერაციის ტერიტორიაზე მოქმედებს შესაბამისი დასახელების სტანდარტი ГОСТ 27.002-89).

ქვემოთ მოყვანილია საიმედოობის ტერმინების განმარტებანი ზემოთმოხსენიებული სტანდარტების მიხედვით. მათი სასწავლო-სახელმძღვანელო დოკუმენტის სტატუსით გამოყენება დღესაც დასაშვებია, ვინაიდან ორივე მათგანი საერთაშორისო სტანდარტის ISO-ს მიხედვით არის შემუშავებული.

* აღნიშნული სახელმწიფო სტანდარტი დღეს აღარ მოქმედებს, მაგრამ ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკების სამრეწველო მეურნეობებში იგი მიჩნეულია, როგორც სახელმძღვანელო დოკუმენტი.

ზოგადი ცნებები

1. საიმედოობა – ობიექტის თვისება, შეინარჩუნოს დროის დადგენილ ზღვრებში ყველა ის პარამეტრი, რომლებიც უზრუნველყოფენ საჭირო ფუნქციების შესრულებას მოცემული რეჟიმის, გამოყენების, ტექნიკური მომსახურების, რემონტის, შენახვისა და ტრანსპორტირების პირობებში.

შენიშვნა. საიმედოობა რთული თვისებაა, რომელიც ობიექტის დანიშნულებისა და მისი გამოყენების მიხედვით წარმოადგენს შემდეგ თვისებათა ერთობლიობას: უმტყუნებლობა, ხანგამძლეობა, რემონტოვარგისობა და შენახვის უნარი.

2. უმტყუნებლობა – ობიექტის თვისება, უწყვეტად შეინარჩუნოს მუშაობის უნარი გარკვეული დროის ან გარკვეული ნამუშევრის განმავლობაში.

3. ხანგამძლეობა – ობიექტის თვისება, შეინარჩუნოს მუშაობის უნარი ზღვრული მდგომარეობის დადგომამდე დადგენილი ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის სისტემის პირობებში.

4. რემონტოვარგისობა – ობიექტის მოხერხებულობა მტყუნებათა და დაზიანებათა თავიდან აცილების, მათი წარმოშობის მიზეზების წარმოჩენისა და მუშაობის უნარის აღსადგენად დადგენილი ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის ჩატარების გზით.

5. შენახვის უნარი – ობიექტის თვისება, შეინარჩუნოს უმტყუნებლობის, ხანგამძლეობისა და რემონტოვარგისობის მაჩვენებელთა მნიშვნელობები შენახვისა და ტრანსპორტირების შემდეგ.

6. გამართული მდგომარეობა – ობიექტის მდგომარეობა, რომლის დროსაც იგი სრულად პასუხობს ნორმატიულ-ტექნიკურ და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციას.

7. გაუმართავი მდგომარეობა – ობიექტის მდგომარეობა, რომლის დროსაც იგი არ აკმაყოფილებს თუნდაც ერთ ნორმატიულ-ტექნიკურ და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციის მოთხოვნებს.

8. მუშაობის უნარი – ობიექტის მდგომარეობა, რომლის დროსაც ყველა პარამეტრი, რომლებიც ახასიათებენ მოცემული ფუნქციების შესრულების უნარს, შეესაბამება ნორმატიულ-ტექნიკურ და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციის მოთხოვნებს.

9. მუშაობის უნარობა – ობიექტის მდგომარეობა, რომლის დროსაც მასზე დაკისრებული ფუნქციების შესრულებისთვის აუცილებელი პარამეტრებიდან, თუნდაც ერთი არ შეესაბამება ნორმატიულ-ტექნიკურ და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციის მოთხოვნებს.

10. ზღვრული მდგომარეობა – ობიექტის მდგომარეობა, რომლის დროსაც მისი შემდგომი გამოყენება დანიშნულებით აღარ შეიძლება, ან არამიზანშეწონილია, რადგანაც მისი აღდგენა გამართულ ან მუშა მდგომარეობამდე შეუძლებელი და მიზანშეწონილია.

11. ზღვრული მდგომარეობის კრიტერიუმები – ობიექტის ზღვრული მდგომარეობის ნიშანი ან ნიშანთა ერთობლიობა, რომლებიც დადგენილია ნორმატიულ-ტექნიკური და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციით.

12. დეფექტი განსაზღვრულია საერთაშორისო და ეროვნული სტანდარტებით.

13. დაზიანება – ხდომილობა, რომელიც გამოიხატება ობიექტის გამართული მდგომარეობის დარღვევაში ისე, რომ შენარჩუნებულია მისი მუშაობის უნარი.

14. მტყუნება – ხდომილობა, რომელიც გამოიხატება ობიექტის მუშაობის უნარის მდგომარეობის დარღვევაში.

15. მტყუნებათა კრიტერიუმები – ობიექტის მუშაობის უუნარობის ნიშანი ან ნიშანთა ერთობლიობა, რომლებიც დადგენილია ნორმატიულ - ტექნიკური და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციით.

16. ტექნიკური მომსახურება განსაზღვრულია საერთაშორისო და ეროვნული სტანდარტებით.

17. მუშაობის უნარის მდგომარეობის აღდგენა.

18. რემონტი განსაზღვრულია საერთაშორისო და ეროვნული სტანდარტებით.

19. მოსამსახურებელი ობიექტი – რომლისთვისაც ტექნიკური მომსახურების ჩატარება გათვალისწინებულია ნორმატიულ-ტექნიკური და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციით.

20. არამოსამსახურებელი ობიექტი – რომლისთვისაც ტექნიკური მომსახურების ჩატარება გათვალისწინებული არ არის ნორმატიულ - ტექნიკური და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციით.

21. აღდგენადი ობიექტი – ობიექტი, რომლისთვისაც განსახილველ სიტუაციაში მუშაობის უნარის მდგომარეობის აღდგენა გათვალისწინებულია ნორმატიულ-ტექნიკური და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციით.

22. არააღდგენადი ობიექტი – რომლისთვისაც განსახილველ სიტუაციაში მუშაობის უნარის აღდგენა არ არის გათვალისწინებული ნორმატიულ-ტექნიკური და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციით.

23. სარემონტო ობიექტი – რომლისთვისაც რემონტების ჩატარება გათვალისწინებულია ნორმატიულ-ტექნიკური და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციით.

24. არასარემონტო ობიექტი – რომლისთვისაც რემონტების ჩატარება ნორმატიულ-ტექნიკური და (ან) საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციით გათვალისწინებული არ არის.

25. საიმელობის მაჩვენებელი – ობიექტის საიმელობის ერთი ან რამდენიმე თვისების რაოდენობრივი დახასიათება.

26. საიმელობის ერთეულოვანი მაჩვენებელი – საიმელობის მაჩვენებელი, რომელიც ახასიათებს ობიექტის საიმელობის ერთ-ერთ თვისებას.

27. საიმელობის კომპლექსური მაჩვენებელი – ახასიათებს ობიექტის საიმელობის რამდენიმე თვისებას.

28. ნამუშევარი ობიექტის მუშაობის ხანგრძლივობა ან მისი მოცულობაა.

29. ნამუშევარი მტყუნებამდე – ობიექტის ნამუშევარი მისი ექსპლუატაციაში შესვლიდან პირველ მტყუნებამდე.

30. მტყუნებათაშორისი ნამუშევარი – ობიექტის ნამუშევარი მისი მუშაობის უნარის აღდგენიდან შემდგომ მტყუნებამდე.

31. ტექნიკური რესურსი – ობიექტის ნამუშევარი მისი ექსპლუატაციაში შესვლიდან ან გარკვეული სახის რემონტის ჩატარების შემდეგ მისი განახლებიდან ზღვრულ მდგომარეობაში გადასვლამდე.

32. სამსახურის ვადა – კალენდარული ხანგრძლივობა ობიექტის ექსპლუატაციაში შესვლიდან ან რომელიმე სახის რემონტის დამთავრებიდან ზღვრულ მდგომარეობამდე.

33. შენახვის ვადა – ობიექტის შენახვის ან ტრანსპორტირების კალენდარული ხანგრძლივობა, რომლის შემდეგაც შენარჩუნებულია,

უმტყუნებლობა, ხანგამძლეობის და რემონტთვარგისობის მაჩვენებლები დადგენილ ზღვრებში.

34. მუშაობის უნარის აღდგენის დრო არის ობიექტის მუშაობის უნარის აღდგენის ხანგრძლივობა.

უმტყუნებლობის მაჩვენებლები

35. უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობა – ალბათობა იმისა, რომ ობიექტის მოცემული ნამუშევრის ზღვრებში მტყუნება არ წარმოიშობა.

36. საშუალო ნამუშევრი მტყუნებამდე – ობიექტის ნამუშევრის მათემატიკური ლოდინი პირველ მტყუნებამდე.

37. გამა-პროცენტული ნამუშევრი მტყუნებამდე – ნამუშევრი დრო პროცენტულად გამოსახული ალბათობით, რომლის განმავლობაშიც ობიექტის მტყუნებას ადგილი არა აქვს.

38. საშუალო ნამუშევრი ერთ მტყუნებაზე – აღდგენადი ობიექტის ნამუშევრი დროის ფარდობა ამ დროში მტყუნებათა რიცხვის მათემატიკურ ლოდინთან.

39. მტყუნებათა ინტენსიურობა – არააღდგენადი ობიექტის მტყუნებათა წარმოშობის პირობითი სიმკვრივის ალბათობა განსახილველი მომენტისათვის იმ პირობით, რომ ამ მომენტამდე მტყუნებას ადგილი არ ჰქონია.

40. მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი – აღდგენადი ობიექტის ნებისმიერ მცირე ნამუშევრ დროში მტყუნებათა საშუალო რიცხვის შეფარდება ამ დროსთან.

ხანგამძლეობის მაჩვენებლები

41. საშუალო რესურსი – რესურსის მათემატიკური ლოდინი.

42. გამა-პროცენტული რესურსი – ნამუშევრი დრო, გამოსახული პროცენტებში მოცემული γ ალბათობით, რომლის განმავლობაშიც ობიექტი არ აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას.

43. დანიშნული რესურსი – ობიექტის ჯამური ნამუშევრი, რომლის მიღწევისას მისი დანიშნულებისამებრ გამოყენება უნდა შეწყდეს.

44. სამსახურის საშუალო ვადა – სამსახურის ვადის მათემატიკური ლოდინი.

45. სამსახური გამა-პროცენტული ვადა – კალენდარული ხანგრძლივობა, გამოსახული პროცენტებში მოცემული γ ალბათობით, ობიექტის ექსპლუატაციის დაწყებიდან ზღვრულ მდგომარეობამდე.

46. დანიშნული სამსახურის ვადა – ობიექტის ექსპლუატაციის კალენდარული ხანგრძლივობა, რომლის მიღწევისას მისი გამოყენება დანიშნული მიზნით უნდა შეწყდეს.

რემონტოვარგისობის მაჩვენებლები

47. მუშაობის უნარის აღდგენის ალბათობა – ალბათობა იმისა, რომ ობიექტის მუშაობის უნარის აღდგენის დრო არ გადაჭარბებს მოცემულს.

48. მუშაობის უნარის აღდგენის საშუალო დრო – მუშაობის უნარის აღდგენის დროის მათემატიკური ლოდინი.

შენახვის უნარის მაჩვენებლები

49. შენახვის უნარის საშუალო ვადა – შენახვის უნარის ვადის მათემატიკური ლოდინი.

50. შენახვის უნარის გამა-პროცენტული ვადა – ობიექტის მიერ მიღწეული შენახვის უნარის ვადა, გამოსახული პროცენტებში მოცემული γ ალბათობით.

საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებლები

51. მზადყოფნის კოეფიციენტი – ალბათობა იმისა, რომ ობიექტი აღმოჩნდება მუშა მდგომარეობაში დროის ნებისმიერ მომენტში, გარდა დაგეგმილი პერიოდებისა, რომლის განმავლობაშიც ობიექტის გამოყენება დანიშნულების მიხედვით არ არის გათვალისწინებული.

52. ოპერატიული მზადყოფნის კოეფიციენტი – ალბათობა იმისა, რომ ობიექტი აღმოჩნდება მუშა მდგომარეობაში დროის ნებისმიერ მომენტში, გარდა დაგეგმილი პერიოდებისა, რომლის განმავლობაშიც ობიექტის გამოყენება დანიშნულების მიხედვით გათვალისწინებული არ არის და ამ მომენტიდან დაწყებული იმუშავეს უმტყუნებოდ დროის გარკვეულ ინტერვალში.

53. ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტი – ობიექტის ექსპლუატაციის რაღაც პერიოდში მუშა მდგომარეობაში ყოფნის დროის ინტერვალის მათემატიკური ლოდინის შეფარდება ექსპლუატაციის იმავე პერიოდში ობიექტის მუშა მდგომარეობაში მოყვანის, ტექნიკურ მომსახურებაზე მოცდენების და რემონტზე დახარჯული დროის ინტერვალთა მათემატიკური ლოდინთა ჯამთან.

54. გეგმიური გამოყენების კოეფიციენტი – ექსპლუატაციის პერიოდის წილი, რომლის განმავლობაშიც ობიექტი არ უნდა იმყოფებოდეს გეგმიურ ტექნიკურ მომსახურებაზე ან რემონტზე.

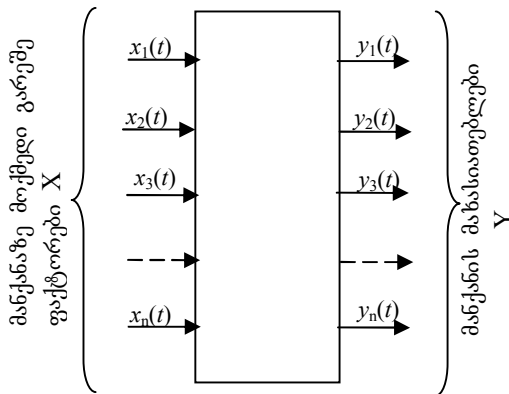
55. ეფექტურობის შენარჩუნების კოეფიციენტი – ექსპლუატაციის გარკვეული პერიოდის განმავლობაში ეფექტურობის მაჩვენებლის მნიშვნელობის ფარდობა ამ მაჩვენებლის ნომინალურ მნიშვნელობასთან, რომელიც გამოთვლილია იმ პირობიდან, რომ იგივე საექსპლუატაციო პერიოდში ობიექტის მტყუნებებს ადგილი არ ჰქონია.

1.3. მანქანათა პოტენციური თვისებები

ნებისმიერი მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების მუშაობა მიმდინარეობს მრავალრიცხოვანი, ამასთან, ხშირად ერთმანეთისაგან დიდად განსხვავებული გარეშე ფაქტორების ფონზე. გარეშე ფაქტორებისა და მანქანათა პოტენციურ შესაძლებლობათა, თვისებათა ურთიერთმოქმედების შედეგად ყალიბდება მანქანათა მუშაობის ხარისხობრივი თვისებები, კერძოდ, ეკონომიურობის, უსაფრთხოების, საიმედოობის და სხვა სახის მაჩვენებლები.

ზემოთ ნათქვამი შეიძლება გამოისახოს ინფორმაციული მოდელით, რომელიც აგებულია პრინციპით „შესვლა-გამოსვლა“ (ნახ.1.1). ამასთან, გარეშე ფაქტორები, შემავალი ცვლადები – $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ შეიძლება გამოსახული იქნენ გარეშე ფაქტორების ვექტორ-ფუნქციით:

$$X = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)],$$



ნახ. 1.1. მანქანის ინფორმაციული მოდელი

ხოლო მანქანის პოტენციური თვისებები, გამოძავალი ცვლადები, $y_1(t)$, $y_2(t)$, . . . , $y_n(t)$ შეიძლება წარმოდგენილი იქნას, როგორც მანქანის მუშაობის მახასიათებლების ვექტორ-ფუნქცია:

$$Y = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)].$$

სხვა სიტყვებით, Y ვექტორი გვიჩვენებს, თუ როგორ მუშაობს მანქანა ექსპლუატაციის იმ რეალურ პირობებში, რომელიც გამოისახება გარეშე ფაქტორებით – $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.

X და Y ვექტორების შემდგენებს აქვთ სტატისტიკური ბუნება, ამასთან, X ვექტორის შემდგენები წარმოადგენენ მანქანაზე მომქმედ შემთხვევით ფუნქციებს დროში, ხოლო Y ვექტორის შემდგენები – მანქანის პოტენციური თვისებების ცვლილებებს და ისინიც ასევე შემთხვევითი ფუნქციებია.

მანქანის პოტენციურ თვისებად იწოდება მანქანის ის ობიექტური თავისებურება, რომელიც წარმოიწინებს მანქანის შექმნისა და ექსპლუატაციის პროცესში, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მანქანის პოტენციური თვისებები გამოვლინდება მანქანაზე გარეშე ფაქტორების ან სხვა ობიექტის ზემოქმედების შედეგად.

თითოეულ მანქანას აქვს მრავალი მახასიათებელი თვისება, რომლებიც შეადგენენ იერარქიულ ერთობლიობას (ნახ. 1.2). ყველაზე განზოგადებული და კომპლექსური თვისება განიხილება, როგორც უმაღლესი ნულოვანი. ასეთ თვისებას საინჟინრო პრაქტიკაში მანქანის ხარისხს უწოდებენ.

მანქანის ხარისხის შემდგენები – ფუნქციონირების, ეკონომიურობის და უსაფრთხოების თვისებები, რომლებიც ნაკლებად განზოგადებული და უფრო მარტივები არიან, მიეკუთვნებიან მანქანის პოტენციურ თვისებათა

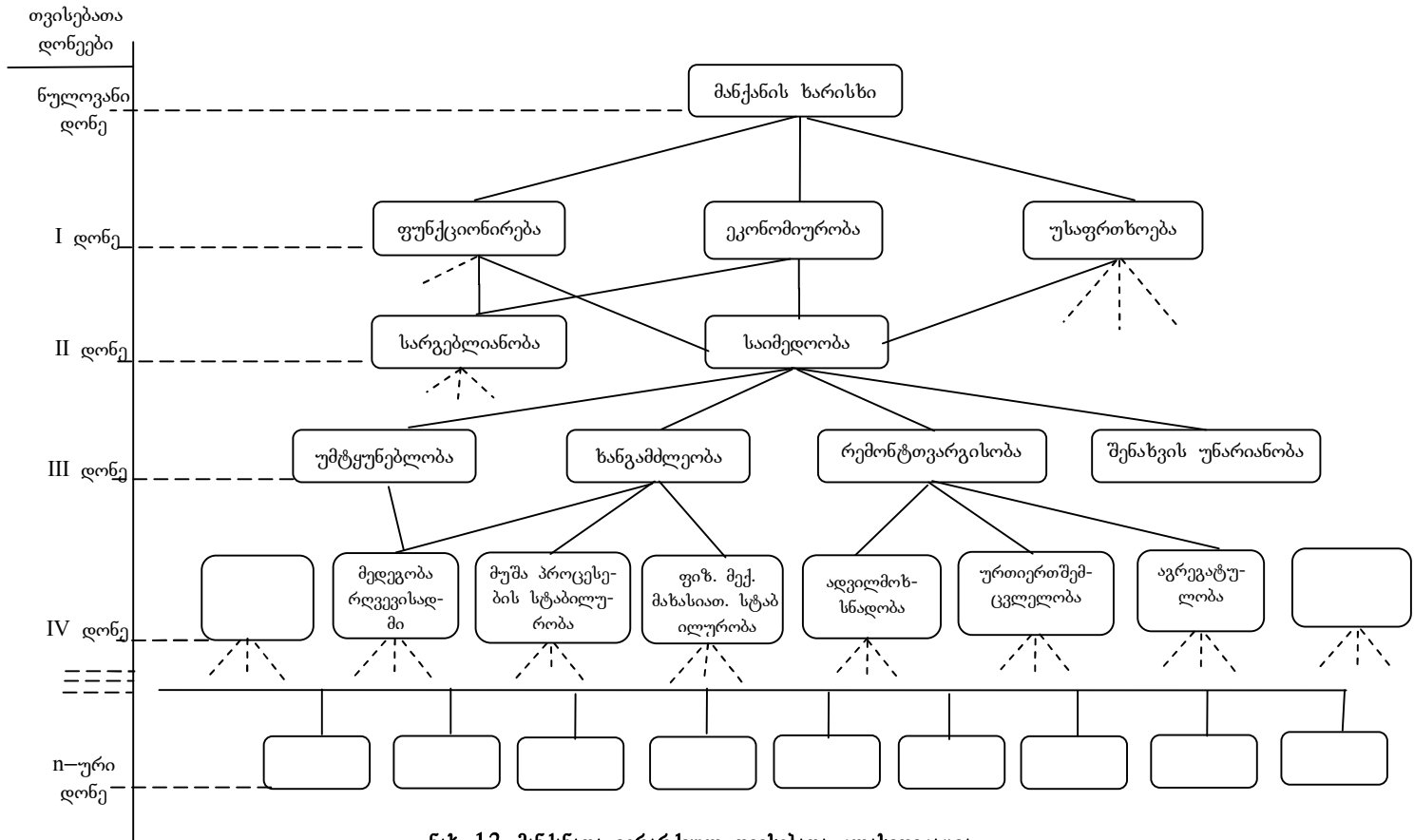
შემდგომ დონეს – I-ს, ხოლო საიმედოობა და სარგებლიანობა – II-ს, უმტყუნებლობა, ხანგამძლეობა, რემონტოვარგისობა და შენახვის უნარი – III-ს და ა.შ. ყველაზე დაბალი დონის თვისებებიც ტექნიკის განვითარების სხვა ეტაპზე შეიძლება დაიშალოს უფრო მარტივ, ე.ი. უფრო დაბალი დონის თვისებებად.

1.4. მტყუნებათა კლასიფიკაცია

მტყუნება, სახელმწიფო სტანდარტის შესაბამისად, ობიექტის ის მდგომარეობაა, როცა იგი მთლიანად ან ნაწილობრივ კარგავს მუშაობის უნარს და ვერ ასრულებს თავის ფუნქციებს იმ პარამეტრებით, რომლებიც გათვალისწინებულია ტექნიკური დოკუმენტაციით – სტანდარტებით, ტექნიკური პირობებით.

მექანიკური სისტემებისათვის მტყუნებათა ყველა სახე შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად (ნახ. 1.3):

- 1) მტყუნებანი, რომლებიც გამოწვეულია ელემენტების რღვევის შედეგად;
- 2) მტყუნებანი, გამოწვეული ელემენტების ფუნქციონირების ხარისხის დაქვეითების შედეგად.



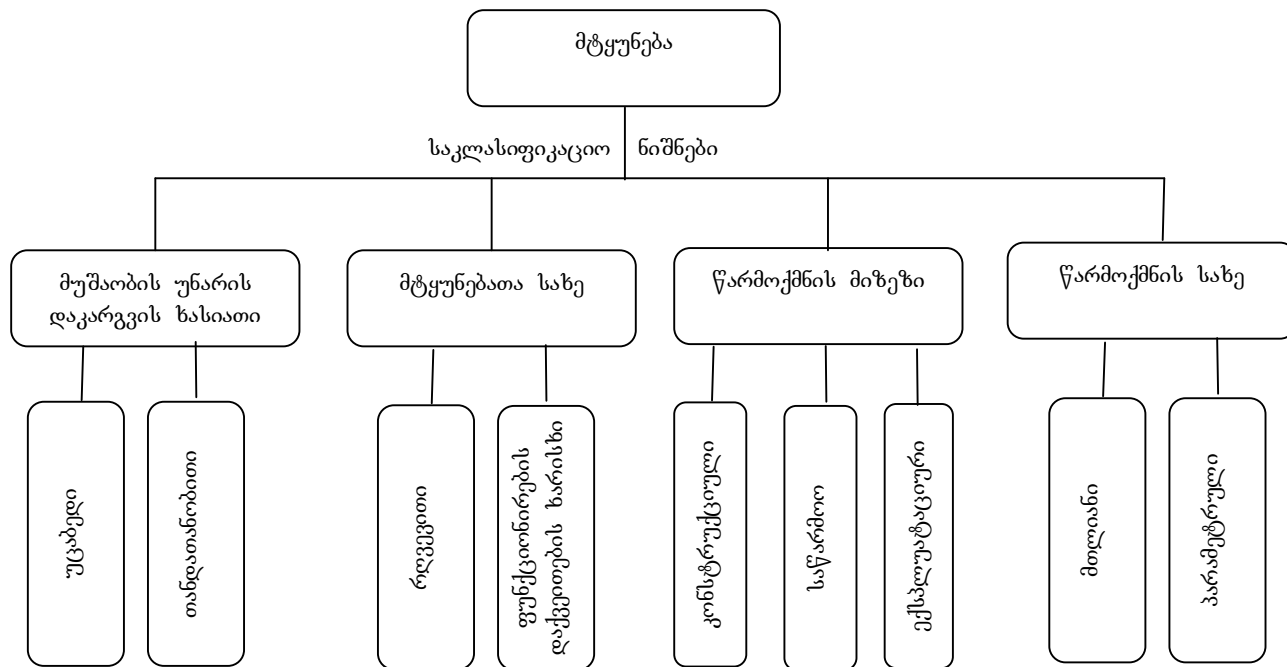
ნახ. 1.2. მანქანათა იერარქიულ თვისებათა კლასიფიკაცია

პირველ ჯგუფს განეკუთვნებიან ობიექტის მტყუნებანი, რომლებიც გამოწვეულია ელემენტების გატეხვით, ნარჩენი დეფორმაციებით, ცვეთით, ბზარებით, გახვრეტით, შეუღლებული ელემენტების ჩაჭედვით, გეომეტრიულობის დარღვევით, ელექტროსადენების გაწყვეტით და მოკლედ შერთვით, სქემის ელემენტების გადნობით და ა.შ.

მეორე ჯგუფს განეკუთვნებიან ობიექტის მტყუნებანი, რომლებიც გამოწვეულია სხვადასხვაგვარი რეგულირების მოშლით, მუშა ორგანოების ფუნქციების დაქვეითებით, პიდროსისტემის გაბიღვნით, მილგაყვანილობიდან წვეთვით, გაჭუჭყიანების გამო ელექტრომოწყობილობის კონტაქტების დასუსტებით, ვიბრაციის ან დინამიკური დატვირთვების გამო, სამაგრი ელემენტების მოშვებით და ა.შ.

მტყუნების ის სახე, როცა მანქანას უცბად ეცვლება ერთი ან რამდენიმე პარამეტრი, მიჩნეულია უცბად მტყუნებად. მაგალითად, პლასტიკური დეფორმაცია, მყიფე მსხვრევა, მღვრადობის დაკარგვა, ჩაჭედვა, მილგაყვანილობის გაწყვეტა ან გაჭედვა, დამცველი სარკველის მტყუნება, კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური დეფექტები, ექსპლუატაციური პირობების მკვეთრი გაუარესება და ა. შ.

თუ ობიექტის ექსპლუატაცია ხასიათდება მისი ერთი ან რამდენიმე პარამეტრის თანდათანობით შეცვლით – მტყუნებას თანდათანობით ეწოდება. ასეთ მტყუნებათა მაგალითებია: ელემენტების რღვევა, რომელიც გამოწვეულია ცვეთით, დაღლილობით, კოროზიით, დაბერებით (პოლიმერული მასალებისათვის). მიჩნეულია, რომ ზოგიერთი ამ მტყუნების თავიდან აცილება შეუძლებელია, შესაძლებელია მხოლოდ მათი შეყოვნება ან შემცირება. მექანიკურ მანქანებში მტყუნებათა უმრავლესობა (80%) მოდის ცვეთაზე. ბუნებრივია აღნიშნულის გამო ამ ფაქტორს უდიდესი ყურადღება ექცევა.



ნახ. 1.3. მტყუნებათა კლასიფიკაციის სქემა

თანდათანობითი მტყუნება, რომელიც გამოწვეულია მექანიკური ცვეთით, უშუალო დამოკიდებულებაშია ისეთ ფაქტორებთან, როგორებიცაა მოხაზუნე წვეცილების სისალე და ანტიფრიქციული თვისებები, წნევა, ფარდობითი სიჩქარე, შემზეთი მასალების არსებობა და თვისებები. ამ სახის მტყუნებათა თავიდან აცილება ჩვეულებრივ პირობებში თითქმის შეუძლებელია.

მტყუნება, რომელიც გამოწვეულია ელემენტების დაღლილობით, არის კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური შეუსაბამობანი საანგარიშოსთან. ასეთი მტყუნების, იგი უცაბედი იქნება თუ თანდათანობითი, თავიდან აცილება შეიძლება.

მტყუნებანი შესაძლებელია ერთმანეთზე იყვნენ დამოკიდებული ან დამოუკიდებელი.

მტყუნებანი მათი წარმოქმნის მიზეზის ნიშნით არის კონსტრუქციული, საწარმოო და ექსპლუატაციური, წარმოქმნის სახის მიხედვით – მთლიანი ან პარამეტრული. უკანასკნელი გულისხმობს მხოლოდ ერთი პარამეტრის შეცვლას.

ობიექტებისათვის ოპტიმალურად ითვლება ის, რომ ყველა ელემენტისათვის მიღწეულ იქნეს მტყუნებათა ერთდროული დადგომა სამსახურის ვადის ან მისი ჯერადი დროის გასვლის შემდეგ.

ზემოთ აღნიშნულის მიღწევა შესაძლებელია პასიური და აქტიური გზებით.

პასიური გზა ითვალისწინებს მეთოდს, როცა ელემენტის საპროექტო ხანგამძლეობას უახლოებენ ერთმანეთს ექსპერიმენტულად მრავალი და ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგად. ეს გზა საიმედოა, მაგრამ ხანგრძლივი პროცესია და ამდენად არაეკონომიური.

აქტიური გზა ითვალისწინებს ელემენტის ხანგამძლეობის განსაზღვრას გაანგარიშებების საფუძველზე. ეს უკანასკნელი ხასიათდება ნაკლები სიზუსტით.

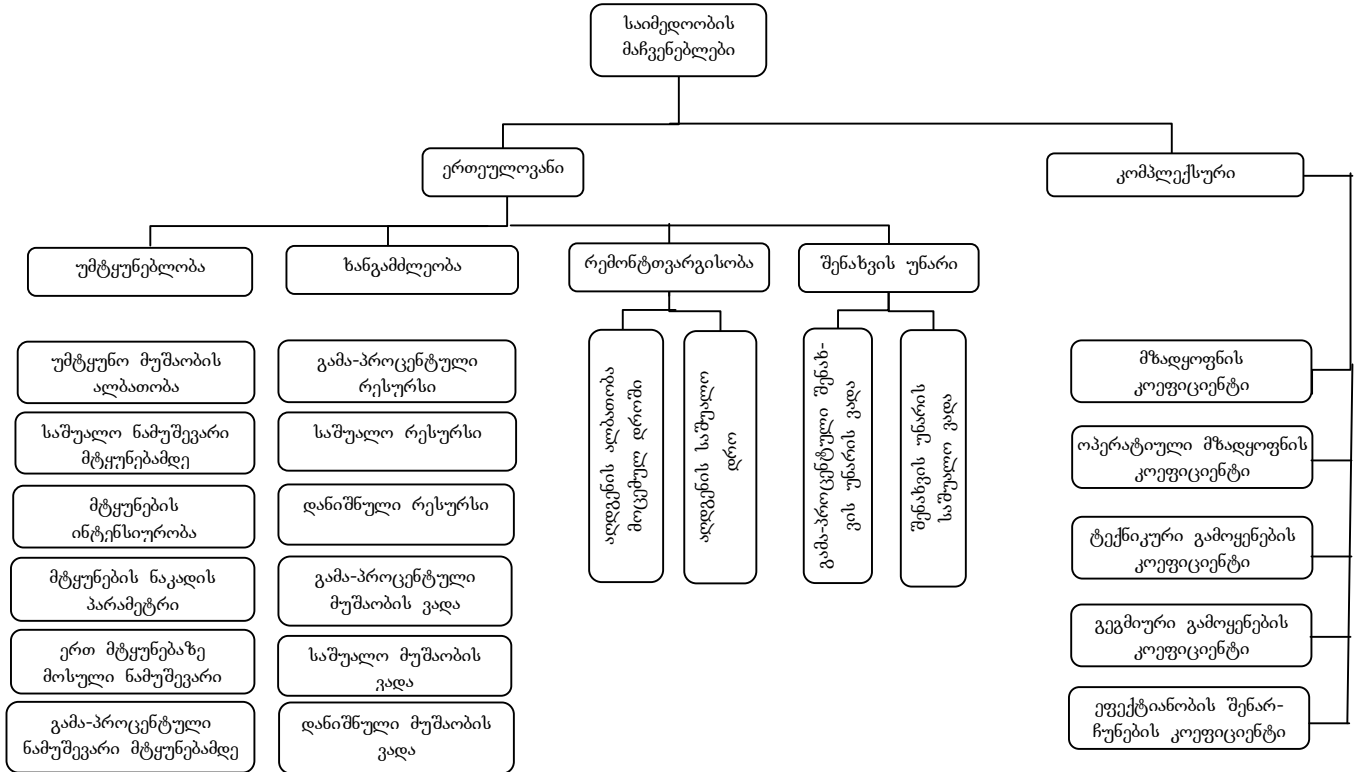
ოპტიმალურად მიიჩნევა აქტიური და პასიური გზების კომპლექსი.

1.5. საიმედოობის თვისებები და მაჩვენებლები

მანქანებისა და მოწყობილობების უმთავრესი თვისება – ხარისხი თვისებათა ერთობლიობაა, რომელიც უზრუნველყოფს ობიექტის* გამოყენების შესაძლებლობას. ასევე კომპლექსური თვისება – საიმედოობა, რომლის შემადგენელი ქვეთვისებებია: უმტყუნებლობა, ხანგამძლეობა, რემონტვარგისობა და შენახვის უნარი (ნახ. 1.4).

თითოეულ ამ თვისებათაგანს კონკრეტული ობიექტისა და საექსპლუატაციო თავისებურებების გათვალისწინებით სხვადასხვა ფარდობითი მნიშვნელობა ენიჭება, ასე, მაგალითად, არაარდგენადი ობიექტებისათვის, სადაც არ არის გათვალისწინებული ტექნიკური მომსახურება და რემონტი, საიმედოობის ძირითად თვისებად მიიჩნევა უმტყუნებლობა და ხანგამძლეობა, ხოლო თუ გათვალისწინებულია ობიექტის რემონტი ტექნიკური მომსახურებით, მაშინ რემონტვარგისობა ერთ-ერთი ძირითადი თვისებაა, ზოგ შემთხვევაში გარკვეული როლი ენიჭება შენახვის უნარსაც. მაგალითად სამშენებლო მანქანებისათვის ეს თვისება ნაკლებად მნიშვნელოვანია, ხოლო ლითონსაჭრელი ჩარხებისათვის – უფრო მნიშვნელოვანი.

* ობიექტად მიჩნეულია მანქანა-მოწყობილობა ან მათი ნაწილები ან რაიმე მიზნობრივი დანიშნულების საგანი, რომლის საიმედოობაც განიხილება



ნახ. 1.4. საიმედოობის მაჩვენებელთა პირობითი სქემა

უმტყუნებლობა, განმარტების თანახმად, ახასიათებს რა მუშაობის უნარს გარკვეულ პერიოდში მტყუნებად, ვრცელდება დამზადების შემდგომ ყველა ეტაპზე, მათ შორის მისი შენახვისა და ტრანსპორტირების პერიოდებზე. თუმცა, ძირითადად, იგი მაინც ობიექტის მუშაობის რეჟიმისათვის განიხილება.

უმტყუნებლობის მაჩვენებლებს მიეკუთვნებიან: უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა $P(t)$, საშუალო ნამუშევარი მტყუნებად — \bar{t} , გამაპროცენტული ნამუშევარი მტყუნებად, მტყუნებათა ინტენსიურობა — $\lambda(t)$, მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი — $\omega(t)$, ერთ მტყუნებაზე მოსული ნამუშევარი — T_0 .

ხანგამძლეობა ასევე ახასიათებს მუშაობის უნარს, მაგრამ ამ შემთხვევაში იგი განიხილება ზღვრულ მდგომარეობაში, ე.ი. როცა ობიექტის შემდგომი ექსპლუატაცია დაუშვებელია უსაფრთხოების, ეკონომიურობის, ეფექტიანობის და უვნებლობის მოთხოვნების გამო.

ხანგამძლეობის მაჩვენებლის მიხედვით შესაძლებელია აგრეთვე ვიმსჯელოთ ობიექტის მდგომარეობაზე, როცა მას არ მიუღწევია ზღვრულ მდგომარეობაში, მაგრამ მიზანშეწონილია მისი ჩამოწერა ან აღდგენა.

ამრიგად, ხანგამძლეობის მაჩვენებლებია: საშუალო რესურსი, გამაპროცენტული რესურსი, დანიშნული რესურსი, საშუალო მუშაობის ვადა, გამაპროცენტული მუშაობის ვადა, დანიშნული მუშაობის ვადა.

რემონტვარგისობა წარმოადგენს ტექნოლოგიურ თვისებათა ერთობლიობას ტექნიკური მომსახურებისა და სარემონტო სამუშაოების ხელშემწყობი პროცესისათვის.

რემონტვარგისობა განისაზღვრება ისეთი უმარტივესი თვისებებით, როგორებიცაა: მისადგომობა, კონტროლვარგისობა, ადვილმოსხნადობა,

ურთიერთშეცვლადობა, აგრეგატულობა, უნიფიცირება, სტანდარტიზაცია, შეზეთვის წერტილთა სიმრავლე და ა.შ.

რემონტოვარვისობის მაჩვენებლებს მიეკუთვნებიან: აღდგენის ალბათობა მოცემულ დროში და აღდგენის საშუალო დრო.

შენახვის უნარი ხასიათდება ობიექტის უნარით, არ შეიცვალოს თვისებები – უმტყუნებლობა, ხანგამძლეობა და რემონტოვარვისობა შენახვისა და ტრანსპორტირების ზემოქმედების შედეგად. შენახვის უნარი წარმოგვიდგება ორი შემადგენელი ნაწილის სახით. პირველი ვლინდება შენახვის პერიოდში, ხოლო მეორე – შენახვისა და ტრანსპორტირების შემდეგ ობიექტის ექსპლუატაციის პერიოდში. ვიცით რა, რომ ობიექტის ხანგრძლივი შენახვა და ტრანსპორტირება ბევრ შემთხვევაში უარყოფითად მოქმედებს მის საერთო ტექნიკურ მდგომარეობაზე, განასხვავებენ ობიექტის უნარს, შეინარჩუნოს საწყისი თვისებები, როგორც შენახვისა და ტრანსპორტირების, ასევე შემდგომ ექსპლუატაციის პირობებში. ბუნებრივია, მეტი მნიშვნელობა ენიჭება მეორე შემდგენს.

შენახვის უნარის ვადა, ზემოთ ხსენებული სტანდარტით გათვალისწინებული განმარტების საფუძველზე, შეიძლება ასე დავახასიათოთ: შენახვის უნარის ვადა ობიექტის შენახვისა და ტრანსპორტირების ისეთი ხანგრძლივობაა, როცა მისი საიმედოობის თვისებების – უმტყუნებლობის, ხანგამძლეობის და რემონტოვარვისობის ცვლილებები, რომლებიც შენახვისა და ტრანსპორტირების ფაქტორებით არიან განპირობებულნი, დასაშვებ ზღვრებშია. ამასთან საჭიროა განვასხვავოთ შენახვის უნარი ობიექტის ექსპლუატაციაში გაშვებამდე და ექსპლუატაციის პერიოდში. მეორე შემთხვევაში შენახვის უნარის ვადა სამსახურის ვადის შემადგენელი ნაწილია.

შენახვის უნარის მაჩვენებლებს მიეკუთვნებიან: გამა-პროცენტული შენახვის უნარის ვადა და შენახვის უნარის საშუალო ვადა.

ყველა ზემოთ ხსენებული საიმედოობის მაჩვენებელი განეკუთვნება ერთეულოვან მაჩვენებლებს.

საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებლები, ერთეულოვანი საგან განსხვავებით, რომელიც ობიექტის მხოლოდ ერთ თვისებას ახასიათებს, რიცხობრივად აფასებს ობიექტის ორ ან მეტ თვისებას.

საიმედოობის კომპლექსურ მაჩვენებელთა რიცხვს განეკუთვნება მზადყოფნის კოეფიციენტი, რომელიც ეფუძნება საიმედოობის ორ თვისებას: ობიექტის უმტყუნებლობას და რემონტთვარგისობას და რომელიც შეიძლება განსაზღვრული იქნეს შემდეგი თანაფარდობით:

$$K_{\text{ფ}} = \frac{T_0}{T_0 + T_a}, \quad (1.1)$$

სადაც T_0 ერთ მტყუნებაზე მოსული ნამუშევარია; T_a – აღდგენის საშუალო დრო.

როგორც ავლიშნეთ, მზადყოფნის კოეფიციენტი არის ალბათობა იმისა, რომ ნებისმიერი მომენტისათვის ობიექტი მზად იქნება მუშაობისათვის.

ოპერატიული მზადყოფნის კოეფიციენტი აზრობრივად იგივეა, რაც მზადყოფნის კოეფიციენტი, მაგრამ უკანასკნელისგან განსხვავებით იგი ითვალისწინებს ნებისმიერი მომენტიდან ობიექტის მუშაობას კიდევ მოცემული პერიოდის მანძილზე.

ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტი წარმოადგენს რა ობიექტის ექსპლუატაციის რაღაც ინტერვალში ობიექტის მუშა მდგომარეობაში ყოფნის დროის ფარდობას მთლიან დროსთან (შეადგენს – მუშა მდგომარეობაში დროს, პლუს გაცდენები რემონტზე და პროფილაქტიკაზე), შეიძლება ანალიზურად ასე გამგსახოთ:

$$K_{\text{ტა}} = \frac{t_1}{t_1 + t_{\text{რ}} + t_{\text{მომ}}}, \quad (1.2)$$

სადაც t_1 მუშა მდგომარეობაში ყოფნის დროა ექსპლუატაციის რაღაც ინტერვალში; $t_{\text{რ}}$ – რემონტზე დახარჯული დრო იმავე ინტერვალში; $t_{\text{მომ}}$ – ტექნიკურ მომსახურებაზე დახარჯული დრო იმავე ინტერვალისათვის.

გეგმიანი გამოყენებისა და ეფექტიანობის შენარჩუნების კოეფიციენტები (§ 1.2) ასევე განეკუთვნებიან საიმედოობის კომპლექსურ მაჩვენებლებს. უკანასკნელის განსაზღვრა ეფუძნება მანქანათა და რთული სისტემების ეფექტიანობის განმარტებას, რომელიც მნიშვნელოვანწილად საიმედოობით არის განპირობებული. იგი დამახასიათებელია მთელი რივი მანქანებისათვის და შეიძლება განსაზღვრული იქნეს როგორც ფარდობა პირველ კაპიტალურ რემონტამდე შესრულებული სამუშაოს მოცულობისა მთლიან დანახარჯებთან (დამზადების, პლუს ექსპლუატაციის ხარჯები) ჩამოწერამდე.

ეფექტიანობის კავშირი საიმედოობასთან თვალსაჩინოა, რადგანაც შესრულებული სამუშაოს მოცულობა უშუალოდაა დაკავშირებული საიმედოობის ისეთ მაჩვენებლებთან, როგორებიცაა: საშუალო რესურსი, საშუალო ნამუშევარი, ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტი და სხვ.

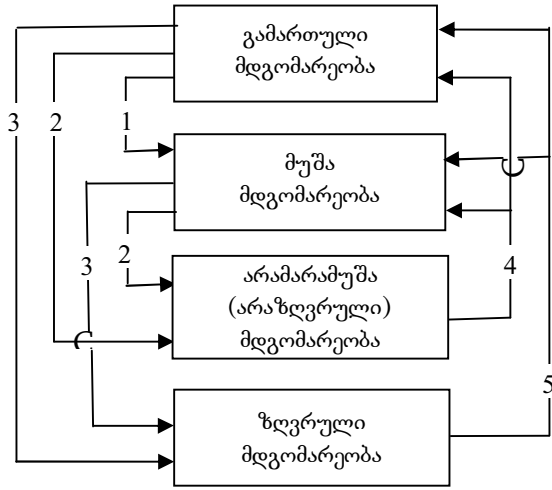
1.6. ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის მაჩვენებლები

მანქანების ტექნიკური მდგომარეობა ზემოთ მოყვანილი საიმედოობის მაჩვენებლების გარდა ხასიათდება კიდევ ზოგადი და კომპლექსური ტერმინებით.

სტანდარტებში მოცემული ტერმინები „გამართული მდგომარეობა“, „არაგამართული მდგომარეობა“, „მუშა მდგომარეობა“ და „ზღვრული

მდგომარეობა“ ძირითადად განსაზღვრავენ მანქანის ტექნიკურ მდგომარეობას, ამასთან თითოეული მათგანი შეიძლება დახასიათდეს იმ პარამეტრების სიდიდით, რომლებიც აღწერენ ობიექტის მდგომარეობას ხარისხობრივი ნიშნებით. ასეთი პარამეტრების და ნიშნების ნორმენკლატურა, აგრეთვე მათი დასაშვები მნიშვნელობები განისაზღვრება ნორმატიულ-ტექნიკური და კონსტრუქციული დოკუმენტაციით.

ობიექტის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლა შესაძლებელია მისი დაზიანების ან მტყუნების შედეგად. ობიექტის მდგომარეობათა შეცვლისა და ხდომილებათა ზოგადი სქემა მოცემულია ნახაზზე 1.5.



ნახ. 1.5. ძირითად მდგომარეობათა და ხდომილებათა სქემა:

- 1 – დაზიანება; 2 – მტყუნება; 3 – ობიექტის გადასვლა ზღვრულ მდგომარეობაში (უსაფრთხოების მოთხოვნათა დარღვევის, ეფექტიანობის შემცირების, მორალური დაძველების ან სხვა მიზეზების გამო);
- 4 – აღდგენა; 5 – რემონტი

პარამეტრებს, რომლებიც ახასიათებენ ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობას, კერძოდ, მუშაობის უნარს, საჭირო ფუნქციების შესრულების მოთხოვნებს, მიეკუთვნებიან: მანქანის კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრები, მწარმოებლურობა, ტვირთამწეობა, სიჩქარე, სიმძლავრე, მაბრუნე მომენტი და ა.შ. დროთა განმავლობაში – შენახვის, ტრანსპორტირების თუ ექსპლუატაციის პერიოდში ხდება რა ამ პარამეტრების გარკვეული ცვლილებები, რაღაც მომენტისათვის შესაძლებელია მათი დასაშვებ ზღვრებზე გადაცილება. ეს კი იწვევს მანქანის მუშაობის უუნარობას. ობიექტის საიმედოობა რიცხობრივად ფასდება საიმედოობის მაჩვენებლებით, რომლებიც შეირჩევა და განისაზღვრება ობიექტის კონსტრუქციული თავისებურებების, პასუხისმგებლობის, ექსპლუატაციის რეჟიმის და პირობების გათვალისწინებით. კერძოდ, საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრის დროს აუცილებლად უნდა იყოს გათვალისწინებული ტექნიკური მომსახურების, შენახვისა და ტრანსპორტირების პირობები.

1.7. საიმედოობის მაჩვენებლების შერჩევა

მექანიკური სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლების ნომენკლატურისა და რიცხობრივი შეფასებისათვის სარგებლობენ იმ კრიტერიუმებით, რომლებიც ყველაზე უფრო სრულად წარმოაჩენენ ობიექტის საიმედოობის ძირითად თვისებებს და მახასიათებლებს მანქანის მუშაობის პროცესში.

შესაბამისი სახელმწიფო სტანდარტები და სახელმძღვანელო დოკუმენტები შეიცავს საიმედოობის მაჩვენებლების მეტად ფართო ნომენკლატურას. მაგრამ მექანიკური მანქანებისათვის მათი საიმედოობის დონის შეფასების დროს ყველა მაჩვენებელს არა აქვს ერთნაირი

მნიშვნელობა. ამიტომ ამ ვგუფის მანქანებისათვის არსებობს პრაქტიკაში ყველაზე უფრო საჭირო მაჩვენებლების რეკომენდებული ნომენკლატურა:

საშუალო რესურსი (საათებში ან ნამუშევრის რომელიმე განზომილებაში);

გამა-პროცენტული რესურსი (საათებში ან ნამუშევრის რომელიმე განზომილებაში);

სამსახურის ვადა (საათებში);

მზადყოფნის კოეფიციენტი;

ოპერატიული მზადყოფნის კოეფიციენტი;

ერთ მტყუნებაზე მოსული ნამუშევარი აღდგენადი ობიექტების შემთხვევაში (საათებში ან ნამუშევრის რომელიმე განზომილებაში).

მანქანათა ელემენტების საიმედოობის მაჩვენებელთა პროგნოზირებისათვის საჭიროა ინფორმაციული მონაცემები ობიექტის მუშაობის უნარზე. ამასთან, ეს მონაცემები გვჭირდება ობიექტის შექმნისა და ფუნქციონირების ყველა სტადიაზე – კონსტრუირების, დამზადების, გამოცდის და ექსპლუატაციის პროცესში.

მანქანებისა და მოწყობილობების კონსტრუირების პროცესში ინფორმაციები უმნიშვნელოვანესია. ამასთან ობიექტის წინასწარ დასახული საიმედოობის მაჩვენებლების მიღწევას განაპირობებს გაანგარიშებების სიზუსტე და გამოყენებული მეთოდების მართებულობა.

ამრიგად, ახალი ობიექტის დაპროექტების დროს მხოლოდ ანალიზური დამოკიდებულებების საშუალებით შეიძლება საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრა და კავშირის დამყარება საიმედოობის მაჩვენებლებსა და ისეთ პარამეტრებს შორის, რომლებიც ობიექტურად ახასიათებენ მანქანის კონსტრუქციას, დამზადების ტექნოლოგიას და ექსპლუატაციის პირობებს. ამისთვის კი საჭიროა ანალოგიურ ობიექტებზე

არსებული ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადების საფუძველზე ემპირიული გზით მიღებული კანონზომიერებათა ცოდნა. სავსებით ბუნებრივია, რომ ასეთი გზით აღებული საიმედოობის მაჩვენებლები ხშირად განსხვავდებიან რეალურისაგან. საინჟინრო პრაქტიკაში უკანასკნელნი წინასწარ დასაზუსტთან შედარებით უფრო მცირეა, რაც ძირითადად გამოწვეულია კონსტრუქციული დათმობით, მასალების შეცვლით, მომსახურების დაბალი დონით, ექსპლუატაციის უფრო მკაცრი პირობებითა და რეჟიმით, რასაც ხშირად ადგილი აქვს პრაქტიკაში.

აღნიშნული ხარვეზების ნაწილობრივ გამოსწორება შესაძლებელია ჯერ ტექნიკური პროექტის ეტაპზე დამზადებული ნიმუშის მაკეტის და საცდელი ნიმუშის დამზადების სტადიებზე, როცა შესაძლებელი ხდება მათი ფორსირებული გამოცდები.

თუმცა ამ შემთხვევაშიც მიღებული შედეგები ვერ უზრუნველყოფს საჭირო სიზუსტეს, რაც აიხსნება იმით, რომ საცდელი ნიმუში და, მითუმეტეს, მოქმედი ნიმუშის მაკეტი ტექნიკური პროექტის დონეზე არ შეესაბამება დაგეგმილ სერიულ პროდუქციას. ფორსირებული გამოცდების შედეგებიც ასევე არ შეესაბამება რეალურ, საწარმოო ექსპლუატაციის პირობებს.

მხოლოდ მანქანათა საიმედოობის მაჩვენებლების სტატისტიკური ინფორმაცია, რომელიც მიიღება ობიექტის საცდელი პარტიის ნიმუშების რეალურ საწარმოო პირობებში გამოცდის შედეგად, იძლევა საჭირო შედეგებს.

ამრიგად, მანქანა-მოწყობილობების საიმედოობის მაჩვენებლების დადგენისათვის საექსპლუატაციო პირობებში სარწმუნოდაა მიჩნეული ის სტატისტიკური შედეგები, რომლებიც მიიღება ინფორმაციის შეკრებისა და

დამუშავების მეთოდის შესაბამისად, ობიექტის რეალურ საწარმოო პირობებში გამოცდების დროს.

1.8. საიმედოობის ამოცანები და კვლევის მათემატიკური მეთოდები

საიმედოობის თეორია შეისწავლის ზოგად მეთოდებს და წესებს, რითაც უნდა ვხემდგანელობდეთ ობიექტის კონსტრუირების, დამზადების, ტრანსპორტირების, შენახვის და ექსპლუატაციის დროს, რათა მიღწეულ იქნეს მაქსიმალური ეფექტი ქვეყნის ეკონომიკაში მისი გამოყენების დროს.

საიმედოობის თეორია წარმოადგენს რა კომპლექსურ მეცნიერებას, იგი ეფუძნება სხვადასხვა დარგის მრავალი საკითხისა და მოვლენის შესწავლას, რომელთა შორისაა მექანიკური, ფიზიკური და ქიმიური პროცესები. ამასთან, თითოეული პროცესი ხასიათდება არგუმენტთა სიმრავლით. მექანიკური სისტემებისათვის საიმედოობის თეორიის ტექნიკურ-მეცნიერული ამოცანები შეიძლება დაყოფილ იქნეს შემდეგ ძირითად ჯგუფებად:

მტყუნებათა ბუნების, არსის შესწავლა მანქანათა ნაწილებში;

საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრა-პროგნოზირება ობიექტის კონსტრუირების პროცესში;

საიმედოობის მაჩვენებლთა დონის უზრუნველყოფა ობიექტის დამზადების, ექსპლუატაციის და შენახვის პროცესში;

საიმედოობის მაჩვენებლთა დონის შენარჩუნება ობიექტის ექსპლუატაციის პროცესში.

მტყუნებათა არსის შესწავლა მექანიკურ სისტემებში ცვეთის, კოროზიის და დაღლილობის შედეგად, რთული პრობლემაა. იგი ეფუძნება ფუნდამენტურ დისციპლინებს, ხშირად მოლეკულური სტრუქტურების შესწავლას. ბუნებრივია, ამის გამო, პარამეტრები, რომლებიც საჭიროა

მათემატიკური მოდელის ასაგებად, ხასიათდებიან სიმრავლით და მრავალფეროვნებით.

საიმედოობის მაჩვენებლთა პროგნოზირება მეტად მნიშვნელოვანი მომენტია ობიექტის კონსტრუირების პროცესში და იგი გულისხმობს კონსტრუქტორული დოკუმენტაციის ხარისხიან დამუშავებას საიმედოობის დონის შესაბამისად, კერძოდ, მასალების, სქემების, რეჟიმების და სხვა პარამეტრების შერჩევას.

მნიშვნელოვანი საკითხია საიმედოობის მაჩვენებლთა დონის უზრუნველყოფა ობიექტის სერიული წარმოების პროცესში და იგი ითვალისწინებს წესების ისეთი სისტემის შემუშავებას, რომელიც განაპირობებს საიმედოობის ნორმირებულ მაჩვენებლებს ნაკეთობის მოცემულ ქარხანაში, მოცემული ტექნოლოგიით და მეთოდით დამზადების, ტრანსპორტირების და შენახვის დროს.

დაბოლოს, საიმედოობის მაჩვენებლთა დონის შენარჩუნება ექსპლუატაციის პროცესში გულისხმობს მანქანის საიმედოობის თვისებებზე საწარმოო პირობებისა და მუშაობის ტექნოლოგიური პროცესებიდან გადახრის გავლენას, რაც ასევე მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული (მაგალითად, გარემო პირობებზე, მუშაობის რეჟიმზე, დასამუშავებელი პროდუქტის თვისებებზე და ა.შ.)

ამრიგად, მექანიკური სისტემების მოცემული ჯგუფების წინაშე მდგომი ამოცანები ხასიათდება რა მრავალი და მრავალფეროვანი პარამეტრებით, განაპირობებს ნაკეთობის უმტყუნებლობის თუ ხანგამძლეობის მაჩვენებლობის დიდ გაფანტულობას, ასე მაგალითად, მაშინაც კი, როცა მექანიკური სისტემის ნაკეთობა დამზადებულია დაახლოებით ერთნაირ პირობებში, სტატისტიკური მონაცემები უმტყუნებო მუშაობის ხანგამძლეობაზე ადასტურებს მათ მნიშვნელობებს შორის დიდ

სხვაობას და შესაბამისად კონკრეტული ობიექტისათვის მოკლებული ვართ შესაძლებლობას, ზუსტად ვიწინასწარმეტყველოთ მისი სამსახურის ვადა. მაგრამ, როცა საქმე გვაქვს ნაკეთობათა სიმრავლესთან, პარტიასთან, შესაძლებელი ხდება ისეთი კანონზომიერებების გამოყვანა, რომლებიც განსაზღვრავენ, ობიექტთა რა ნაწილს შეუძლია დროის მოცემულ პერიოდში მუშაობა. ასეთი საკითხების გადაწყვეტა წარმოადგენს მათემატიკური სტატისტიკის ამოცანას.

იმის გამო, რომ მექანიკური სისტემებისა და მისი ელემენტების საიმედოობის მაჩვენებლებს შემთხვევითი ხასიათი აქვთ, საიმედოობის თეორიის ძირითად საანგარიშო აპარატად გამოიყენება მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის დებულებები და თეორემები.

მათემატიკურ სტატისტიკასა და ალბათობის თეორიას სხვადასხვა ტიპური ამოცანები აქვთ გადასაწყვეტი.

მათემატიკური სტატისტიკის ამოცანაა კერძო, კონკრეტული მონაცემების საფუძველზე გაკეთდეს ზოგადი დასკვნა, გამოყვანილი იქნეს კანონზომიერება.

ალბათობის თეორიის ამოცანა კი მდგომარეობს იმაში, რომ ზოგადი კანონზომიერებიდან გარკვეული რისკით ვიწინასწარმეტყველოთ კერძო, კონკრეტული შედეგი.

1..19. მანქანათა საიმედოობა და სისტემური ანალიზის საფუძვლები

მანქანათა საიმედოობა, კერძოდ, უმტყუნებლობა და ხანგამძლეობა წარმოადგენს კომპლექსურ პრობლემას, რისი გადაწყვეტისთვისაც საჭიროა გატარდეს კონსტრუქციული, ტექნოლოგიური და ორგანიზაციული ღონისძიებანი მანქანათა კონსტრუირების, წარმოების და ექსპლუატაციის სტადიებზე. ამასთან, მანქანათა კონსტრუირების სტადიაზე საიმედოობის

მაჩვენებლების უზრუნველყოფა განპირობებულია კონსტრუქციული გადაწყვეტილებებით, შენთვის სახის, მასალებისა და შემწეობის საშუალებები შერჩევით, დამცველი დაფარვის გათვალისწინების და კიდევ მრავალი ფაქტორით.

დამზადების სტადიაზე მანქანათა საიმედოობის მაჩვენებლებზე აგრეთვე გავლენას ახდენს დეტალების დამუშავების მეთოდები (მექანიკური, ქიმიური, თერმოქიმიური და ა.შ.), მიმუშავების რეჟიმები, მანქანათა პარკის ტექნიკური ღონე და მდგომარეობა, დამზადების საწარმოო პირობები და სხვ.

მანქანათა ექსპლუატაციის სტადიაზე საიმედოობის მაჩვენებლებმა შეიძლება განიცადოს ცვლილებები ტექნიკური მომსახურების და რემონტის, მომსახურე პერსონალის კვალიფიკაციის, გარემო პირობების და სხვა ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად.

ამრიგად, ზემოთ ნათქვამიდან დასტურდება, რომ საიმედოობის მაჩვენებლები დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. საიმედოობაზე ყველა მათგანის უფრო სრული შეფასებისათვის მიზანშეწონილია საკითხისადმი სისტემური მიდგომა. უკანასკნელი შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ საამკრებო ერთეული, მანქანა თუ მანქანათა პარკი განიხილება როგორც მექანიკური სისტემა.

ზოგადად ყველა სისტემის ძირითად თვისებად მიიჩნევენ:

ორგანიზებულობას;

მართვის შესაძლებლობას;

ფარდობითობას.

მოკლედ დავახასიათოთ თითოეული თვისებათაგანი.

ორგანიზებულობა გულისხმობს სისტემის რაღაც განსაზღვრულ სტრუქტურას, სისტემაში შემავალი ელემენტების მოწესრიგებულობას.

მართვის შესაძლებლობა არის სისტემის უნარი, შეიცვალოს თავისი მაჩვენებლები გარკვეული ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად.

ფარდობითობა (იერარქიულობა) ობიექტის ისეთი თვისებაა, როდესაც ნებისმიერი სისტემა წარმოადგენს უფრო მსხვილი სისტემის ქვესისტემას. ასე, მაგალითად, სისტემის თვისებათა იერარქიულობას გამოხატავს ის გარემოება, რომ ჩარხი შეიძლება განხილული იქნეს როგორც სისტემა, თუ იგი განიხილება როგორც საიმედოობის ობიექტი და როგორც ქვესისტემა – თუ განიხილება მთელი ლითონგადამამუშავებელი საამქროს საიმედოობის რომელიმე კომპლექსური მაჩვენებელი.

სისტემის ფარდობითობის თვისებიდან გამომდინარეობს შემდეგი კანონები:

1. სხვადასხვა დონის მექანიკური სისტემები მიეკუთვნებიან სირთულეთა დონეების სხვადასხვა კლასს.
2. თეორიული და ემპირიული კანონზომიერებანი, რომლებიც მიღებულია დაბალი დონისათვის, მართებულია იმავე სისტემის ნებისმიერი უფრო მაღალი სირთულის დონისათვის.
3. რაც უფრო მაღალია სისტემის სირთულის დონე, მით უფრო მეტია უცნობი ელემენტების რაოდენობა და შესაბამისად, განუსაზღვრელობის ხარისხი.

მექანიკური სისტემის იერარქიული სტრუქტურა

ობიექტის სახე	დეტალი	შეუღლება	საამკრებო ერთეული	მანქანა	მანქანათა პარკი
სირთულის დონე	I	II	III	IV	V

ვინაიდან სირთულის დონის მატებასთან ერთად იზრდება ცვლადი ფაქტორების რაოდენობა, სირთულის IV და V დონეებისათვის უფრო

მიზანშეწონილი ხდება ალბათობისა და მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენება.

ამრიგად, მექანიკური სისტემების სისტემური ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მანქანათა საიმედოობის რაციონალური მაჩვენებლების მიღწევა შესაძლებელია ისეთ კომპლექსურ ღონისძიებათა საფუძველზე, რომელიც მოიცავს მექანიკურ, ფიზიკურ, ქიმიურ, სტატისტიკურ და სხვა სახის კვლევის მეთოდებს ობიექტის კონსტრუირების, წარმოების და ექსპლუატაციის სტადიებზე.

II ტაჭი

საიმედოობის თეორიის ძირითადი დებულებები

2.1. ალბათობის თეორიის ძირითადი ცნება და განმარტება

საიმედოობის ზოგადი თეორიის კვლევა და მისი შემდგომი განვითარება დღევანდელ პირობებში შეუძლებელია ალბათობის თეორიის და მათემატიკური სტატისტიკის რიგი თეორემებისა და დებულებების გამოყენების გარეშე. მექანიკურ მანქანა-მოწყობილობებში მათი გამოყენება განპირობებულია იმით, რომ მანქანთა ამ ჯგუფისათვის მტყუნებათა არსისა და ბუნების ზუსტი შესწავლა შეუძლებელია. შესაბამისად, შეუძლებელია მათი ზუსტი წინასწარმეტყველება. ზემოთ აღნიშნული კი იმით არის გამოწვეული, რომ მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების მტყუნებათა ძირითადი მექანიზმები და კრიტერიუმები (ცვეთა, დაღლილობა, კოროზია, დაბერება) თვით წარმოადგენენ რთულ მექანიკურ-ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებს. ამიტომ დღეს დასაშვებადაა მიჩნეული და მოსალოდნელია, რომელიმე მექანიკურმა მოწყობილობამ მისი ექსპლუატაციის ნებისმიერ მომენტში მტყუნება განიცადოს. შესაბამისად, გამწვანებული პროგნოზირება იმისა, რომ იგი აუცილებლად მოხდება მოცემულ პერიოდში, ვინაიდან პროცესი შემთხვევითი ხასიათისაა.

ალბათობის თეორიის და მათემატიკური სტატისტიკის კვლევის არსებული მეთოდები საშუალებას გვაძლევს რაოდენობრივად გავანალიზოთ შემთხვევითი მოვლენები. შემთხვევითი მოვლენები, პროცესები და ზოგადად სიდიდეები მრავალჯერადი განმეორებისას გარკვეული სიზუსტით ემორჩილებიან კანონზომიერებებს, კანონებს. მათი გამოვლენა და შესწავლა საიმედოობის ზოგადი თეორიის საგანს შეადგენს.

მოვიყვანოთ ალბათობის თეორიის ზოგიერთი ცნების განმარტება და თვისებები.

ხლომილობა ყოველგვარი ფაქტია, რომელიც ცდის შედეგად შეიძლება განხორციელდეს (ან არ განხორციელდეს).

ხლომილობის ობიექტურ შესაძლებლობათა რიცხვით ზომას ხლომილობის ალბათობა წარმოადგენს. ალბათობის თეორიის ხლომილობისათვის შემოღებულია სიმბოლიკა:

ნებისმიერი A ხლომილობის ალბათობა აღვნიშნოთ $P_1(A)$ სიმბოლოთი.

U ხლომილობა, რომელიც ცდის შედეგად აუცილებლად უნდა განხორციელდეს, იწოდება აუცილებელ ხლომილობად. აუცილებელი ხლომილობის ალბათობა ერთის ტოლია:

$$P_1(U) = 1.$$

V ხლომილობა, რომლის განხორციელება ცდის შედეგად სრულიად გამორიცხვულია, შეუძლებელ ხლომილობად იწოდება. შეუძლებელი ხლომილობის ალბათობა ნულის ტოლია:

$$P_1(V) = 0.$$

ნებისმიერი A ხლომილობის ალბათობა ნულსა და ერთს შორის არის მოთავსებული:

$$0 \leq P_1(A) \leq 1.$$

საიმელობის მაჩვენებლებს უმრავლეს შემთხვევაში შემთხვევითი ხასიათი აქვთ. სიდიდეს, რომლის მნიშვნელობა ყოველ ცალკეულ ცდაში შემთხვევით იცვლება, შემთხვევითი, ანუ სტოქასტიკური სიდიდე ეწოდება. აქ და შემდგომშიც შემოვიღოთ მისთვის მოქმედი საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი აღნიშვნა – t_0 (მტყუნების დრო).

შემთხვევითი სიდიდისათვის ძირითადი მახასიათებელია ის, რომ არ შეიძლება ზუსტად განისაზღვროს, რა მნიშვნელობას მიიღებს იგი ამ თუ იმ კონკრეტულ პირობებში. შემთხვევითი სიდიდის სრული ამომწურავი მახასიათებელია მისი განაწილების კანონი, ფუნქცია. შემთხვევითი სიდიდე მოცემულად ითვლება, თუ:

- ა) განსაზღვრულია შემთხვევითი სიდიდის შესაძლო მნიშვნელობათა სიმრავლე;
- ბ) დადგენილია ამ სიმრავლის ნებისმიერ უბანზე შემთხვევითი სიდიდის მოხვედრის ალბათობის განსაზღვრის ხერხი, ანუ მოხვედრის ალბათობა.

ზემოთ აღნიშნულ ალბათობათა გამოთვლა შესაძლებელია მხოლოდ შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ფუნქციის საშუალებით.

2.2 არააღგენადი ელემენტის საიმედოობის მაჩვენებლები

ამ პარაგრაფში განიხილება ელემენტის საიმედოობის მაჩვენებლები პირველ მტყუნებამდე.

ელემენტად მიჩნეულია სისტემის ის ნაწილი ან ნაკეთობა, რომლისთვისაც განიხილება საიმედოობის მაჩვენებლები შემადგენელი ნაწილების გაუთვალისწინებლად. ელემენტი არააღგენადია, თუ იგი გამოიყენება პირველ მტყუნებამდე.

შემთხვევითი სიდიდის განაწილების კანონის ერთ-ერთ ფორმას წარმოადგენს ელემენტის მტყუნების განაწილების ფუნქცია t დრომდე – $F(t)$. ხშირად მას განაწილების, ინტეგრალური ფუნქციის ან ინტეგრალურ კანონსაც უწოდებენ. სიმბოლურად შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ფუნქცია ასე გამოისახება:

$$F(t) \equiv P_1(t_0 < t), \quad (2.1)$$

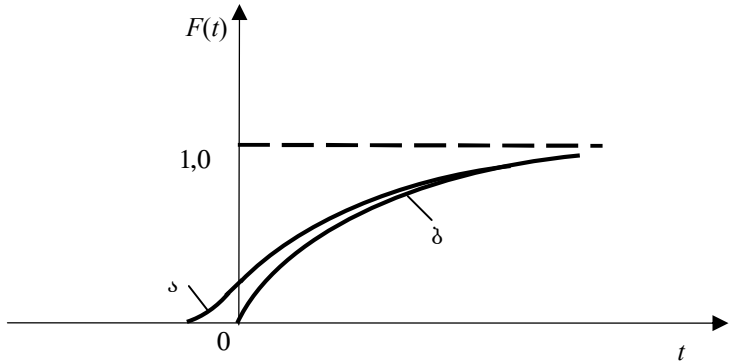
სადაც P_1 ხდომილობა $t_0 < t$ ალბათობის მახასიათებელი კოეფიციენტი; t – არგუმენტის კონკრეტული მნიშვნელობა.

აზრობრივად (2.1) შეიძლება ასე განვმარტოთ: შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ფუნქცია ეწოდება ისეთ $F(t)$ ფუნქციას, რომელიც იძლევა $t_0 < t$ ხდომილობის ალბათობას.

განმარტების მიზნით განვიხილოთ ასეთი მოდელი. დაეუშვათ, $t=0$ მომენტში ელემენტი იწყებს მუშაობას, ხოლო რომელიღაც t_0 მომენტში განიცდის მტყუნებას. დროის მონაკვეთს $(0, t_0)$ უწოდებენ უმტყუნებო მუშაობის დროს, რომელიც შეიძლება იყოს როგორც კალენდარული, ისე ნამუშევარი „სუფთა“ დრო. ვგულისხმობთ, რომ t_0 შემთხვევითი სიდიდეა და არ არის ცნობილი, კონკრეტულად როდის რა მნიშვნელობას მიიღებს. მისი მაქსიმალურად შესაძლებელი, სრული დახასიათება შეიძლება მოხდეს შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ფუნქციით, რომელიც უზრუნველყოფს იმას, რომ t_0 შეიძლება იყოს ესა თუ ის სიდიდე, მაგრამ რჩება მოცემულ t -ზე ნაკლები.

ამრიგად, ელემენტის მტყუნების განაწილების კანონის ჩამოყალიბება განხილული მოდელისა და (2.1) გამოსახულების შესაბამისად შემდეგნაირად არის შესაძლებელი: $F(t)$ ფუნქცია ელემენტის მტყუნების ალბათობაა t დრომდე, ანუ ალბათობა იმისა, რომ მტყუნების დრო შეიძლება იყოს ნებისმიერი, მაგრამ მუდამ მოცემულ t დროზე ნაკლები.

საიმედოობის თეორიაში t_0 შემთხვევითი სიდიდის ყველაზე სრულ დახასიათებას $F(t)$ განაწილების ფუნქცია იძლევა (ნახ. 2.1).



ნახ. 2.1. მტყუნების ალბათობის (ინტეგრალური) ფუნქცია

მოვიყვანოთ $F(t)$ განაწილების ფუნქციის ზოგიერთი თვისება:

1. $F(t)$ ფუნქცია არაკლებადია, ე.ი. როცა $t_1 > t_2$ მაშინ

$$F(t_2) \geq F(t_1).$$

2. ნებისმიერი t -სთვის განაწილების $F(t)$ ფუნქცია აკმაყოფილებს უტოლობას

$$0 \leq F(t) \leq 1.$$

3. $F(+\infty) = 1$.

4. $F(-\infty) = 0$ (ნახ. 2.1, ა) ან $F(0) = 0$ (ნახ. 2.1, ბ).

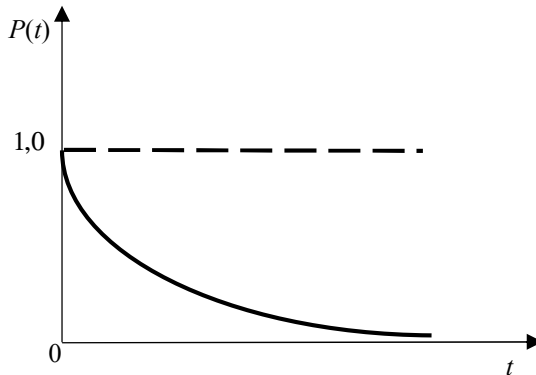
საიმედოობის დასახასიათებლად მტყუნების განაწილების $F(t)$ ფუნქციასთან ერთად ხშირად იყენებენ მეორე მახასიათებელს - $P(t)^*$, რომელიც ასევე შემთხვევითი სიდიდის ფუნქციაა და $F(t)$ -ს მსგავსად სიმბოლურად ასე გამოისახება:

$$P(t) \equiv P_1(t_0 > t), \quad (2.2)$$

სადაც P_1 ხდომილობა $t_0 > t$ ალბათობის მახასიათებელი კოეფიციენტია.

* გერმანულ და რიგ სხვა ქვეყნებში ლიტერატურაში უმტყუნებლობის ფუნქცია აღინიშნება სიმბოლოთი $-R(t)$ [38]

$P(t)$ ფუნქცია ახასიათებს ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობას მოცემულ $(0, t)$ დროის პერიოდში, ე.ი. (2.2) თანახმად, მტყუნების t_0 დრო მისი ყველა მნიშვნელობისათვის უფრო მეტია, ვიდრე მოცემული t დრო, ანუ $P(t)$ ფუნქცია იძლევა $t_0 > t$ ხდომილობის ალბათობას.



ნახ. 2.2. უმტყუნებლობის ალბათობის (საიმედლობის) ფუნქცია

$P(t)$ ფუნქციას საიმედობის ფუნქციასაც უწოდებენ და იგი $F(t)$ ფუნქციის საპირისპიროა, რაც იმას ნიშნავს, რომ რაღაც t მომენტისათვის

$$P(t) + F(t) = 1, \quad (2.3)$$

საიდანაც

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (2.4)$$

$P(t)$ ფუნქციის ერთ-ერთი მახასიათებელი გრაფიკი მოცემულია ნახაზზე 2.2, საიდანაც ჩანს, რომ იგი მონოტონურად მცირდება, ამასთან, $P(0)=1$ და $P(t)=0$, როცა $t \rightarrow \infty$, განსხვავებით $F(t)$ -გან, რომელიც მონოტონურად იზრდება. ამასთან, $F(0)=0$ და $F(t)=1$, როცა $t \rightarrow \infty$.

t_0 მტყუნებათა შემთხვევითი სიდიდის და საერთოდ შემთხვევითი განაწილების სიმკვრივის დასახასიათებლად მოცემულ წერტილში იყენებენ

განაწილების დიფერენციალურ ფუნქციას, რომელიც წარმოადგენს ზემოთ მოყვანილი ინტეგრალური ფუნქციის $- F(t)$ წარმოებულს. ამის აუცილებელ პირობას კი წარმოადგენს ის, რომ შემთხვევითი სიდიდის განაწილების $F(t)$ ფუნქცია იყოს უწყვეტი და დიფერენცირებადი ამ სიდიდის მნიშვნელობათა არეში.

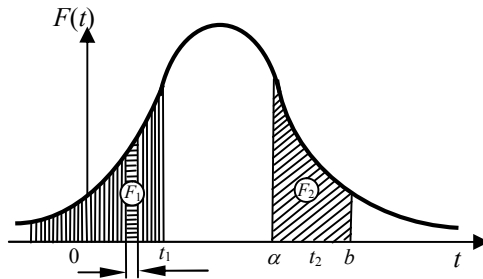
თუ $F(t)$ ფუნქციას გავაწარმოებთ და აღვნიშნავთ მას $f(t)$ -თი, მაშინ

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}. \quad (2.5)$$

მიღებული ფუნქცია ახასიათებს სიმკვრივეს, რომლითაც შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობები ნაწილდებიან მოცემულ მონაკვეთზე. ამ ფუნქციას შემთხვევითი სიდიდის ალბათობათა განაწილების სიმკვრივე ეწოდება. $f(t)$ ფუნქციისათვის მიღებულია აგრეთვე განაწილების დიფერენციალური ფუნქციისა და განაწილების დიფერენციალური კანონის სახელწოდებები.

მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების საიმედოობის საკითხების განხილვის დროს ამ ფუნქციას ჩვენ ვუწოდებთ მტყუნებათა განაწილების სიმკვრივეს.

მრუდი, რომელიც გამოსახავს შემთხვევითი სიდიდის განაწილების სიმკვრივეს, განაწილების სიმკვრივის მრუდი ეწოდება (ნახ.2.3).



ნახ. 2.3. შემთხვევითი სიდიდის განაწილების მტყუნების სიმკვრივის ფუნქცია

განაწილების სიმკვრივე, ისევე როგორც თვით შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ფუნქცია, განაწილების კანონის ერთ-ერთი ფორმა და მახასიათებელია. შემთხვევითი სიდიდის (მტყუნებათა) განაწილების სიმკვრივის მიხედვით მტყუნების ფუნქცია შეიძლება ასე გამოვსახოთ:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt, \quad (2.6)$$

იმისათვის, რომ გამოითვალოს შემთხვევითი სიდიდის (მტყუნების) ალბათობა მოცემულ ზღვრებში, მაგალითად $-\infty$ -დან t_1 -მდე, საჭიროა გამოითვალოს ინტეგრალი

$$F(t) = \int_{-\infty}^{t_1} f(t) dt, \quad (2.7)$$

რაც გეომეტრიულად t_1 საზღვრის მარცხნივ მდებარე ვერტიკალურად დაშტრიხული F_1 ფიგურის ფართობია.

თუ საჭიროა, მაგალითად, რომელიმე t_2 შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობის რომელიმე (a, b) საზღვრებში მოხვედრის ალბათობის დადგენა, უნდა გამოითვალოს ინტეგრალი

$$F(t) = \int_a^b f(t) dt, \quad (2.8)$$

რომელიც გეომეტრიულად 45^0 -ით დაშტრიხული F_2 ფიგურის ფართობია.

შემთხვევითი სიდიდის ალბათობათა განაწილების სიმკვრივე ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

ა) განაწილების სიმკვრის $f(t)$ ფუნქცია არაუარყოფითია:

$$f(t) \geq 0. \quad (2.9)$$

უკანასკნელი განპირობებულია იმით, რომ $F(t)$ ინტეგრალური ფუნქცია არაკლებადია.

ბ) განაწილების სიმკვრის $f(t)$ ინტეგრალი უსასრულო ზღვრებში ერთის ტოლია:

$$F(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1. \quad (2.10)$$

ამ თვისებათა გეომეტრიული ინტერპრეტაცია შემდეგში მდგომარეობს:

1) განაწილების მთელი მრუდი აბსცისათა ღერძის ზემოთ მდებარეობს;

2) შემთხვევითი სიდიდის განაწილების მრუდით შემოსაზღვრული ფიგურის ფართობი ერთის ტოლია.

მტყუნების ინტენსივობა (საფრთხე) ეწოდება დროის ისეთ $\lambda(t)$ ფუნქციას, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი თანაფარდობით:

$$\lambda(t) = -\frac{P'(t)}{P(t)}, \quad (2.11)$$

სადაც $P'(t)$ უმტყუნებო მუშაობის (საიმედოობის) ფუნქციის წარმოებულა.

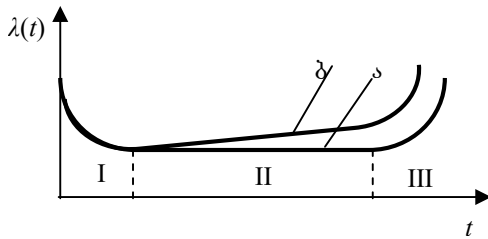
ფუნქციას ზოგჯერ მტყუნების ალბათობის პირობით სიმკვრივესაც უწოდებენ და მისი ფიზიკური არსი შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს [32]: $\lambda(t)$ არის ალბათობა იმისა, რომ რაღაც t დროის განმავლობაში დაუზიანებლად მომუშავე ელემენტი მტყუნებას განიცდის დროის მომდევნო პერიოდში.

(2.11)-ის საფუძველზე შეიძლება გამოყვანილი იქნეს საინტერესო დამოკიდებულება ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობასა და მტყუნების ინტენსიურობას შორის:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2.12)$$

* (2.12) მიიღება თუ (2.11) გადავწერთ ასეთი სახით: $\lambda(t) = -\frac{dP(t)}{dt \cdot P(t)}$, შემდეგ $-\lambda(t) dt = \frac{dP(t)}{P(t)}$ ორივე მხარის ინტეგრირებით $-\int \lambda(t) dt = \ln P(t)$, საიდანაც მიიღება (2.12).

პრაქტიკული მონაცემების განზოგადების საფუძველზე მექანიკური სისტემების, კერძოდ, მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების მტყუნებათა ინტენსიურობის $\lambda(t)$ ფუნქციის გრაფიკებისათვის დამახასიათებელია 2.4 ნახ-ზე გამოსახული მრუდი. მასზე მკვეთრად გამოირჩევა ელემენტის მუშაობის 3 უბანი.



ნახ. 2.4. რეალური მექანიკური მოწყობილობის მტყუნებათა ინტენსიურობის (საფრთხის) ფუნქციის გრაფიკი: ა – ცნობილი; ბ – შემოთავაზებული

პირველ უბანზე ელემენტის მუშაობის საწყის პერიოდში ორდინატის, $\lambda(t)$ ფუნქციის მნიშვნელობები საკმაოდ დიდია. აღნიშნული ფიზიკურად განპირობებულია იმით, რომ სწორედ მუშაობის დაწყების პერიოდში ვლინდება ის ქარხნული, ფარული დეფექტები, რომლებიც პრაქტიკაში მეტ-ნაკლებად მანქანათმშენებლობის ყველა პროდუქციას შეიძლება ჰქონდეს. ამასთან, არანაკლებ მნიშვნელოვანია ის ვითარება, რომ ელემენტის მუშაობის საწყის პერიოდს თან სდევს ურთიერთშეუღლებული ელემენტების მიმუშავების პროცესი. უკანასკნელი, განსაკუთრებით ლითონური ელემენტების შემთხვევაში, მიმდინარეობს მუშაობის რეჟიმის მაღალი პარამეტრებით. კერძოდ, მატულობს კვანძის ტემპერატურა, რაც უარყოფითად მოქმედებს რიგ ექსპლუატაციის პროცესებზე. მაგალითად, შემზეთი მასალის თვისებების შეცვლის გამო უარესდება შეზეთვის

პირობები, ინტენსიური ხდება ცვეთა, მცირდება ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და ა.შ. ამ უბანს პირობითად შეიძლება საწყისი, მიმუშავების პერიოდი ვუწოდოთ.

მეორე უბანი შეესაბამება მანქანათა კვანძებისა და ელემენტების მუშაობის პერიოდს, როდესაც ფუნქციონირება ხასიათდება დამყარებული ექსპლუატაციური პარამეტრებით. ამ დროს მტყუნების ინტენსიურობის მაჩვენებელიც მუდმივობით ხასიათდება. უკანასკნელის შეფასება, რაღა თქმა უნდა, შედარებითი ხასიათისაა. ამ უბანს პირობითად შეიძლება მანქანის აქტიური მუშაობის პერიოდი ვუწოდოთ.

მესამე, უკანასკნელი უბანი შეესაბამება მუშაობის პერიოდს, რომელიც ხასიათდება ელემენტის დაძველებით, გაცვეთით, დაღლილობით, მასალების ფიზიკურ-ქიმიური დესტრუქციით. მუშაობის ეს პერიოდი შეიძლება "სიბერის" პერიოდად იწოდებოდეს.

ნახ. 2.4-ზე გამოსახული ცნობილი მრუდი (ა) გერმანულ ლიტერატურაში იწოდება „აბაზანის“ მრუდად მისი კონტურული მსგავსების გამო. იმავე ნახაზზე გამოსახული მრუდი (ბ), რომელიც ჩვენს მიერ იქნა მიღებული და რომელიც ეფუძნება შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ექსპონენციალურ კანონს კვადრატული მაჩვენებლით (მანასიათებელი მრუდები მოცემულია ქვემოთ) უფრო ზუსტად შეესაბამება რეალურ ვითარებებს.

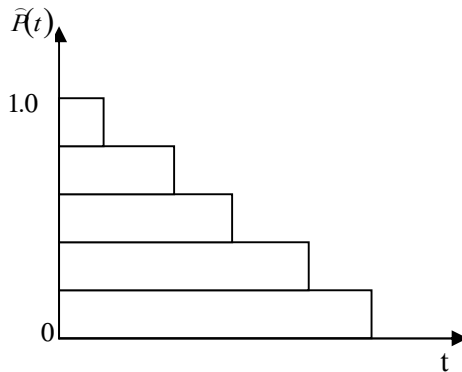
2.3. უმტყუნებო მუშაობის და მტყუნების ალბათობის

ექსპერიმენტული განსაზღვრა

უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის ექსპერიმენტული განსაზღვრის ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ ვიპოვოთ $N(t)$ ფუნქცია, რომელიც

განსაზღვრება t დროისათვის უმტყუნებოდ მომუშავე ელემენტების რაოდენობით.

$N(t)$ ფუნქციის პოვნა შემდგენაირად არის შესაძლებელი: გამოსაცდელად იღებენ N რაოდენობის ელემენტებს და იწყებენ გამოცდის პროცესს. ბუნებრივია, დასაწყისისათვის, როცა $t=0$, $N(t)=N(0)=N$. თითოეული მტყუნების შემდეგ, როცა უმტყუნებოდ მომუშავე ელემენტების რაოდენობა $N(t)$ ერთი ერთეულით მცირდება, აფიქსირებენ შესაბამის t მომენტს. ასეთი გზით $N(t)$ ფუნქციის გრაფიკული გამოსახვა (ნახ.2.5) მიზანშეწონილია ელემენტების მცირე რაოდენობის დროს.



ნახ. 2.5. უმტყუნებლობის (საიმედოობის) ჰისტოგრამა ელემენტთა მცირე რაოდენობის შემთხვევაში

უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა t მომენტისათვის, რომელიც განსაზღვრული იქნება ექსპერიმენტული გზით, შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ:

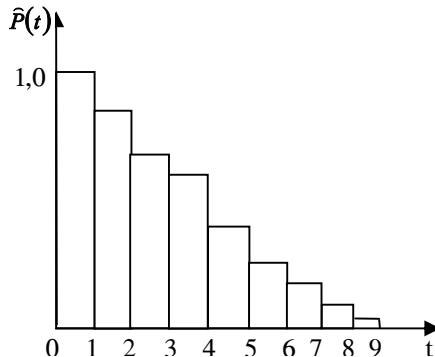
$$\hat{P}(t) = \frac{N(t)}{N}. \quad (2.13)$$

(2.13) წარმოადგენს უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის (საიმედლობის)– $P(t)$ ფუნქციის სტატისტიკურ შეფასებას და ზოგჯერ მას საიმედლობის ემპირიულ ფუნქციასაც უწოდებენ.

როცა $N \rightarrow \infty$, მაშინ

$$\hat{P}(t) = \frac{N(t)}{N} \rightarrow P(t). \quad (2.14)$$

ელემენტების დიდი რაოდენობის დროს გრაფიკის აგება უძვობესია სხვა გზით. კერძოდ, დაკვირვების მთელი დრო იყოფა თანაბარ



ნახ. 2.6. უმტყუნებლობის (საიმედლობის) ჰისტოგრამა ელემენტთა დიდი რაოდენობის შემთხვევაში

ინტერვალებად და თითოეულ პერიოდში აღირიცხება უმტყუნებოდ მომუშავე ელემენტების რაოდენობა (ნახ.2.6).

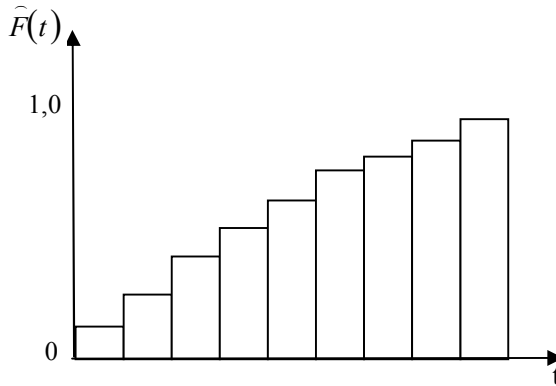
გრაფიკების აგების გზა შეირჩევა კონკრეტული პირობების მიხედვით.

ანალოგიურად აიგება მტყუნების ალბათობის ჰისტოგრამა (ნახ.2.7), როდესაც ექსპერიმენტული გზით განსაზღვრული მტყუნების ალბათობა t

მომენტიისათვის ელემენტების დიდი რაოდენობის დროს ასე შეიძლება ჩაიწეროს

$$\widehat{F}(t) = \frac{\sum_{k=1}^i n_k}{N}, \quad (2.15)$$

სადაც რეალიზაციათა $\sum_{k=1}^i n_k$ საერთო რიცხვია $k=1...i$ ინტერვალში



ნახ. 2.7. მტყუნების ალბათობის ჰისტოგრამა ელემენტთა დიდი რაოდენობის შემთხვევაში

2.4. მტყუნების ინტენსიურობის (საფრთხის)

ექსპერიმენტული განსაზღვრა

$\lambda(t)$ ფუნქციის ექსპერიმენტული განსაზღვრისათვის დაკვირვებას აწარმოებენ N რაოდენობის ელემენტებზე. დაკვირვების მთელი პერიოდი იყოფა რაიმე Δt ერთნაირი სიგრძის ინტერვალებად.

თუ გამოვიყენებთ ზემოთ მოყვანილ დამოკიდებულებას

$$\lambda(t) = -\frac{P'(t)}{P(t)}$$

და დავუშვებთ, რომ Δt საკმაოდ მცირეა, ზოლო N

ელემენტების რაოდენობა საკმაოდ დიდი, $\lambda(t)$ შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\lambda(t) = \frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{P(t) \cdot \Delta t}, \quad (2.16)$$

სადაც $\frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{P(t) \cdot \Delta t}$ $P(t)$ ფუნქციის წარმოებულია და არის $P'(t)$. უარყოფითი ნიშანი განპირობებულია $P(t)$ კლებადლობით.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $P(t) \approx \frac{N(t)}{N}$, სადაც $N(t)$ უმტყუნებოდ მომუშავე ელემენტების რიცხვია t მომენტისათვის, (2.16) შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\lambda(t) \approx \frac{\frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N}}{\frac{N(t)}{N} \cdot \Delta t} = \frac{n}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (2.17)$$

სადაც n მტყუნებათა რაოდენობაა t -დან $t + \Delta t$ მომენტამდე.

ერთსაათიანი ინტერვალისათვის (2.17) შეიძლება ასე ჩაიწეროს

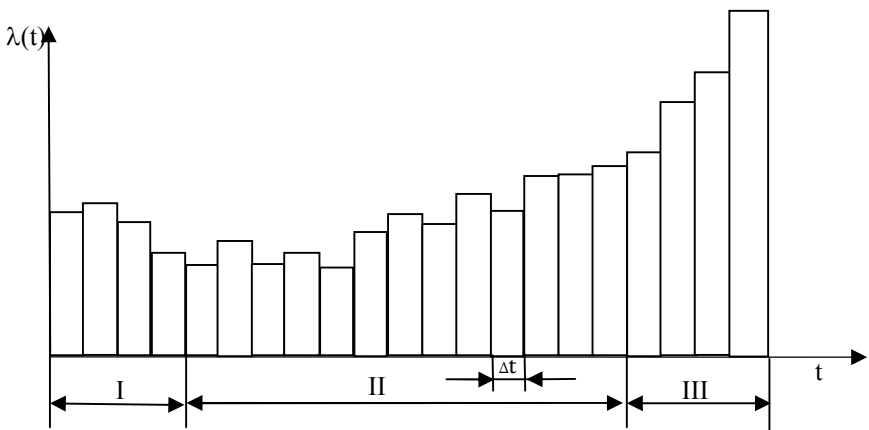
$$\lambda(t) = \frac{n}{N(t)}. \quad (2.18)$$

(2.17)-ის მიხედვით $\lambda(t)$ -ს სტატისტიკური შეფასება შეიძლება ასე გამოვსახოთ:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n_i}{\left(N - \sum_{k=1}^{t-1} n_k \right) \Delta t}, \quad (2.19)$$

სადაც n_i რეალიზაციათა საერთო რიცხვია i -ურ ინტერვალში; $\sum_{k=1}^{t-1} n_k$ — რეალიზაციათა საერთო რიცხვი $k=1 \dots (i-1)$ ინტერვალში, ანუ რეალიზაციათა რიცხვი i -ურ ინტერვალამდე.

(2.19)-ის საფუძველზე აკებულ ჰისტოგრამას ასევე ახასიათებს სამი მეტ-ნაკლებად გამოკვეთილი უბანი (ნახ.2.8).



ნახ. 2.8. მტყუნებათა ინტენსიურობის პისტოგრამა

2.5. უმტყუნებო მუშაობის (საიმედლობის) რიცხოვრივი მახასიათებლები

საიმედლობის $P(t)$ ფუნქცია ელემენტის მუშაობის სრული მახასიათებელია, მაგრამ პრაქტიკაში მისი გამოყენება გარკვეულად გაძნელებულია. ეს გარემოება განპირობებულია იმით, რომ საიმედობის $P(t)$ ფუნქციის ზუსტი განსაზღვრისათვის საჭიროა ექსპერიმენტების, გამოცდების დიდი მოცულობით ჩატარება. ამასთან მიღებული შედეგები დროის იმ მონაკვეთისათვის არის მართებული, რომელ დიაპაზონშიც მიმდინარეობდა გამოცდები, ე.ი. იმ დროში, რომელშიც $P(t)$ ფუნქციის სახე დადგინდა.

ამის გამო საინჟინრო პრაქტიკაში უფრო ხშირად მიმართავენ ელემენტის საიმედობის რიცხოვრივ მახასიათებლებს, რომელთა შორისაც უმნიშვნელოვანესია უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო.

ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო \bar{t} ეწოდება t_0 შემთხვევითი სიდიდის მათემატიკურ $M[t_0]$ ლოდინს, რომელიც თავის მხრივ შემთხვევითი სიდიდის საშუალო შეწონადებული მნიშვნელობაა:

$$\bar{t} = M[t_0] = \int_{-\infty}^{+\infty} t \cdot f(t) dt. \quad (2.20)$$

მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ უმტყუნებო მუშაობის დრო შეიძლება ჩაიწეროს ასე:

$$\bar{t} = \int_0^{+\infty} P(t) dt. \quad (2.21)$$

მოვანდინოთ (2.21)-ის გეომეტრიული ინტერპრეტაცია: უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო რიცხობრივად იმ ფართობის ტოლია, რომელიც კოორდინატთა ღერძებითა და $P(t)$ მრუდით არის შემოსაზღვრული.

2.6. საიმელობის რიცხობრივი მახასიათებლების

ექსპერიმენტული განსაზღვრა

უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო (შემთხვევითი სიდიდის მათემატიკური ლოდინი) შეიძლება ვიპოვოთ გამოცდების შედეგების მიხედვითაც.

უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროის ექსპერიმენტული განსაზღვრისათვის, ე. ი. მისი მათემატიკური ლოდინის შეფასებისათვის, იყენებენ შემთხვევითი სიდიდის არითმეტიკულ მნიშვნელობას – \hat{t} . პრაქტიკაში მისი განსაზღვრისათვის იღებენ N ერთნაირ ელემენტს და აწარმოებენ გამოცდებს ერთნაირ პირობებში, როცა მტყუნებათა საერთო

რიცხვი აღწევს n . ამასთან, ყოველი ელემენტის მუშაობის ხანგრძლივობა შესაბამისად ტოლია $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, მაშინ

$$\hat{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}, \text{ ანუ } \hat{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}. \quad (2.22)$$

მოყვანილი გამოსახულება უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროის სტატისტიკური შეფასებაა და ბუნებრივია, როცა $N \rightarrow \infty$ და $n \rightarrow \infty$, $\hat{t} \rightarrow \bar{t}$.

უნდა აღინიშნოს, რომ (2.22) პრაქტიკული გამოყენება ნაკლებადაა შესაძლებელი, რადგანაც სიზუსტისათვის საჭირო ელემენტების დიდი რაოდენობით აღების შემთხვევაში გართულებულია თითოეული ელემენტის მუშაობის ხანგრძლივობის ფიქსირება და შემდგომ მისი დამუშავება.

ამ მიზეზის გამო, ელემენტების დიდი რაოდენობით აღების შემთხვევაში უფრო მიზანშეწონილია გამოცდების მთელი პერიოდის S რაოდენობის ინტერვალებად დაყოფა და თითოეული ინტერვალისათვის მტყუნებათა რაოდენობის n_1, n_2, \dots, n_i განსაზღვრა. შესაბამისი ინტერვალის საშუალო დრო ავლნიშნოთ t_1, t_2, \dots, t_i მაშინ

$$\hat{t} = \frac{t_1 n_1 + t_2 n_2 + \dots + t_n n_n}{n}, \text{ ანუ } \hat{t} = \sum_{i=1}^S t_{im} \frac{n_i}{n}, \quad (2.23)$$

სადაც $\frac{n_i}{n}$ მტყუნებათა ალბათობაა i -ურ ინტერვალში; S – ინტერვალების რაოდენობა; t_{im} – მტყუნებათა დიაპაზონის საშუალო დრო.

აქაც, როცა $N \rightarrow \infty$ და $n \rightarrow \infty$, $\hat{t} = \bar{t}$.

შემთხვევითი სიდიდის გაბნევის ხარისხი მათემატიკური ლოდინის მიმართ ხასიათდება განაწილების პარამეტრებით, რომელსაც დისპერსია ეწოდება.

$$D = \int_{-\infty}^{+\infty} (t_1 - \bar{t})^2 f(t) dt, \quad (2.24)$$

სადაც $f(t)$ განაწილების სიმკვრივის ფუნქციაა.

იმის გამო, რომ დისპერსიის განზომილება შემთხვევითი სიდიდის განზომილების კვადრატია, იგი პრაქტიკაში ნაკლებად მოსახერხებელია. მიზანშეწონილია ოპერირება პარამეტრით, რომელსაც საშუალო კვადრატული გადახრა ეწოდება და იგივე განზომილება გააჩნია, რაც შემთხვევით სიდიდეს. საშუალო კვადრატულ გადახრას აღნიშნავენ σ -თი და ასე განისაზღვრება

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (2.25)$$

შემდეგი პარამეტრი, რომლითაც ხასიათდება შემთხვევითი სიდიდის განაწილება, არის გაბნევის ხარისხის შეფასების უგანზომილებო მახასიათებელი – ვარიაციის კოეფიციენტი V , იგი წარმოადგენს საშუალო კვადრატული გადახრის ფარდობას საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობასთან:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{t}}. \quad (2.26)$$

ვარიაციის კოეფიციენტი, ისევე როგორც დისპერსია, ახასიათებს შემთხვევითი სიდიდის გაბნევის ხარისხს და რაც მეტია ვარიაციის კოეფიციენტი, მით მეტია შემთხვევითი სიდიდეთა გაბნევა.

ჩამოთვლილი პარამეტრები კარგად ახასიათებს შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობათა განაწილებას და გამოიყენება მათი განაწილების კანონის დადგენისათვის.

2.7. საიმედოობის მაჩვენებლების სტატისტიკური შეფასება

მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების და ელემენტების გამოცდების შედეგები, რომლებიც შეიძლება იყოს უმტყუნებო მუშაობის ხანგრძლივობა, ელემენტების სხვადასხვა რესურსები და სხვ., წარმოადგენენ რა შემთხვევითი სიდიდეთა მნიშვნელობებს, უფრო ხშირად არ შეადგენენ მოწესრიგებულ ციფრთა რიგს. ამიტომ საიმედოობის მაჩვენებელთა სტატისტიკური შეფასების პროცესის პირველ ეტაპზე აუცილებელია შემთხვევით სიდიდეთა მნიშვნელობების დალაგება, მოწესრიგება. კერძოდ, ციფრები უნდა განვალაგოთ აღმატებითი წესით. სიდიდეთა ასეთ განლაგებას ვარიაციული რიგი ეწოდება:

$$t_1 \leq t_2 \leq t_3 \leq \dots t_n. \quad (2.27)$$

როცა შემთხვევით სიდიდეთა ექსპერიმენტული შედეგების ანარჩევს რაოდენობა აღემატება 30-ს, ვარიაციული რიგი საჭიროა დაჯგუფდეს გარკვეული რაოდენობის ინტერვალებად. პრაქტიკაში მათი რიცხვი აიღება 7-12 ზღვრებში, თუმცა ინტერვალთა რიცხვის განსაზღვრა შესაძლებელია აგრეთვე სტატისტიკის ფორმულით:

$$S = 1 + 3,3 \lg n, \quad (2.28)$$

სადაც S ინტერვალების რიცხვია; n – რეალიზაციათა საერთო რიცხვი.

მიღებულ სიდიდეს ამრგვალევენ მთელ რიცხვამდე.

ინტერვალების შერჩევისას მხედველობაში მიიღება მონაცემების კონკრეტული მაჩვენებლები.

ინტერვალთა ღიდი რიცხვი, შემთხვევით სიდიდეთა ექსპერიმენტული მონაცემების მცირე რაოდენობის შემთხვევაში, ცულ შედეგებს იძლევა, რადგან შეიძლება მოხდეს ისე, რომ ზოგიერთ ინტერვალში არ აღმოჩნდეს ექსპერიმენტული წერტილები. ასეთი მდგომარეობა ისევე ამახინჯებს განაწილების კანონის საერთო სურათს, როგორც ინტერვალთა მცირე

რაოდენობა. ამ შემთხვევაში არ არის გამოკვეთილი მახასიათებელი წერტილები.

ინტერვალების რიცხვის დადგენის შემდეგ შესაძლებელი ხდება ინტერვალის განსაზღვრა

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{S}, \quad (2.29)$$

სადაც Δt ინტერვალა; t_{\max} , t_{\min} – შესაბამისად ექსპერიმენტული მაქსიმალური და მინიმალური მაჩვენებლები.

შემდგომ თითოეულ წერტილში განისაზღვრება რეალიზაციათა რიცხვი, რომელიც მოდის ერთ ინტერვალზე.

შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ერთ-ერთ მაჩვენებლად მიჩნეულია მისი სიხშირე, რომელიც წარმოადგენს ინტერვალში რეალიზაციის და რეალიზაციათა საერთო რიცხვების ფარდობას:

$$m_i = \frac{n_i}{n}, \quad (2.30)$$

სადაც m_i შემთხვევითი სიდიდის განაწილების სიხშირეა; n_i – რეალიზაციათა რიცხვი i -ურ ინტერვალში; n – რეალიზაციათა საერთო რიცხვი,

$$n = \sum_{i=1}^S n_i. \quad (2.31)$$

ცდის შედეგების დამუშავებისას განაწილების ფუნქციის დადგენასთან ერთად ხშირად მოსახერხებელია ეგრეთ წოდებული ჰისტოგრამის – სვეტისებრი დიაგრამის გამოყენება, როცა თითოეული სვეტის ფართობი შემთხვევითი სიდიდის პროპორციულია სიხშირის ამ ინტერვალში. ნათქვამი მთლიანად ეხება m_i სიხშირის განისაზღვრის

პროცესსაც, როცა m_i შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ინტერვალებით, საფეხურებიანი ფუნქციის სახით.

შემდგომ ინტერვალებში განაწილებულ რეალიზაციათა რიცხვს წარმოადგენენ ცხრილის სახით, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს ქვემოთ მოყვანილი სახე.

ინტერვალის №	ინტერვალის საზღვრები	ინტერვალის შუა წერტილი	რეალიზაციის რიცხვი ინტერვალში	რეალიზაციათა სიხშირე ინტერვალში

ამის შემდეგ შესაძლებელია გამოთვლილ იქნეს ანარჩევით მიღებული ემპირიული ფუნქციის დაჯგუფებისა და გაბნევის ყველა ემპირიული მახასიათებელი.

t_0 შემთხვევითი სიდიდის ძირითადი რიცხვითი მაჩვენებლის სტატისტიკური მახასიათებელი \hat{t} განისაზღვრება (2.22) ან (2.23) ფორმულით.

შემთხვევითი სიდიდის სტატისტიკური დისპერსია განისაზღვრება შემდეგი თანაფარდობით

$$D \approx \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \hat{t})^2}{n-1}, \quad (2.32)$$

სადაც t_i ელემენტის მტყუნების დროა,

$$D \approx \frac{\sum_{i=1}^S (t_{im} - \hat{t})^2 n_i}{n-1}. \quad (2.33)$$

ემპირიული დისპერსია შესაბამისი აღნიშვნების შემთხვევაში ასე გამოისახება

$$D \approx \frac{i}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2. \quad (2.34)$$

შესაბამისი ფორმულით განისაზღვრება აგრეთვე პარამეტრები σ , V . ზემოთ აღნიშნული \bar{t} , σ , D , V პარამეტრები სტატისტიკურად კარგად ახასიათებს შემთხვევითი სიდიდის განაწილების მნიშვნელობებს და გამოიყენება განაწილების კანონის დადგენისათვის.

შემთხვევითი სიდიდეების საშუალო კვადრატული გადახრა შეიძლება გამოთვლილი იქნეს როგორც ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულების ანალოგიით $\sigma = \sqrt{D}$, ასევე გამოსახულებით

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^S t_{im}^2 \cdot n_i}{n} - \bar{t}^2}. \quad (2.35)$$

საიმელობის საბოლოო ამოცანას წარმოადგენს მიღებულ მნიშვნელობათა გაანალიზება და კანონზომიერებათა გამოყვანა. კერძოდ, დაკვირვებათა მნიშვნელობების საფუძველზე უნდა შევაფასოთ შემთხვევითი ხდომილობის ალბათობა; ცდებით მიღებული შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობებით გამოვიყვანოთ შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ფუნქცია; დავადგინოთ, შედარებით ზუსტად შემთხვევითი სიდიდის პარამეტრები, შემთხვევითი სიდიდის ან ზოგადად შემთხვევითი პროცესის მახასიათებლები.

ზემოთ მოყვანილი საკითხები პირველხარისხოვან მნიშვნელობას იძენს ზოგადად საიმელობის თეორიაში და ამდენად ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის კვლევის საგანს წარმოადგენენ.

საიმელობის თეორიის შემდგომი ეტაპის ამოცანას წარმოადგენს ის, რომ დაკვირვებათა გაანალიზების საფუძველზე წამოყენებულ იქნეს

ჰიპოთეზა ცდების შედეგად მიღებული შედეგების განაწილების შესახებ, ხოლო შემდგომ შემოწმდეს მისი მართებულობა. აღნიშნულ საკითხს ჰიპოთეზათა სტატისტიკური შემოწმების თეორია შეისწავლის.

მოვიყვანოთ მათემატიკური სტატისტიკიდან ზოგიერთი ცნების განმარტება.

პირობათა გარკვეული კომპლექსის განხორციელებას ცდა ეწოდება. შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობა, რომელიც ცდის შედეგად არის მიღებული, არის მისი რეალიზაცია. t_0 შემთხვევითი სიდიდეზე ჩატარებული n დაკვირვებათა t_1, t_2, \dots, t_n შედეგი ამ შემთხვევითი სიდიდის სტატისტიკური კვლევის ამოსავალი წერტილია და მას ანარჩევი ეწოდება. ამასთან, შემდგომისათვის ვიგულისხმობთ, რომ ცდები მიმდინარეობს ერთნაირ პირობებში და t_0 შემთხვევითი სიდიდე რომელიც $F(t)$ კანონით არის განაწილებული. ანარჩევით დადგენილ განაწილების ფუნქციას განაწილების ემპირიული ფუნქცია ეწოდება.

2.8. საიმედოობის მაჩვენებლების განაწილების ზოგიერთი კანონი

დაკვირვებებისა და ექსპერიმენტების საშუალებით შესაძლებელია გამოვლენილ იქნეს საიმედოობის მაჩვენებელთა შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობები, დადგინდეს საჭირო პარამეტრები. მიღებულის საფუძველზე საჭირო ხდება მათ განაწილების კანონზე ჰიპოთეზის გამოთქმა.

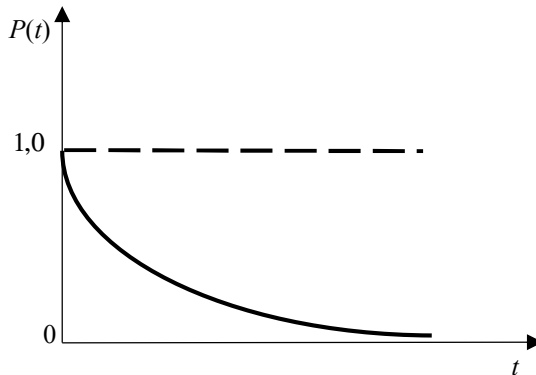
საიმედოობის თეორიაში მიღებულ მანქანათა ელემენტების საიმედოობის მაჩვენებლების შემთხვევითი სიდიდეების განაწილებისათვის ყველაზე ხშირად გამოიყენება ექსპონენციალური, ნორმალური, ლოგარითმულ-ნორმალური, ვეიბულის და ექსპონენციალური კვადრატული

მაჩვენებლით კანონები (ცხრ.2.1), თუმცა შეიძლება დასახელებულ იქნეს სხვა კანონებიც.

განვიხილოთ მოკლედ თითოეული.

ექსპონენციალური კანონი. უმტყუნებო მუშაობის t_0 დროის განაწილების ექსპონენციალური კანონი კარგად გამოხატავს მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების მუშაობის პროცესის დროის იმ მონაკვეთს, როცა ელემენტმა გაიარა საწყისი, მიმუშავების პერიოდი. ამიტომ ექსპონენციალური კანონი წარმატებით გამოიყენება ელემენტთა მუშაობის ანალიზისათვის, რომლებმაც უკვე გაიარეს აღნიშნული პერიოდი.

შემთხვევითი სიდიდის ექსპონენციალური კანონით განაწილების შემთხვევაში ელემენტის საიმედოობის მაჩვენებელთა ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელია თვით საიმედოობის (უმტყუნებლობის) ფუნქცია (ნახ.2.8):



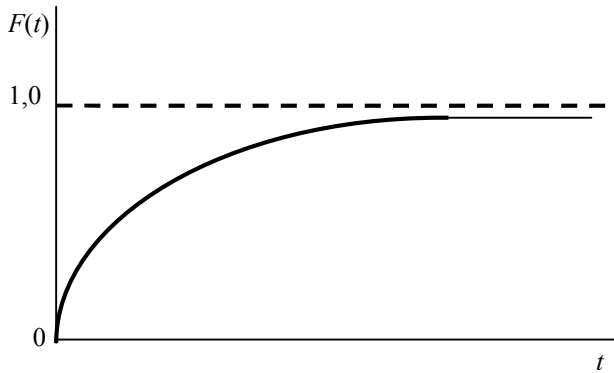
ნახ. 2.9. საიმედოობის ფუნქცია შემთხვევით სიდიდეთა ექსპონენციალური განაწილების დროს

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.36)$$

სადაც λ ფუნქციის პარამეტრია.

მტყუნების ალბათობის ფუნქცია (ნახ. 2.9)

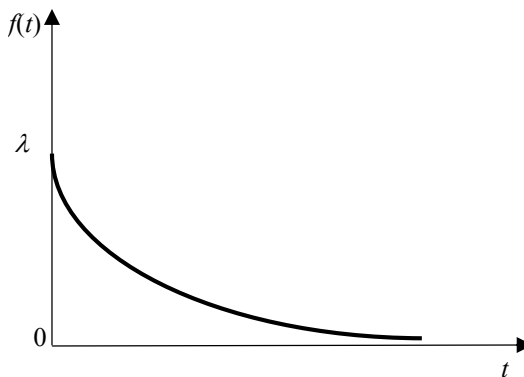
$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2.37)$$



ნახ. 2.10. მტყუნების ფუნქცია შემთხვევით სიდიდეთა ექსპონენციალური განაწილების დროს

მტყუნების განაწილების სიმკვრივე (ნახ.2.10) ინტეგრალური ფუნქციის წარმოებულა:

$$f(t) = F'(t) = (1 - e^{-\lambda t})' = \lambda \cdot e^{-\lambda t}. \quad (2.38)$$

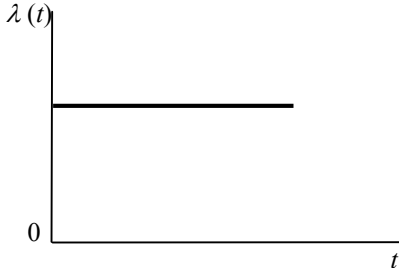


ნახ. 2.11. სიმკვრივის ფუნქცია შემთხვევით სიდიდეთა ექსპონენციალური განაწილების დროს

ექსპონენციალური კანონის უმთავრესი თვისებაა მტყუნებათა ინტენსიურობის მუდმივობა, რაც ასე კარგად ესადაგება ელემენტის

დამყარებული მუშაობის პერიოდს, მეორე უბანს (ნახ. 2.7, 2.11).
 მართლაც,

$$\lambda(t) = \frac{-P'(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = \text{const} \quad (2.39)$$



ნახ. 2.12. მტყუნებათა ინტენსიურობა შემთხვევითი სიდიდეთა ექსპონენციალური განაწილების დროს

საშუალოდ უმტყუნებოდ მუშაობის t_0 დროის მათემატიკური ლოდინი შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ექსპონენციალური კანონის დროს ასე გამოისახება:

$$\bar{t} = M[t_0] = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda \infty} - \left(-\frac{1}{\lambda}\right) e^{\lambda 0} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.40)$$

საშუალო კვადრატული გადახრა λ პარამეტრით ასე შეიძლება გამოისახოს [5]:

$$\sigma = \sqrt{M[t_0^2] - (M[t_0])^2} \quad (2.41)$$

და, რადგანაც შესაბამისი განსაზღვრული ინტეგრალის ნაწილობითი ინტეგრირების ხერხით ამოხსნის საფუძველზე

$$M[t_0^2] = \int_0^{\infty} t^2 f(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 \cdot \lambda e^{-\lambda t} dt = 2 \cdot \frac{1}{\lambda^2}, \quad (2.42)$$

ამიტომ

$$\sigma = \sqrt{2 \frac{1}{\lambda^2} - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2} = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.43)$$

ის გარემოება, რომ განაწილების ექსპონენციალური კანონისათვის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროის მათემატიკური ლოდინი მისი საშუალო კვადრატული გადახრის ტოლია ($\bar{t} = \sigma$), გამოიყენება იმისათვის, რომ შემოწმდეს ჰიპოტენუზა უმტყუნებო მუშაობის t_0 დროის განაწილების ექსპონენციალური კანონის შესახებ.

ნორმალური (ჰაუსის) კანონი. განაწილების ნორმალური კანონი გამოიყენება მაშინ, როდესაც უეცარი მტყუნებები რეალიზაციათა საერთო რიცხვის უმნიშვნელო ნაწილს შეადგენს, როდესაც შემთხვევით სიდიდეთა განაწილებაზე მოქმედებს მრავალი ერთნაირი მნიშვნელობის ფაქტორი. ნორმალური განაწილების კანონით კარგად გამოისახება მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების ცვეთადი ელემენტების საიმელოობის მაჩვენებლები.

t_0 დროის ნორმალური განაწილების დროს ელემენტის საიმელოობის ძირითადი მახასიათებლებია:

საიმელოობის ფუნქცია (ნახ. 2.14)

$$\begin{aligned} P(t) &= 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_{-\infty}^t \exp\left(-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}\right) dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_t^{\infty} \exp\left(-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}\right) dt = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right), \end{aligned} \quad (2.44)$$

სადაც $\Phi(Z)$ ლაპლასის ნორმირებული ფუნქციაა და ტოლია

$$\Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^Z e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \quad (2.45)$$

\bar{t} და σ ამჯერად კანონის პარამეტრებია.

მტყუნების ალბათობა – განაწილების ფუნქცია (ნახ. 2.15) ტოლი იქნება

$$F(t) = 1 - P(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right). \quad (2.46)$$

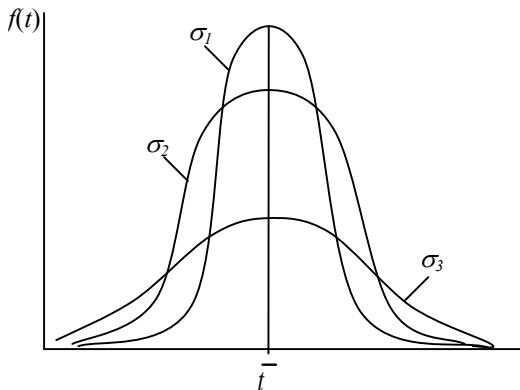
მტყუნების განაწილების სიმკვრივე

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(t - \bar{t})^2}{2\sigma^2}\right). \quad (2.47)$$

დაბოლოს, მტყუნებათა ინტენსიურობა

$$\lambda(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \frac{\exp\left(-\frac{(t - \bar{t})^2}{2\sigma^2}\right)}{\frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right)}. \quad (2.48)$$

2.13, 2.14 ნახაზებზე მოყვანილია მტყუნებათა სიმკვრივის ნორმირებული განაწილების მრუდები სხვადასხვა საშუალო კვადრატული გადახრებით და მათემატიკური ლოდინით. 2.13 ნახაზიდან კარგად ჩანს, რომ σ -ს შემცირებით მტყუნებათა სიმკვრივის ნორმირებული განაწილების



ნახ. 2.13. დისპერსიის გავლენა შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების სიმკვრივის მრუდის ფორმაზე

მრუდი იწვლება ორდინატის გასწვრივ ისე, რომ მრუდით შემოსაზღვრული ფართობი უცვლელი რჩება, ამასთან, ნორმირებული განაწილების სიმკვრივის მრუდი სიმეტრიულია. მისი განშტოებები, როცა $t \rightarrow \pm \infty$, ასიმპტოტურად უახლოვდება აბსცისათა ღერძს და ნული ხდება, ხოლო მაქსიმუმს აღწევს $t = \bar{t}$ წერტილში,

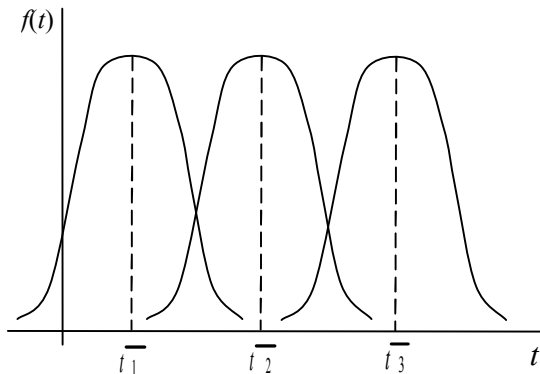
$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} . \quad (2.49)$$

ვინაიდან უმტყუნებო მუშაობის (მტყუნების) t_0 დრო დადებითი სიდიდეა, განაწილების ნორმირებული კანონის გამოყენება საიმედოობის მაჩვენებლების აღწერისათვის შესაძლებელია მხოლოდ შემდეგი პირობისათვის

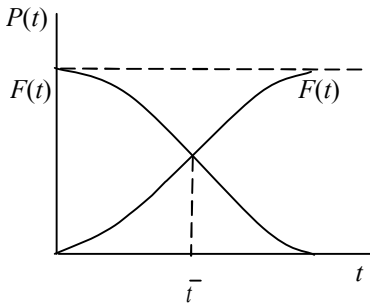
$$\bar{t} \gg \sigma , \quad (2.50)$$

როდესაც მიახლოებით სრულდება საიმედოობის საწყისი, „კლასიკური“ პირობები: $P(0) \approx 1, F(0) \approx 0$.

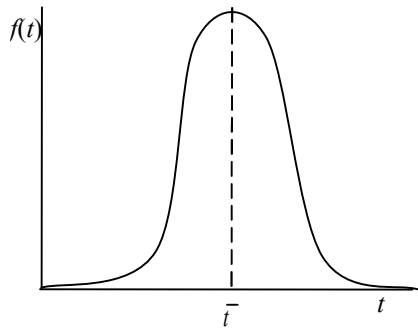
$F(t)$, $P(t)$ და $\lambda(t)$ მაჩვენებლების გრაფიკები შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ნორმალური კანონის შემთხვევისათვის მოცემულია ნახაზებზე – 2.15, 2.16, 2.17



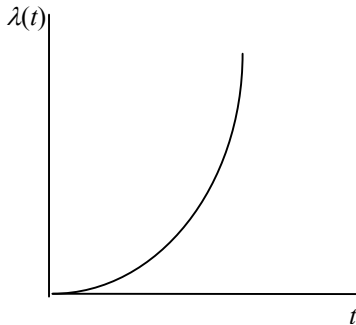
ნახ. 2.14. შემთხვევითი სიდიდეთა განაწილების სიმკვრივის მრუდები \bar{t} -ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის



ნახ. 2.15. მტყუნებისა და საიმედოობის ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ნორმალური კანონით განაწილების დროს



ნახ. 2.16. სიმკვრივის ფუნქცია შემთხვევით სიდიდეთა ნორმალური კანონით განაწილების დროს



ნახ. 2.17. მტყუნებათა ინტენსიურობა შემთხვევით სიდიდეთა ნორმალური კანონით განაწილების დროს

თუ არ სრულდება პირობა $\bar{t} \gg \sigma$, საიმედოობის ძირითადი მახასიათებლების მიღება ნორმალური განაწილების დროს შეიძლება „დაყვანილი“ სიმკვრივის საშუალებით [32].

განაწილების ნორმალური (ჰაუსის) კანონი ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის რიგ საკითხებში უდიდეს როლს თამაშობს.

ლოგარითმული ნორმალური კანონი. ლოგარითმულ ნორმალურ კანონად მიღებულია განაწილების ისეთი წესი, როცა t_0 შემთხვევითი სიდიდის ლოგარითმები ემორჩილება განაწილების ნორმალურ კანონს. ასეთ შემთხვევაში განაწილების ნორმალური კანონის გამოსახულებაში შემთხვევითი სიდიდის შესაძლო მნიშვნელობის (არგუმენტის) მაგივრად უნდა ჩაისვას მისი ლოგარითმები. სათანადო გაანალიზების შედეგად დადგენილია, რომ, თუ ლოგარითმის განაწილება შეესაბამება ნორმალურ კანონს, მაშინ საიმედოობის მაჩვენებლები ემორჩილება ლოგარითმულ ნორმალურ კანონს.

U შემთხვევითი სიდიდის სიმკვრივე ნორმალური კანონის შესაბამისად

$$f(U) = \frac{1}{\sigma_u \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[U - M(U)]^2}{2\sigma_u^2}\right), \quad (2.51)$$

სადაც $U = \frac{lgt}{lge}$; $t = e^U$; e – ნატურალური ლოგარითმის ფუძე; σ_u – U შემთხვევითი სიდიდის საშუალო კვადრატული გადახრა; $M(U)$ – U შემთხვევითი სიდიდის მათემატიკური ლოდინი (საშუალო არითმეტიკული); σ_u და $M(U)$ – ლოგარითმული ნორმალური კანონის პარამეტრები.

შემთხვევითი სიდიდის განაწილების სიმკვრივე იმის გათვალისწინებით, რომ $t = e^U$, შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dF[t(U)]}{dU} \cdot \frac{dU}{dt} = f(U) \frac{dU}{dt} = \frac{f(U)}{t}. \quad (2.52)$$

(2.49)-ის ჩასმით უკანასკნელში მივიღებთ

$$f(t) = \frac{lge}{t \cdot \sigma_u \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[lgt - M(U)]^2}{2\sigma_u^2}\right), \quad (2.53)$$

სადაც $t > 0$. როცა $t \leq 0$, მაშინ $f(t) = 0$.

შესაბამისად განისაზღვრება საიმედოობის დანარჩენი მახასიათებლები, როცა შემთხვევითი სიდიდის განაწილების წესი ლოგარითმული ნორმალური კანონია. მაგალითად, მტყუნების $F(t)$ ფუნქციის საწყისი და საბოლოო სახე ასე გამოისახება:

$$F(t) = \int_0^t \frac{lge}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[lgt - M(U)]^2}{2\sigma_u^2}\right) \frac{1}{t \cdot \sigma_u} dt = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{lgt - M(U)}{\sigma_u}\right), \quad (2.54)$$

სადაც $\Phi(Z)$ ლაპლასის ნორმირებული ფუნქციაა, მოცემულია საცნობარო ლიტერატურაში [41] და ტოლია

$$\Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^Z \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ, \quad (2.55)$$

სადაც $Z = \frac{lgt - M(U)}{\sigma_u}$.

ელემენტების $P(t)$ საიმედოობის ფუნქცია კი განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$P(t) = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{lgt - M(t)}{\sigma_u}\right), \quad (2.56)$$

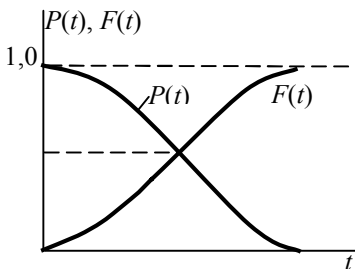
ხოლო მტყუნების საფრთხე

$$\lambda(t) = \frac{lge}{t \cdot \sigma_u \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right)}{\frac{1}{2} - \Phi(Z)}. \quad (2.57)$$

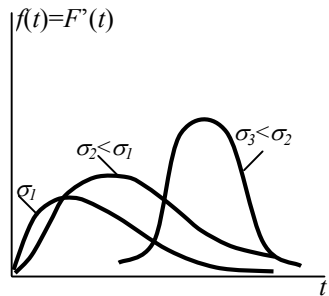
საიმედლობის ძირითადი მახასიათებლების გრაფიკები, როცა განაწილების წესი ლოგარითმული ნორმალური კანონია, მოცემულია 2.18, 2.19, 2.20. ამასთან, საიმედობის საწყისი პირობები დაკმაყოფილებულია: $P(0)=1$, $F(0)=0$, განაწილების სიმკვრივის მრუდი ასიმეტრიულია, სიმკვრივის მაქსიმუმი მათემატიკური ლოდინის მიმართ მარცხნივაა გადახრილი.

ვებულის კანონი. განაწილების ვებულის კანონი კარგად აღწერს მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების ელემენტების მუშაობის საიმედობის მაჩვენებლების ბოლო, „სიბერის“ პერიოდს წოდებულ მესამე უბანს.

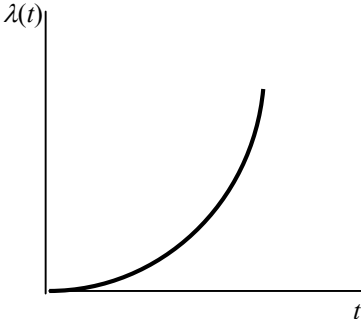
განაწილების ვებულის კანონის შემთხვევაში ელემენტის საიმედობის მახასიათებელთა ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელი საიმედობის ფუნქციაა (ნახ. 2.20):



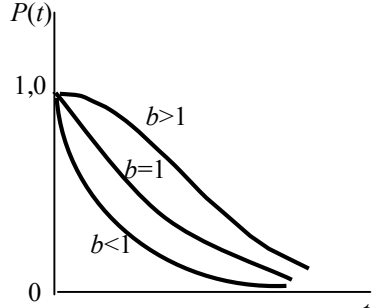
ნახ. 2.18. მტყუნებისა და საიმედობის ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ლოგარითმული ნორმალური კანონით განაწილების დროს



ნახ. 2.19. სიმკვრივის ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ლოგარითმული ნორმალური კანონით განაწილების დროს და სხვადასხვა σ -ს შემთხვევაში



ნახ. 2.20. მტყუნებათა ინტენსიურობა შემთხვევით სიდიდეთა ლოგარითმული ნორმალური კანონით განაწილების დროს



ნახ. 2.21. მტყუნებათა ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ვეიბულის კანონით განაწილების დროს სხვადასხვა კოეფიციენტების შემთხვევაში

$$P(t) = \exp\left(-\frac{t}{a}\right)^b, \quad (2.58)$$

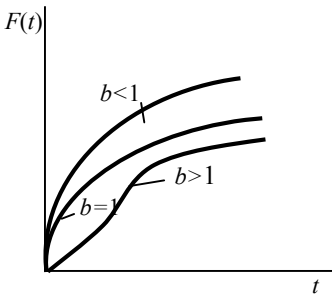
სადაც a , b ვეიბულის კანონის პარამეტრებია. კერძოდ, b განაწილების ფორმის, ხოლო a მასშტაბის კოეფიციენტებია.

მტყუნების ალბათობა, განაწილების ფუნქცია (ნახ. 2.21)

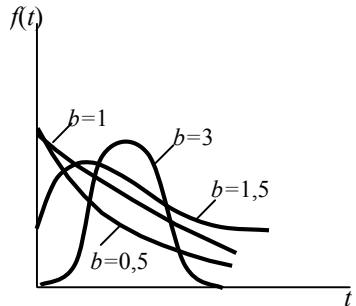
$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{a}\right)^b. \quad (2.59)$$

მტყუნების განაწილების სიმკვრივე (ნახ. 2.22)

$$f(t) = -\frac{\partial}{\partial t} t^{b-1} \cdot \left(-\exp\left(-\frac{t}{a}\right)^b\right) = \frac{b \cdot t^{b-1}}{a^b} \cdot \exp\left(-\frac{t}{a}\right)^b. \quad (2.60)$$



ნახ. 2.22. მტყუნებათა ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ვეიბულის კანონით განაწილების დროს სხვადასხვა კოეფიციენტების შემთხვევაში

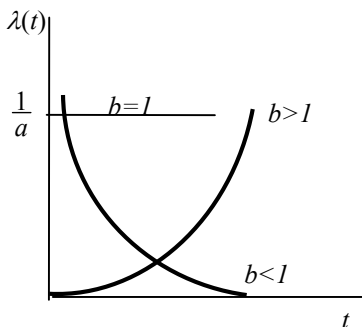


ნახ. 2.23. სიმკვრივის ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ვეიბულის კანონით განაწილების დროს სხვადასხვა კოეფიციენტების შემთხვევაში

$f(t)$ -ს მრუდი ვეიბულის კანონის მიხედვით არასიმეტრიულია.

მტყუნებათა ინტენსიურობა (ნახ. 2.23)

$$\lambda(t) = \frac{-P'(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{b \cdot t^{b-1}}{a^b}. \quad (2.61)$$



ნახ. 2.24. მტყუნებათა ინტენსიურობა შემთხვევით სიდიდეთა ვეიბულის კანონით განაწილების დროს სხვადასხვა კოეფიციენტების შემთხვევაში უმტყუნებლობის „კლასიკური“ საწყისი პირობები

$$P(0)=1, F(0)=0$$

ვეიბულის განაწილებისათვის მართებულია და სრულდება.

b პარამეტრი დამოკიდებულია მხოლოდ შემთხვევითი სიდიდის ვარიაციის კოეფიციენტზე და განისაზღვრება გაანგარიშებით, ცხრილებით ან გრაფიკულ-ანალიზური მეთოდით [32].

b პარამეტრს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მტყუნების სიმკვრივის განსაზღვრის პროცესში. იმის მიხედვით, თუ რა მნიშვნელობისაა კოეფიციენტი, მტყუნების სიმკვრივის მრუდი იცვლის ფორმას საკმაოდ ფართო დიაპაზონში. როცა $b=1$, ვეიბულის კანონი გარდაისახება ექსპონენციალურში (ნახ.2.22), ხოლო როცა $b=2,5...3,5$ (შეესაბამება ვარიაციის კოეფიციენტს $0,3...0,4$), ძლიერ უახლოვდება ნორმალური განაწილების კანონს.

უმტყუნებოდ მუშაობის საშუალო დრო, t_0 დროის მათემატიკური ლოდინი

$$\bar{t} = M[t_0] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \frac{b}{a^b} \int_0^{\infty} t^b \cdot \exp\left(-\frac{t^b}{a^b}\right) dt. \quad (2.62)$$

თუ მივიღებთ აღნიშვნას

$$x = \frac{t^b}{a^b}, \quad (2.63)$$

საიდანაც

$$t = x^{\frac{1}{b}} \cdot a, \quad (2.64)$$

ხოლო

$$dt = \frac{a}{b} \cdot x^{\frac{1}{b}-1} \cdot x^{-1} dx, \quad (2.65)$$

(2.62) გამოსახულება შეიძლება ასე გადავწეროთ:

$$\begin{aligned} \bar{t} = M[t_0] &= \frac{b}{a^b} \int_0^{\infty} x \cdot a^b \exp\left(-\frac{x \cdot a^b}{a^b}\right) \frac{a}{b} x^{\frac{1}{b}-1} \cdot x^{-1} dx = \\ &= \int_0^{\infty} x^{\frac{1}{b}} \cdot e^{-x} dx = a \cdot \Gamma\left(\frac{1}{b} + 1\right) \end{aligned}, \quad (2.66)$$

სადაც $\Gamma\left(\frac{1}{b} + 1\right) = \int_0^{\infty} x^{\frac{1}{b}-1} \cdot e^{-x} dx$ გამა-ფუნქციაა, იგი ტაბულირებულია და

მოცემულია საცნობარო ლიტერატურაში [11].

შემთხვევითი სიდიდის საშუალო კვადრატული გადახრის განსაზღვრისათვის საჭირო მეორე რიგის საწყისი მომენტი იქნება

$$\begin{aligned} M[t_0^2] &= \int_0^{\infty} t^2 \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 \cdot \frac{b}{a^b} \cdot t^{b-1} \cdot \exp\left(-\frac{t^b}{a^b}\right) dt = \\ &= \frac{b}{a^b} \int_0^{\infty} t \cdot t^b \cdot \exp\left(-\frac{t^b}{a^b}\right) dt. \end{aligned} \quad (2.67)$$

იმავე აღნიშვნების გამოყენებით

$$\begin{aligned}
 M[t_0^2] &= \frac{b}{a^b} \int_0^{\infty} x^{\frac{1}{b}} \cdot a \cdot x \cdot a^b \cdot \exp\left(-\frac{x \cdot a^b}{a^b}\right) \frac{a}{b} x^{\frac{1}{b}} \cdot x^{-1} \cdot dx = \\
 &= a^2 \int_0^{\infty} x^{\frac{2}{b}} \cdot e^{-x} dx = a^2 \cdot \Gamma\left(\frac{2}{b} + 1\right),
 \end{aligned}
 \tag{2.68}$$

სადაც $\Gamma\left(\frac{2}{b} + 1\right) = \int_0^{\infty} x^{\frac{2}{b}} \cdot e^{-x} dx$ გამა-ფუნქციაა, ისიც ტაბულირებულია და მოცემულია საცნობარო ლიტერატურაში [11].

მაშინ შემთხვევითი სიდიდის საშუალო კვადრატული გადახრის განსაზღვრისათვის

$$\begin{aligned}
 \sigma^2 = \mathbf{D}(t_0) &= M[t_0^2] - (M[t_0])^2 = a^2 \cdot \Gamma\left(\frac{2}{b} + 1\right) - a^2 \cdot \Gamma^2\left(\frac{1}{b} + 1\right) = \\
 &= a^2 \left[\Gamma\left(\frac{2}{b} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{b} + 1\right) \right].
 \end{aligned}
 \tag{2.69}$$

ვებულის განაწილების a და b პარამეტრების განსაზღვრის ერთ-ერთი მეთოდი შემდეგია: თუ N რაოდენობის ელემენტზე დაკვირვებათა საფუძველზე უმტყუნებოდ მუშაობის t_0 დროის რეალიზაციებია t_1, t_2, \dots, t_n , ხოლო რეალიზაციათა საერთო რიცხვი – n , მაშინ t_0 შემთხვევითი სიდიდის მათემატიკური ლოდინი და სტატისტიკური დისპერსია შესაბამისად იქნება:

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}; \tag{2.70}$$

$$\sigma^2 = \frac{(t_1 - \bar{t})^2 + (t_2 - \bar{t})^2 + \dots + (t_n - \bar{t})^2}{n-1}, \tag{2.71}$$

მაშინ ვარიაციის კოეფიციენტი

$$V = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{t}}. \quad (2.72)$$

მეორეს მხრივ, ჩვენს მიერ გამოთვლილი \bar{t} და σ საშუალებით შეგვიძლია ჩავწეროთ (2.39, 2.66)

$$V = \frac{\sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{b}+1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{b}+1\right)}}{\Gamma\left(\frac{1}{b}+1\right)}. \quad (2.73)$$

ორ უკანასკნელს თუ გავუტოლებთ ერთმანეთს, მივიღებთ

$$\frac{\bar{\sigma}}{\bar{t}} = \frac{\sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{b}+1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{b}+1\right)}}{\Gamma\left(\frac{1}{b}+1\right)}. \quad (2.74)$$

ამ გამოსახულებაში უცნობია მხოლოდ b პარამეტრი, რისი განსაზღვრაც აღარ წარმოადგენს რაიმე სიძნელეს. რა თქმა უნდა, ხელთ უნდა გვქონდეს გამა-ფუნქციის ტაბულირებული ცხრილები. ამის შემდეგ ასევე ადვილია α პარამეტრის გამოთვლა, თუნდაც (2.66) გამოყენებით.

ექსპონენციალური ფუნქცია კვადრატული მაჩვენებლით ($y=e^{-\lambda t^2}$).

როგორც ადრე ავლინშნეთ, ექსპონენციალური კანონი $y=e^{-\lambda t}$ ფუნქციის სახით საიმედოობის თეორიაში შეიძლება გამოყენებული იქნეს მხოლოდ მექანიკური სისტემებისათვის, რომლებმაც უკვე გაიარეს მიმუშავების პერიოდი და დაუდგათ ექსპლუატაციის დამყარებული ეტაპი. მაგრამ მარტივი ანალიზის საფუძველზეც ნათელია, რომ ექსპონენციალური კანონი $P(t)=e^{-\lambda t}$ სახით, რომელიც ითვალისწინებს მტყუნების ინტენსიურობის მუდმივობას, არ შეიძლება სრულყოფილად ახასიათებდეს იმ მექანიკური სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლებს, სადაც ადვილი აქვს ტრიბოლოგიურ პროცესებს და დაღლილობის მოვლენებს. ვინაიდან ეს უკანასკნელნი განსასხიერებენ მუდმივ, თანდათანობით დაშლის პროცესს, ბუნებრივია, ადვილი უნდა ჰქონდეს საექსპლუატაციო

პარამეტრების გაუარესებას და მაშასადამე, მტყუნების ინტენსიურობის გაზრდას. მაგრამ $P(t) = e^{-\lambda t}$ -ის შესაბამისი $\lambda(t)$ ამას არ ითვალისწინებს და იგი მუდმივია (ნახ.2.28,ა).

რაც შეეხება ჩვენს მიერ განხილულ შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ვიბულის კანონს (როცა $b > 2$), იგი კარგად აღწერს იმ მექანიკური სისტემების საიმედო ექსპლუატაციის პირობებს, როცა ადგილი აქვს ელემენტების ინტენსიური დაშლის პროცესს, განსაკუთრებით იმ პერიოდს, როცა ელემენტების დაშლის პროცესი მეტად ინტენსიურად, კატასტროფულად მიმდინარეობს (ნახ.2.28,ბ). მაგრამ ამასთან, როგორც უკვე ავღნიშნეთ, იგი საჭიროებს შედარებით რთული მათემატიკური აპარატის გამოყენებას, რაც მოუხერხებელს ხდის მის საინჟინრო პრაქტიკაში გამოყენების შესაძლებლობას.

გამოთქმული მოსაზრებების გამო მექანიკური სისტემის დამყარებული რეჟიმისათვის საჭირო გახდა მოძებნილიყო საიმედოობის მაჩვენებლების ეფექტურად გამომსახველი კანონი გამოყენების კონკრეტული ზღვრებით, რომელიც უზრუნველყოფდა საიმედოობის ამოცანების საინჟინრო მეთოდებით გადაწყვეტის საშუალებას.

ანალიზური და ექსპერიმენტული კვლევის საფუძველზე ასეთ დამოკიდებულებად მიჩნეული ჩვენს მიერ იქნა ექსპონენციალური ფუნქცია კვადრატული მაჩვენებლით.

განსხვავებული სურათი $\lambda = e^{-\lambda t^2}$ ფუნქციის გამოყენების დროს განსაკუთრებით თვალსაჩინოა მტყუნებათა ინტენსიურობის მაჩვენებლის განხილვის დროს, ასე, მაგალითად, ექსპონენციალური კანონის $P(t) = e^{-\lambda t}$ სახით გამოყენების დროს, იგი მუდმივი სიდიდეა და λ პარამეტრით იზომება; ვიბულის კანონის შემთხვევაში, როცა $b > 2$, სახეზეა მტყუნების

ინტენსიურობის ჰიპერბოლური ტიპის მრუდი, ხოლო გამოსაკვლევი

$P(t) = e^{-\lambda t^2}$ ფუნქცია განაპირობებს $\lambda(t)$ -ს წრფივ სასიათს.

განვიხილოთ ელემენტის საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებლები, როცა მტყუნებლობის მაჩვენებლის ფუნქცია (ნახ.2.25)

$$P(t) = e^{-\lambda t^2} . \quad (2.75)$$

შესაბამისად (ნახ. 2.26)

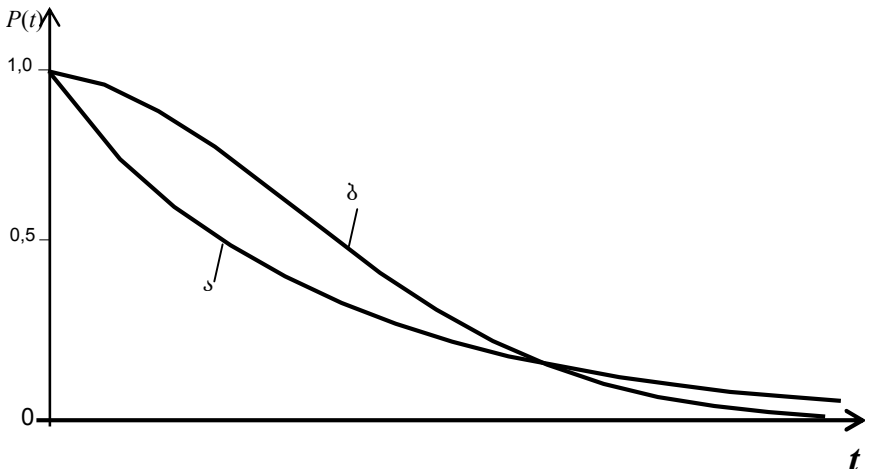
$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t^2} . \quad (2.76)$$

მტყუნების განაწილების სიმკვრივე (ნახ. 2.26)

$$f(t) = F'(t) = 2\lambda t e^{-\lambda t^2} , \quad (2.77)$$

ხოლო მტყუნებათა ინტენსიურობა (ნახ.2.27, გ)

$$\lambda(t) = \frac{-P'(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{2\lambda t e^{-\lambda t^2}}{e^{-\lambda t^2}} = 2\lambda t . \quad (2.78)$$

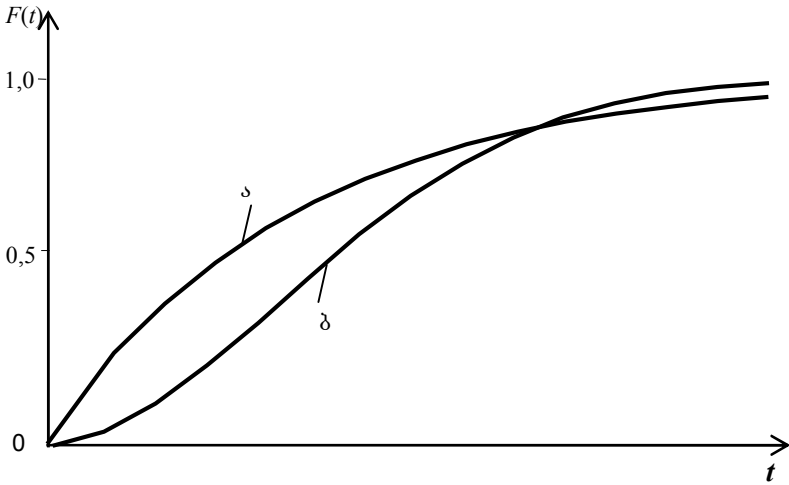


ნახ. 2.25. უმტყუნებლობის ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა

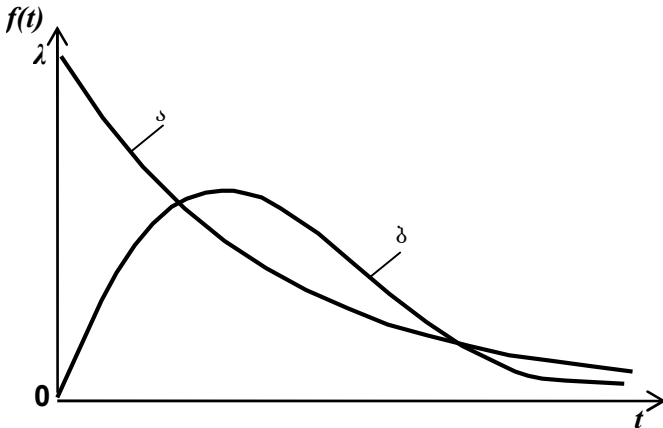
ექსპონენციალური განაწილების დროს:

ა – შეესაბამება $P(t) = \exp(-\lambda t)$ ფუნქციას;

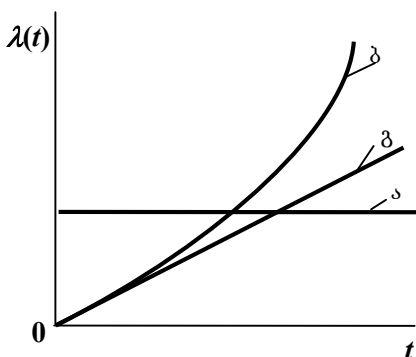
ბ – შეესაბამება $P(t) = \exp(-\lambda t^2)$



ნახ. 2.26. მტყუნების ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ექსპონენციალური განაწილების დროს:
 ა – შეესაბამება $P(t)=\exp(-\lambda t)$ ფუნქციას;
 ბ – შეესაბამება $P(t)=\exp(-\lambda t^2)$ ფუნქციას



ნახ. 2.27. მტყუნების სიმკვრივის ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ექსპონენციალური განაწილების დროს:
 ა – შეესაბამება $P(t)=\exp(-\lambda t)$ ფუნქციას;
 ბ – შეესაბამება $P(t)=\exp(-\lambda t^2)$ ფუნქციას



ნახ. 2.28. მტყუნებათა ინტენსიურობის ფუნქციები შემთხვევით სიდიდეთა ექსპონენციალური განაწილების დროს:

- ა – შესაბამება $P(t)=\exp(-\lambda t)$ ფუნქციას;
- ბ – შესაბამება $P(t)=\exp\left(-\frac{t}{a}\right)^b$ ფუნქციას, როცა $b>2$;
- გ – შესაბამება $P(t)=\exp(-\lambda t^2)$ ფუნქციას

უმტყუნებოდ მუშაობის საშუალო დრო ჩვენს მიერ გამოთვლილი იქნა ისეთი ტიპის ინტეგრალების ამოხსნით, როგორებიცაა $\int e^{-\lambda t^2} dt$ და $\int t^2 e^{-\lambda t^2} dt$. შედეგად მივიღეთ

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t^2} dt = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\lambda}} = \frac{\sqrt{\lambda \pi}}{2\lambda}. \quad (2.79)$$

ე.ი. ელემენტის მუშაობის საშუალო დროის მათემატიკური ლოდინი $\frac{\sqrt{\lambda \pi}}{2}$ სიდიდით განსხვავდება $P(t) = e^{-\lambda t}$ კანონის შემთხვევისაგან.

საშუალო კვადრატული გადახრის განსაზღვრისათვის საჭირო მეორე რიგის საწყისი მომენტი გამოითვლება შესაბამისი განსაზღვრული ინტეგრალის ამოხსნის საფუძველზე:

$$\begin{aligned}
 M[t_0^2] &= \int_0^{\infty} t^2 \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 \cdot 2\lambda t e^{-\lambda t^2} dt = 2\lambda \int_0^{\infty} t^3 \cdot e^{-\lambda t^2} dt = \\
 &= -2\lambda \left. \frac{(\lambda t^2 + 1)}{2\lambda^2} e^{-\lambda t^2} \right|_0^{\infty} = \left. \frac{(\lambda t^2 + 1)}{\lambda} e^{-\lambda t^2} \right|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda} .
 \end{aligned} \tag{2.80}$$

მაშინ

$$\sigma = \sqrt{M[t_0^2] - M[t_0]^2} = \sqrt{\frac{1}{\lambda} - \frac{\pi}{4\lambda}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4-\pi}{\lambda}} . \tag{2.81}$$

ანალოგიური ვითარებაა დისპერსიის განსაზღვრის დროს:

$$D = \sigma^2 = \frac{4-\pi}{4\pi} . \tag{2.82}$$

ჩატარებული კვლევის საფუძველზე შემთხვევით სიდიდეთა $P(t) = e^{-\lambda t^2}$ კანონით განაწილებას საინჟინრო პრაქტიკაში აქვს უღაგო უპირატესობა – კარგად ახასიათებს საიმედოობის მაჩვენებლებს მექანიკური სისტემების ექსპლუატაციის შუა პერიოდში, გამოირჩევა გამოყენებული მათემატიკური აპარატის სიმარტივით.

საიმედოობის მაჩვენებლების ექსპონენციალური ფუნქციით (კვადრატული მაჩვენებლით – $P(t) = e^{-\lambda t^2}$). გამოსახვის უმთავრესი მახასიათებელი ნიშნებია:

მტყუნების ინტენსიურობის მაჩვენებელი გამოისახება $\lambda(t) = 2\lambda t$ წრფივი ფუნქციით;

მტყუნებათა სიმკვრივის მაჩვენებელს ნორმალური კანონის მსგავსად ახასიათებს ექსტრემუმი, მაგრამ მისგან განსხვავებით ასიმეტრიულია;

ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო $\frac{\sqrt{\lambda\pi}}{2}$ სიდიდით განსხვავდება $P(t) = e^{-\lambda t}$ კანონის შემთხვევისაგან;

დაბოლოს, მიზანშეწონილია მექანიკური სისტემების სპეციფიკურობათა გამო გაგრძელდეს ახალ კანონზომიერებათა ძიება სხვადასხვა ობიექტთა ვგუფებისა და ექსპლუატაციის სხვადასხვა პერიოდების მიმართ დიფერენცირებული მიდგომის გზით.

ცხრილში 2.1 λ ექსპონენციალური კანონის პარამეტრია; \bar{i} და σ – გამოსასულებებში ნორმალური კანონის პარამეტრები; $M(U)$ და σ_u – ლოგარითმული ნორმალური კანონის პარამეტრები; a და b – ვეიბულის კანონის პარამეტრები; $\Phi(Z)$ – ლაპლასის ნორმირებული ფუნქცია; $\Gamma\left(\frac{2}{b}+1\right)$ და $\Gamma\left(\frac{1}{b}+1\right)$ – გამა-ფუნქციები.

განაწილების კანონის დასახელება	უმტყუნებლობა P(t)	მტყუნება F(t)	მტყუნების სიმკვრივე f(t)	მტყუნების ინტენსიურობა λ(t)	მტყუნების მათემატ. ლოდინი M{t ₀ }	საშუალო კვადრატული გადახრა σ	დისპერსია D
ექსპონენციალური	$e^{-\lambda t}$	$1 - e^{-\lambda t}$	$\lambda \cdot e^{-\lambda t}$	λ	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
ნორმალური	$\frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right)$	$\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right)$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \times \exp\left(-\frac{(t - \bar{t})^2}{2\sigma^2}\right)$	$\frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(t - \bar{t})^2}{2\sigma^2}\right)}{\frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right)}$	\bar{t}	σ	σ^2
ლოგარითმული ნორმალური	$\frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\lg t - M(U)}{\sigma_u}\right)$	$\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\lg t - M(U)}{\sigma_u}\right)$	$\frac{\lg e}{t \cdot \sigma_u \cdot \sqrt{2\pi}} \times \exp\left(-\frac{[\lg t - M(U)]^2}{2\sigma_u^2}\right)$	$\frac{\lg e}{t \cdot \sigma_u \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right)}{\frac{1}{2} - \Phi(Z)}$	$e^{\bar{t} + \sigma^2/2}$	σ_u	$e^{2\bar{t} + \sigma^2/2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$
ვეიბულის	$\exp\left(-\frac{t}{a}\right)^b$	$1 - \exp\left(-\frac{t}{a}\right)^b$	$\frac{b \cdot t^{b-1}}{a^b} \cdot \exp\left(-\frac{t}{a}\right)^b$	$\frac{b \cdot t^{b-1}}{a^b}$	$a \cdot \Gamma\left(\frac{1}{b+1}\right)$	$\frac{\sqrt{a^2 [\Gamma(\frac{2}{b} + 1)] - \Gamma^2(\frac{1}{b} + 1)}}{-\Gamma^2(\frac{1}{b} + 1)}$	$a^2 [\Gamma(\frac{2}{b} + 1)] - \Gamma^2(\frac{1}{b} + 1)$
ექსპონენციალური კვადრატული მაჩვენებლით	$e^{-\lambda t^2}$	$1 - e^{-\lambda t^2}$	$2\lambda e^{-\lambda t^2}$	$2\lambda t$	$\frac{\sqrt{\lambda\pi}}{2\lambda}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{4-\pi}{\lambda}}$	$\frac{4-\pi}{4\lambda}$

2.9. ჰიპოთეზა შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების

კანონზე და მისი შემოწმება

გამოსაკვლევი დეტალების სტატისტიკური და თეორიული გაანგარიშებების შედეგების, აგრეთვე მტყუნებათა ფიზიკური არსის, ბუნების გათვალისწინებით გამოითქმება ჰიპოთეზა მტყუნებათა განაწილების კანონზე.

ექსპერიმენტის ან დაკვირვების შედეგების შეთანხმებულობას გამოთქმულ ჰიპოთეზასთან ამოწმებენ თანხმობის კრიტერიუმის მეშვეობით. თანხმობის კრიტერიუმად მიიჩნევა იმ პირობათა ერთობლიობა, რომლებიც ადასტურებენ გამოთქმული ჰიპოთეზის სამართლიანობას.

შემთხვევითი სიდიდის განაწილების კანონზე გამოთქმული ჰიპოთეზის სამართლიანობის შემოწმებისათვის არსებობს რამდენიმე კრიტერიუმი, რომელთა გამოყენების მიზანშეწონილობა განისაზღვრება დასამუშავებელი საწყისი მონაცემების მასშტაბებით და დამუშავების მეთოდებით.

მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის მაჩვენებელთა განაწილების კანონის შემოწმებისათვის მიზანშეწონილია და შესაბამისად, ფართოდ გამოიყენება პირსონის კრიტერიუმი. განსაკუთრებით ეფექტურია მისი გამოყენება, როცა დაკვირვებათა რაოდენობა აღემატება 30-ს.

დაკვირვებათა შედეგების რომელიმე კანონისადმი მიკუთვნების სამართლიანობის შემოწმებისათვის ვარიაციული რიგის ემპირიული მნიშვნელობები როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, იყოფა რაღაც S თანაბარი სიდიდის ინტერვალებად. თითოეულ ინტერვალში რეალიზაციათა (მტყუნებათა) რიცხვი აღინიშნება n_i -ით, მიღებული საანგარიშო, ემპირიული მტყუნებათა რიცხვი შეედარება შესაბამის მტყუნებათა

რიცხვის თეორიულ მნიშვნელობებს n_i^o , რომელიც გაიანგარიშება განაწილების კანონზე გამოთქმული ჰიპოთეზის საფუძველზე.

დაბოლოს, ემპირიულ მნიშვნელობათა ერთობლიობის მიკუთვნება რომელიმე კანონისადმი მოწმდება კრიტერიუმით χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^S \frac{(n_i - n_i^o)^2}{n_i^o}, \quad (2.83)$$

სადაც n_i^o არის i -ურ ინტერვალში მოხვედრილი რეალიზაციათა თეორიული რიცხვი, რომელიც განისაზღვრება შესაბამისი ფუნქციის მეშვეობით, სადაც არგუმენტად მიიღება მტყუნების ინტენსივობის თეორიული მნიშვნელობა. შესაბამისად

$$n_i^o = \lambda(t_i) \cdot N(t_{i-1}) \cdot \Delta t, \quad (2.84)$$

სადაც $\lambda(t)$ მტყუნების ინტენსივობის თეორიული მნიშვნელობაა i -ურ შუალედში; $N(t_{i-1})$ – უმტყუნებოდ მომუშავე ელემენტების რაოდენობაა i -ური შუალედის დადგომამდე; Δt – ინტერვალის სიგრძე.

მიღებული χ^2 მნიშვნელობას ვადარებთ ამ კრიტერიუმის $\chi^2(r)$ -ის კრიტიკულ მნიშვნელობას. $\chi^2(r)$ შეირჩევა ცხრილიდან 2.3 $r = S-1$ (სადაც S ინტერვალების რიცხვია) მნიშვნელობისა და α პასუხისმგებლობის დონის მიხედვით.

ჰიპოთეზა სავარაუდო განაწილების კანონის შესახებ ითვლება მართებულად თუ $\chi^2 < \chi^2(r)$, რაც იმის მაუწყებელია, რომ ექსპერიმენტული მონაცემები არ ეწინააღმდეგებიან განაწილების კანონს α პასუხისმგებლობის დონის დროს შესაბამისი სარწმუნო ალბათობით, თუ $\chi^2 \geq \chi^2(r)$ ჰიპოთეზას უარყოფენ.

χ^2 მნიშვნელობა α და r -ის მიხედვით

$r \backslash \alpha$	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0.00	0.001	0.004	0.016	0.064	0.148	0.455	1.074	1.642	2.71	3.84	5.41	6.64	10.83
2	0.020	0.040	0.103	0.211	0.446	0.713	0.713	2.41	3.22	4.60	5.99	7.82	9.21	13.82
3	0.115	0.185	0.352	0.584	1.005	1.424	1.386	3.66	4.64	6.25	7.82	9.84	11.34	16.27
4	0.297	0.429	0.711	1.064	1.649	2.20	2.37	4.88	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28	18.46
5	0.554	0.752	1.145	1.610	2.34	3.00	3.36	6.06	7.29	9.24	11.07	13.39	15.09	20.5
6	0.872	1.134	1.635	2.20	3.07	3.83	4.35	7.23	8.56	10.64	12.59	15.03	16.81	22.5
7	1.239	1.564	2.17	2.83	3.82	4.67	5.35	8.38	9.80	12.02	14.07	16.62	18.48	24.3
8	1.646	2.03	2.73	3.49	4.59	5.53	6.36	9.52	11.03	13.36	15.51	18.17	20.1	26.1
9	2.09	3.53	3.32	4.17	5.38	6.89	7.34	10.66	12.24	14.68	16.92	19.68	21.7	27.9
10	2.55	3.06	3.94	4.86	6.18	7.27	8.34	11.78	13.44	15.99	18.31	21.2	23.2	29.6
11	3.05	3.61	4.58	5.58	6.99	8.15	9.34	12.90	14.63	17.28	19.68	22.6	24.7	31.3
12	3.57	4.18	5.23	6.30	7.81	9.03	10.34	14.01	15.81	18.55	21.00	24.1	26.2	32.9
13	4.11	4.76	5.89	7.04	8.33	9.93	11.34	15.12	16.98	19.81	22.4	25.5	27.7	34.6
14	4.66	5.37	6.57	7.79	9.47	10.82	12.34	16.22	18.15	21.10	23.7	26.9	29.1	36.1
15	5.23	5.98	7.26	8.55	10.31	11.72	13.34	17.32	19.31	22.3	25.0	28.3	30.6	37.7
16	5.81	6.61	7.96	9.31	11.15	12.62	14.34	18.42	20.5	23.5	26.3	29.6	32.0	39.3
17	6.41	7.26	8.67	10.08	12.00	13.53	15.34	19.52	21.6	24.8	27.6	31.0	33.4	40.8
18	7.02	7.91	9.39	10.86	12.86	14.44	16.34	20.6	22.8	26.0	28.9	32.3	34.8	42.3
19	7.63	8.57	10.11	11.65	13.72	15.35	17.34	21.7	23.9	27.2	30.1	33.7	36.2	43.8
20	8.26	9.24	10.85	12.44	14.58	16.27	18.34	22.8	25.0	28.4	31.4	35.0	37.6	45.3
21	8.90	9.93	11.59	13.24	15.44	17.18	19.34	23.9	26.2	29.6	32.7	36.3	38.9	46.8
22	9.54	10.60	12.34	14.04	16.31	18.10	20.3	24.9	27.3	30.8	33.9	37.7	40.3	48.3
23	10.20	11.29	13.09	14.85	17.19	19.02	21.3	26.0	28.4	32.0	35.2	39.0	41.6	49.7
24	10.86	11.99	13.85	15.66	18.06	19.94	22.3	27.1	29.6	33.2	36.4	40.3	43.0	51.2
25	11.52	12.70	14.61	16.47	18.94	20.9	23.3	28.2	30.7	34.4	37.7	41.7	44.3	52.6
26	12.20	13.41	15.38	17.29	19.82	21.8	24.3	29.2	31.8	35.6	38.9	42.9	45.6	54.1
27	12.68	14.10	16.15	18.11	20.7	22.7	25.3	30.3	32.9	36.7	40.1	44.1	47.0	55.5
28	13.56	14.85	16.93	18.94	21.6	23.6	26.3	31.4	34.0	37.9	41.3	45.4	48.3	56.9
29	14.26	15.57	17.71	19.77	22.5	24.6	27.3	32.5	35.1	39.1	42.6	46.7	49.6	58.3
30	14.95	16.31	18.49	20.6	23.4	25.5	29.3	33.5	36.2	40.3	43.8	48.0	50.9	59.7

2.10. აღდგენადი ელემენტების საიმედოობა

წინა თავებში მოყვანილი საიმედოობის საკითხებში ელემენტის მუშაობის პროცესი განიხილებოდა მის პირველ მტყუნებადღე, ე.ი. როცა ელემენტი ან ზოგადად ობიექტი არააღდგენადი იყო. განვიხილოთ ის მდგომარეობა როცა ელემენტის აღდგენა გათვალისწინებულია კონსტრუქტორული დოკუმენტაციით და შესაბამისად ხდება მისი განახლება, რომელიც შეიძლება სხვადასხვა სახით განხორციელდეს – შეიცვალოს ახლით ან გარემონტდეს ისე, რომ აღდგენილი იქნეს ობიექტის საწყისი თვისებები. შესაბამისად ობიექტი აღდგენადია, თუ მტყუნების შემდეგ აუცილებელ სარემონტო ღონისძიებათა ჩატარების შედეგად მას შეუძლია განაახლოს მუშაობა.

ზოგიერთ შემთხვევაში, როცა ტერმინი „აღდგენა“ ნამუშევარი ობიექტის ახლით შეცვლასაც გულისხმობს, მრავალი პრინციპულად არააღდგენადი ობიექტი შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც აღდგენადი.

აღდგენადი ობიექტის მუშაობის მათემატიკურ მოდელად შეიძლება აღდგენის პროცესი მივიჩნიოთ. თვით აღდგენის პროცესი წარმოადგენს მტყუნებების და შესაბამისი აღდგენების შემთხვევით სიდიდეთა მიმდევრობას, რაც თავის მხრივ შეადგენს ხლომილობათა ნაკადს.

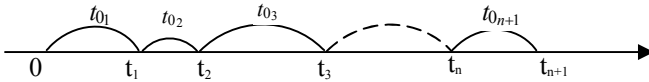
განვიხილოთ არააღდგენადი ობიექტის მუშაობის ერთ-ერთი მოდელი. ვთქვათ ელემენტი მუშაობას იწყებს დროის $t=0$ მომენტისათვის და რაღაც შემთხვევითი დროის – t_1 შემდეგ განიცდის მტყუნებას. შემდეგ ხდება ელემენტის აღდგენა (ამასთან პირობითად ვგულისხმობთ, რომ აღდგენაზე დრო არ იხარჯება), იგი ისევ მუშაობს და t_2 დროის განმავლობაში ისევ გამოდის წყობიდან და ასე მეორდება განუსაზღვრელად.

ვიგულისხმობთ, რომ $F(t)$ შემთხვევითი სიდიდეების $t_0, t_0_2, t_0_3, \dots, t_0_n$ – განაწილების კანონია და სიმბოლურად შეიძლება ასე ჩავწეროთ:

$$F(t) \equiv P(t_{0_n} < t), \quad (2.85)$$

$F(t)$ ფუნქცია იძლევა $t_{0_n} < t$ ხლომილობის ალბათობას, სადაც t_{0_n} ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ნებისმიერი n -ური მონაკვეთის შემთხვევითი სიდიდეა, ხოლო t – მოცემული დრო.

გარდა ამისა, მტყუნების შემთხვევითი სიდიდე შეიძლება დახასიათდეს მტყუნებათა განაწილების სიმკვრივით – $f(t)$, ერთ მტყუნებაზე საშუალო ნამუშევრით – T_0 და დისპერსიით.



ნახ. 2.29. ალდგენადი ობიექტის მუშაობის მოდელი

მტყუნების, ანუ რაც იგივეა, ალდგენის პერიოდები (ნახ.2.29) $t_1 = t_{0_1}$; $t_2 = t_{0_1} + t_{0_2}$; $t_3 = t_{0_1} + t_{0_2} + t_{0_3}$; ... $t_n = t_{0_1} + t_{0_2} + \dots + t_{0_n}$; წარმოადგენს შემთხვევით ნაკადს, რომელსაც მტყუნებათა ნაკადს (ან ალდგენის პროცესს) უწოდებენ.

მტყუნებათა ალდგენის პარამეტრი ერთ მტყუნებაზე ნამუშევართან, მტყუნებამდე საშუალო ნამუშევართან და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობასთან ერთად წარმოადგენს ალდგენადი ელემენტის საიმედოობის ძირითად მაჩვენებლებს.

მტყუნებათა ნაკადის უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებელია $\Omega(t)$ „წამყვანი“ ფუნქცია, რომელიც მტყუნებათა საშუალო $r(t)$ რიცხვის ტოლია t დროის განმავლობაში.

მეორეს მხრივ ცნობილია [5]

$$\Omega(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t), \quad (2.86)$$

სადაც $F_n(t)$ t_1, t_2, \dots, t_n მტყუნებათა მომენტების განაწილების კანონია.

ხშირად $\Omega(t)$ ფუნქციის თვისებათა შესწავლისათვის სარგებლობენ ასეთი დამოკიდებულებითაც [5]:

$$\Omega(t) = F(t) + \int_0^t \Omega(t-t_0) F(t) dt. \quad (2.87)$$

სტატისტიკური შეფასების დროს „წამყვანი“ ფუნქცია ერთი ელემენტისათვის შეიძლება ასე განისაზღვროს:

$$\Omega(t) = M[r(t)], \quad (2.88)$$

სადაც M მათემატიკური ლოდინის სიმბოლოა; $r(t)$ – მტყუნებათა საშუალო რიცხვი t დროის განმავლობაში.

იგივე მტყუნებათა ნაკადის სტატისტიკური შეფასება N რაოდენობის ელემენტებისათვის

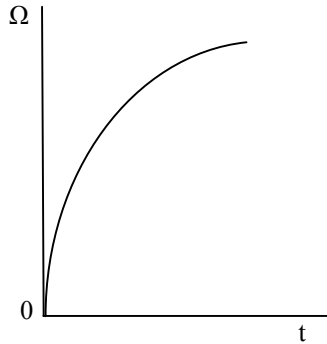
$$\Omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N r_i(t)}{N}, \quad (2.89)$$

სადაც $r_i(t)$ i -ური რაოდენობის ელემენტების მტყუნებათა რიცხვია (N რაოდენობიდან) t დროის განმავლობაში.

„წამყვანი“ ფუნქციის ერთ-ერთი მახასიათებელი გრაფიკი გამოსახულია ნახ.2.29-ზე, ფუნქციის ზრდადობა განპირობებულია ობიექტის ექსპლუატაციის საერთო პირობების გაუარესებით.

„წამყვანი“ ფუნქციის მეშვეობით შეიძლება განისაზღვროს მტყუნებათა საშუალო რიცხვი ნამუშევრის ნებისმიერ t_1, t_2 ინტერვალში:

$$r_2(t_1, t_2) = \Omega(t_2) - \Omega(t_1), \quad (2.90)$$



ნახ. 2.30. მტყუნებათა ნაკადის („წამყვანი“) ფუნქცია

ხოლო ნამუშევარი ერთი ელემენტის მტყუნებაზე t_1 , t_2 ინტერვალში შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებიდან

$$T_0 = \frac{(t_2 - t_1)}{\Omega(t_2) - \Omega(t_1)}. \quad (2.91)$$

ეს უკანასკნელი გამოიყენება როგორც თეორიული, ისე სტატისტიკური შეფასებისათვის.

აღდგენადი ელემენტის საიმედოობის მეორე უმთავრეს მაჩვენებელს წარმოადგენს მტყუნების ნაკადის ინტენსიურობა

$$\omega(t) = \Omega'(t). \quad (2.92)$$

მეორეს მხრივ, $\Omega(t)$ მნიშვნელობათა გათვალისწინებით

$$\omega(t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t), \quad (2.93)$$

სადაც $f_n(t) = F_n'(t)$.

დაბოლოს, $\omega(t)$ -ს სტატისტიკური შეფასება ასე გამოიყურება:

$$\bar{w}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N r_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N r_i(t)}{N \cdot \Delta t}$$

(2.94) $\Omega(t)$ და $w(t)$ ფუნქციების მნიშვნელობები t_0 სიდიდეების განაწილების ორი კანონისათვის მოცემულია ცხრილში 2.3.

მტყუნებათა ნაკადის თვისებათაგან საჭიროა აღინიშნოს შემდეგი: მტყუნებათა რიცხვი დროის ერთეულში მუშაობის ხანგრძლივი პერიოდის მანძილზე უახლოვდება ელემენტის ერთ მტყუნებაზე ნამუშევრის შებრუნებულ სიდიდეს, ე.ი.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\Omega(t)}{t} = \frac{1}{T_0}. \quad (2.95)$$

ცხრილი 2.3

ერთ მტყუნებაზე ნამუშევრის განაწილების კანონი	„წამყვანი“ ფუნქცია $\Omega(t)$	მტყუნებათა ნაკადის ინტენსიურობა $w(t)$
ექსპონენციალური	λt	λ
ნორმალური	$\sum_{n=1}^{\infty} \Phi\left(\frac{1-nt}{\sigma\sqrt{n}}\right)$	$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi n}} \exp\left(-\frac{(t-nt)^2}{2\sigma^2 n}\right)$

ამასთან, მუშაობის ხანგრძლივი პერიოდისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ მიახლოებითი ფორმულით:

$$\Omega(t) \approx \frac{t}{T_0} + \frac{\sigma^2}{2T_0^2} - \frac{1}{2}. \quad (2.96)$$

ელემენტის მუშაობის გარკვეული პერიოდის გასვლის შემდეგ, როცა $f(t) \rightarrow 0$, მტყუნების (აღდგენის) პროცესი დამყარებულ ხასიათს იძენს და მისი ლოკალური მაჩვენებლები აღარ არიან დამოკიდებული დროზე,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \frac{1}{T_0} . \quad (2.97)$$

რაც შეეხება უმტყუნებო მუშაობის ძირითად მაჩვენებელს, რომელიც წარმოადგენს უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობას, იმის ალბათობას, რომ მოცემული ნამუშევრის ინტერვალში ელემენტი არ განიცდის მტყუნებას, მისი სტატისტიკური შეფასება შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$\bar{P}(t) = \frac{N(t)}{N(0)} = 1 - \frac{n(t)}{N(0)} , \quad (2.98)$$

სადაც $N(t)$ იმ ელემენტების რაოდენობაა, რომლებიც t დროისათვის უმტყუნებო მუშაობას განაგრძობენ; $N(0)$ – ელემენტების საერთო რიცხვი დროის საწყის მომენტში; $n(t)$ – იმ ელემენტების რაოდენობა, რომლებმაც t დროისათვის მტყუნება განიცადეს.

2.11. სისტემის საიმედოობის შეფასება

მექანიკური მანქანა-მოწყობილობების საიმედოობის მაჩვენებელთა ნომენკლატურის შერჩევისა და შეფასებისათვის გამოყენებული უნდა იქნეს კრიტერიუმები ან კრიტერიუმების სისტემა, რომელიც ძირითადად ასახავს მანქანის თვისებათა კომპლექსს მათი ფუნქციონირების პროცესში.

სახელმწიფო სტანდარტი ГОСТ 27.002-89 [14], რომელიც მოხსენიებული იქნა წიგნის დასაწყისში, შეიცავს საიმედოობის მრავალ მაჩვენებელს. მანქანათა სხვადასხვა ჯგუფებისათვის საიმედოობის ყველა მაჩვენებელს ერთნაირი მნიშვნელობა არ ენიჭება. არსებული რეკომენდაციების საფუძველზე უმრავლესი მექანიკური მანქანებისათვის პრიორიტეტი ეძლევა და შესაბამისად საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციაში ასახვას პოულობს შემდეგი:

გამა-პროცენტული რესურსი საათებში ან ნამუშევრის სხვა ერთეულებში;

საშუალო რესურსი საათებში ან ნამუშევრის ერთეულებში;

სამსახურის ვადა წლობით;

მზადყოფნის კოეფიციენტი;

ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტი;

ოპერატიული მზადყოფნის კოეფიციენტი.

საიმედოობის მაჩვენებლების ნორმების განსაზღვრა, როგორც წესი, ხდება პირველ კაპიტალურ რემონტამდე, და თუ იგი არ არის გათვალისწინებული, მაშინ – მთელი სამსახურის ვადის ბოლომდე ან ჩამოწერამდე.

კაპიტალური რემონტის შემდეგ მნიშვნელოვნად იცვლება მექანიკური მანქანის ტექნიკური მდგომარეობა, შესაბამისად ირღვევა საიმედოობის მაჩვენებლების ცვალებადობის კანონზომიერებანიც. ამიტომ კაპიტალური რემონტის შემდეგ საიმედოობის მაჩვენებლებს ისევე იხილავენ, როგორც ახალი ნაკეთობის შექმნის დროს.

მექანიკური მანქანების საიმედოობის მაჩვენებელთა შეფასებისათვის პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა ენიჭება ინფორმაციას ობიექტის და მისი ელემენტების თვისებებზე. ინფორმაცია საიმედოობის მაჩვენებლებზე საჭიროა მოპოვებულ იქნეს მანქანა-მოწყობილობების შექმნისა და ექსპლუატაციის ყველა ეტაპზე.

მანქანებისა და მოწყობილობების დაპროექტების პროცესში, როცა იქმნება ახალი პროდუქცია, საიმედოობის მაჩვენებლების პროგნოზირება შესაძლებელია ანალიზური გაანგარიშების მეთოდით. ასეთი სახის გაანგარიშებების საფუძველზე შეირჩევა საიმედოობის მაჩვენებლები და მყარდება მათი კავშირი კონსტრუქციულ, ტექნოლოგიურ და

ექსპლუატაციურ პარამეტრებთან. ყოველივე ეს შესაძლებელია ზემოთ ხსენებულ ცნებებთან დაკავშირებული მოვლენების კანონზომიერებათა შესწავლით.

ძალიან ხშირად მანქანა-მოწყობილობების დამზადების შემდეგ ცნობილი ხდება, რომ მისი საიმედოობის მაჩვენებლები არ შეესაბამება საპროექტოს (უფრო დაბალია).

მანქანა-მოწყობილობის პირველი საცდელი ნიმუშის ფორსირებული გამოცდები აზუსტებს საიმედოობის მაჩვენებლებს, თუმცა მიღებული შედეგები მაინც განსხვავდება სერიული წესით დამზადებული ობიექტის საიმედოობის მაჩვენებლებისაგან, რაც განპირობებულია საცდელი და სერიული ობიექტების დამზადების ტექნოლოგიებს შორის განსხვავებით (ამ ფაქტორის უგულებელყოფა უმრავლეს შემთხვევაში არარეალურია), აგრეთვე ფორსირებული სახის გამოცდების არასრულყოფილებით.

მხოლოდ საექსპლუატაციო გამოცდები საწარმოო პირობებში, ისიც გარკვეული ხანგრძლივობით, იძლევა საშუალებას, შეიკრიბოს საჭირო დონის ინფორმაცია მოცემული ტიპ-ზომის ობიექტის საიმედოობის მაჩვენებლებზე. ამასთან გათვალისწინებული უნდა იქნეს საიმედოობის მაჩვენებლების ურთიერთკავშირი მუშაობის რეჟიმთან და ექსპლუატაციურ პირობებთან.

ასეთ ვითარებაში შეკრებილი მასალები და ინფორმაცია შემდგომი გადამუშავების შემდეგ გვაძლევს დამაჯერებელ შედეგებს მოცემული ტიპ-ზომის ობიექტის საიმედოობის შესახებ.

მანქანა-მოწყობილობის დაპროექტების პროცესში ხდება ობიექტის ელემენტების საიმედოობის მაჩვენებლების პროგნოზირება, დადგენა და დასაბუთება იმგვარად, რომ უზრუნველყოფილი იყოს მისი (ობიექტის) საიმედოობის საერთო დონე მინიმალური დანახარჯებით.

ობიექტის შემადგენელი ელემენტების საიმედოობის მაჩვენებელთა დადგენისათვის საჭიროა შემდეგი სახის საწყისი მონაცემები:

მთელი ობიექტის საიმედოობის ნორმატიული მაჩვენებელი;

ობიექტის სალიმიტო ფასი;

ელემენტის მუშაობის ტიპური პირობები და რეჟიმები;

ჰიპოთეზა პარამეტრების განაწილების კანონზე;

ობიექტის და ელემენტების კონსტრუქციული სქემები.

ობიექტის საიმედოობის შეფასების აუცილებელი პირობაა მისი შემადგენელი ელემენტების საიმედოობის ურთიერთკავშირის ბუნების დადგენა, რისთვისაც, თავის მხრივ, აუცილებელია ობიექტის როგორც სისტემის პირობითად დაყოფა-დანაწევრება ელემენტებად. ამისათვის კი საჭიროა ვხელმძღვანელობდეთ შემდეგი მოსაზრებებით:

1. ობიექტი უნდა დაიყოს ისეთი სახის ელემენტებად, რომ ერთის მტყუნება არ იწვევდეს მეორის საიმედოობის შეცვლას, ე.ი. როცა ერთის მტყუნება დამოუკიდებელია მეორისგან. ასეთი პირობითი დანაწევრება საშუალებას იძლევა გამოყენებული იქნეს შედარებით მარტივი თეორიული აპარატი.

2. ობიექტი შეძლებისამებრ დაიყოს ისეთ ელემენტებად, რომელთა გარემონტება შესაძლებელია ურთიერთდამოუკიდებლად. ასეთი პირობითი დანაწევრება სრულად შეესაბამება აგრეგატულ-კვანძურ დაყოფას, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სარემონტო სამუშაოების დროს.

დასაშვებია ობიექტის პირობითი დაყოფის სხვა პრინციპებიც, მაგალითად ფუნქციური დანიშნულების ნიშნით.

მექანიკური მანქანების ექსპლუატაციის გამოცდილების საფუძველზე მიზანშეწონილია მათი დაყოფა ქვესისტემებად, ქვესისტემებისა –

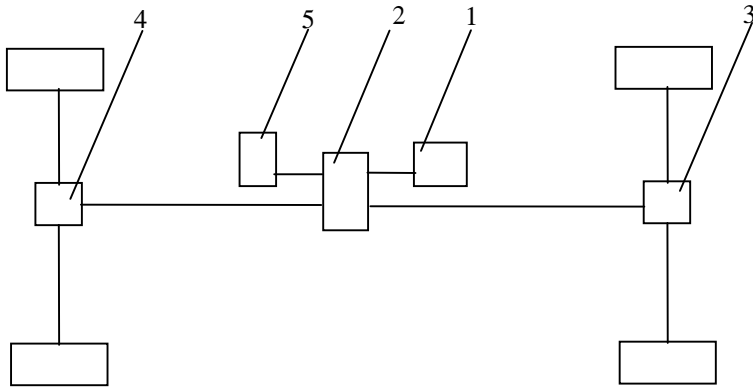
აგრეგატებად, აგრეგატებისა – კვანძებად, კვანძებისა – საამკრებო ერთეულებად და დეტალებად.

მაგალითად, სამშენებლო მანქანებში ქვესისტემებად მიიჩნევა: ძალური დანადგარი ტრანსმისიით, სავალი სისტემა, მუშა მოწყობილობის კომპლექსი, მართვის ელექტრო-, ჰიდრო-, პნევმოსისტემები, მისაბმელი ან ჩამოსაკიდი კომპლექსი.

ნახაზზე 2.31 მოცემულია ტიპური ძალური დანადგარის პრინციპული სქემა. დანადგარი დანაწევრებულია შემდეგი სახის აგრეგატებად: ძრავა 1, სიჩქარის კოლოფი 2, წინა ხიდი 3, უკანა ხიდი 4, მუშა ორგანოს ამძრავი 5.

აგრეგატად მიჩნეულია მანქანა-მოწყობილობის ნაწილი, რომელიც შეადგენს ერთიან კონსტრუქციულ კომპლექსს და ბაზირებულია საერთო კორპუსულ სადგარზე. აგრეგატს აქვს დამოუკიდებელი დასრულებული მუშა ფუნქცია, მაგალითად, რომელიმე ტიპის ძრავა, სიჩქარის კოლოფი და ა.შ.

კვანძად მიჩნეულია ურთიერთშეუღლებული რამდენიმე დეტალი, რომელთაც აქვთ რამდენიმე შეუღლების ზედაპირი, მაგალითად გორვის და სრიალის საკისრები, საყრდენი და დამჭერი გორგოლაჭები, დამჭიმი მექანიზმი, ქურო და ა.შ.



ნახ. 2.31. სამშენებლო მანქანის ტიპური ძალური დანადგარის პრინციპული სქემა

საიმედოობის მაჩვენებლების გაანგარიშებისათვის ძირითადად იყენებენ შემდეგ მეთოდებს:

ობიექტის საიმედოობის შეფასება აპრიორული (ლათინური სიტყვიდან *apriori* – წარსული) ინფორმაციის საფუძველზე;

მასიური მომსახურების თეორიის მეთოდი;

ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის შემთხვევით შეცვლის პროცესი სტატისტიკური მოდელირების (მონტე-კარლოს) მეთოდი.

ობიექტის საიმედოობის აპრიორული ინფორმაციის

საფუძველზე შეფასების მეთოდი

მეთოდი დაფუძნებულია ალბათობის თეორიის ალბათობათა შეკრების და გამრავლების თეორემების გამოყენებაზე. მეთოდით ფართოდ სარგებლობენ საიმედოობის ისეთი მაჩვენებლის შეფასების დროს, როგორცაა უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა. ამ მაჩვენებლის განსაზღვრის დროს აუცილებელია გათვალისწინებული იქნეს ობიექტის როგორც თანდათანობით მტყუნების პროცესები (ცვეთა, დაღლილობა, „დაბერება“),

ისე უცაბედ მტყუნებათა მოვლენები, რომელთა წარმოქმნის წყაროდ მიჩნეულია: კონსტრუქციული უზუსტობა, დამზადების ტექნოლოგიური ხარვეზი, ექსპლუატაციის წესების დარღვევა და ა.შ.

თუ ვიგულისხმებთ, რომ მტყუნებათა თითოეული ზემოთ აღნიშნული სახე დამოუკიდებელი ხდომილობაა, მაშინ ალბათობათა გადამრავლების თეორემის საფუძველზე უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობის ფორმულა (საიმედობის ფუნქცია) თითოეული ელემენტისათვის შეიძლება ასე იქნეს წარმოდგენილი:

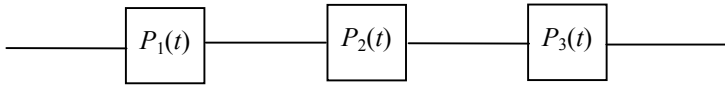
$$P(t) = P'(t) \cdot P''(t) \quad (2.99)$$

სადაც $P'(t)$ უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობაა თანდათანობით მტყუნების პროცესის დროს; $P''(t)$ – უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობა უცაბედი მტყუნებების დროს.

მეთოდის მოთხოვნათა შესაბამისად ობიექტი-სისტემა წარმოგვიდგება, როგორც ურთიერთდამოუკიდებელ ელემენტთა ერთობლიობა. მუშაობის პროცესი განიხილება ობიექტის პირველ მტყუნებამდე. იმ შემთხვევაში, როცა ერთი ელემენტის მტყუნება იწვევს მთელი სისტემის მტყუნებას, პირობითად ელემენტებს ერთმანეთთან მიმდევრობით აერთებენ (ნახ.2.32), ხოლო ფორმულა, რომელიც გამოსახავს სისტემის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობას ელემენტების მიმდევრობითი შეერთების დროს, წინასწარ განსაზღვრული, მოცემული ნამუშევრის პერიოდში, შემდეგნაირად გამოისახება:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2.100)$$

სადაც $P_i(t)$ i -ური ელემენტის უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობაა.



ნახ. 2.32. ობიექტის ელემენტების მიმდევრობით შერთვის საიმედოობის მოდელი

აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ თუ ელემენტის მტყუნების განაწილება ემორჩილება ექსპონენციალურ კანონს, სისტემის განაწილების კანონიც ემორჩილება ექსპონენციალურს, ამასთან, პარამეტრი ტოლია

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (2.101)$$

სადაც λ_i i -ური ელემენტის მტყუნების ინტენსიურობა.

ბუნებრივია, ერთ მტყუნებაზე მთელი სისტემის საშუალო ნამუშევარი გამოითვლება ასე:

$$\bar{t}_{\text{საშ}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.102)$$

სისტემის მტყუნების ალბათობა T ნამუშევარის პერიოდში დაახლოებით ასე განისაზღვრება (შედეგი მით უფრო ზუსტია, რაც უფრო ახლოსაა $P(t)$ t -თან, ანუ $F(t) \ll 1$):

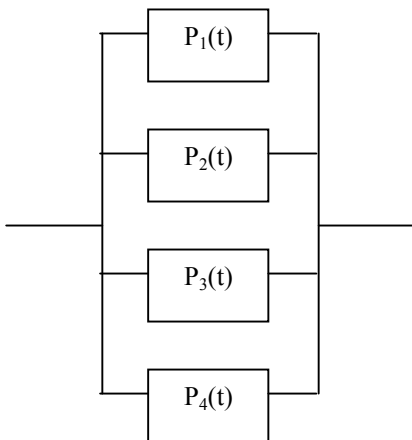
$$F(t) = F_1(t) + F_2(t) + \dots + F_n(t) = \sum_{i=1}^n F_i(t), \quad (2.103)$$

სადაც $F_i(t)$ i -ური ელემენტის მტყუნების ალბათობაა.

განვიხილოთ ისეთი სისტემის საიმედოობის მაჩვენებლები, როდესაც იგი წყობიდან გამოდის მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა მტყუნებას განიცდის მასში შემავალი ყველა ელემენტი. ამ პირობებში ელემენტებს პირობითად პარალელურად აერთებენ (ნახ. 2.33), ხოლო სისტემის მტყუნების ალბათობა მნიშვნელოვანწილად მცირდება თითოეული

ელემენტის მტყუნების ალბათობასთან შედარებით და გამოითვლება, როგორც შემადგენელი ელემენტების შესაბამისი მარჯვენალების ნამრავლი:

$$F(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t). \quad (2.104)$$



ნახ. 2.33. ობიექტის ელემენტების პარალელურად შეერთების მოდელი

შესაბამისად სისტემის უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობა ასე გამოითვლება:

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)). \quad (2.105)$$

განხილულ სქემას რეალურ მანქანა-მოწყობილობებში შეესაბამება სარეზერვო ელემენტების ჩართვა, როცა ერთის მტყუნების დროს მეორე ელემენტი თავის თავზე იღებს პირველის ფუნქციებს და სისტემა ისევ განაგრძობს მუშაობას.

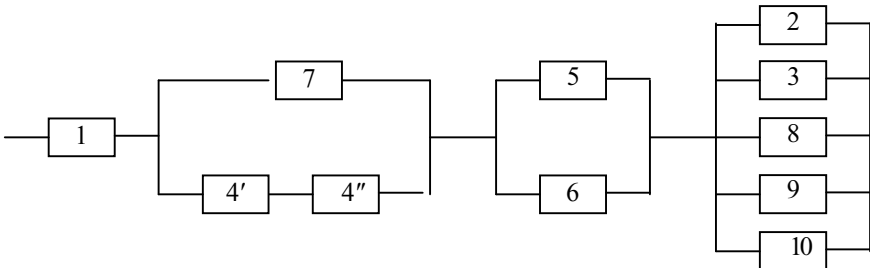
მანქანა-მოწყობილობის მექანიკურ სისტემებში თითქმის ყველგან გამოიყენება სქემები, რომლებიც მიმდევრობით შეერთებას შეესაბამებენ,

რაც ძირითადად განპირობებულია ეკონომიკური მოსაზრებებით და მოთხოვნებით მანქანის კომპაქტურობაზე.

სქემებს, ეგრეთ წოდებული პარალელური ჩართვით, იყენებენ ელექტრულ, ჰიდრაულიკურ და პნევმატიკურ სისტემებში.

რიგ მანქანებსა და მოწყობილობებში, სადაც ყველა ზემოთ აღნიშნული სისტემაა გამოყენებული, შეიძლება ეფექტურად იქნეს გამოყენებული სქემები შერეული შეერთებებით. ნახაზზე 2.34 გამოსახულია ერთ-ერთი ტიპური საიმედოობის სტრუქტურული სქემის ვარიანტი შერეული შეერთებით.

დღეს, ტიპური, არასპეციფიკური მანქანა-მოწყობილობის დაპროექტების ეტაპზე, საიმედოობის მაჩვენებლების გაანგარიშების დროს ფართოდ იყენებენ სტრუქტურულ სქემებს, რომლებიც მოცემულია [25]-ში.



ნახ. 2.34. ობიექტის საიმედოობის სტრუქტურული სქემის ვარიანტი შერეული შეერთებით

მაგალითი. განისაზღვროს მანქანის უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობა $t = 3000$ სთ განმავლობაში სტრუქტურული სქემით, რომელიც მოცემულია ნახაზზე 2.34.

სტრუქტურულ სქემებში პირობითად შემოღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

ელემენტისათვის 1 უმტყუნებლობის ალბათობა 3000 სთ-ის შემდეგ აპრიორული ინფორმაციის საფუძველზე შეადგენს 0,91, ე.ი. $P_1=0,91$;

$$\text{ელემენტისათვის 2} - P_2 = 0,035;$$

$$\text{ელემენტისათვის 3} - P_3 = 0,24;$$

$$\text{ელემენტისათვის 4} - P_4 = P'_4 \cdot P''_4 = 0,32;$$

$$\text{ელემენტისათვის 5} - P_5 = 0,75;$$

$$\text{ელემენტისათვის 6} - P_6 = 0,18;$$

$$\text{ელემენტისათვის 7} - P_7 = 0,44;$$

$$\text{ელემენტისათვის 8} - P_8 = 0,20;$$

$$\text{ელემენტისათვის 9} - P_9 = 0,035;$$

$$\text{ელემენტისათვის 10} - P_{10} = 0,26.$$

მთელი სისტემის უმტყუნებოდ მუშაობის ალბათობა სქემის გათვალისწინებით

$$P(t) = P_1[1-(1-P_7)(1-P'_4 \cdot P''_4)] \cdot [1-(1-P_5)(1-P_6)] \cdot [1-(1-P_2)(1-P_3)(1-P_8)(1-P_9)(1-P_{10})] = 0,91[1-(1-0,44)(1-0,32)] \cdot [1-(1-0,75)(1-0,18)] \cdot [1-(1-0,035)(1-0,24)(1-0,20)(1-0,035)(1-0,26)] = 0,25.$$

მასიური მომსახურების თეორიის მეთოდი. მეთოდი დაფუძნებულია მასიური მომსახურების თეორიაზე [17], [12] და გამოიყენება აღდგენადი ელემენტებისათვის. საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრა აღნიშნული მეთოდით ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

სისტემა დანაწევრდება ისეთ შემადგენელ ნაწილებად, რომელთა საიმედოობის მაჩვენებლები აპრიორულადაა ცნობილი;

განისაზღვრება სისტემის ყველა შესაძლებელი ტექნიკური მდგომარება (მუშა, არამუშა და გარდამავალი);

გამოისახება სისტემის შესაძლო ცვლილებების სქემა;

განისაზღვრება თითოეულ მდგომარეობაში სისტემის ყოფნის ალბათობა;

შედგება დიფერენციალური განტოლებები, რომლებიც აღწერენ სისტემის მდგომარეობის ცვლილებათა ალბათობას მომსახურების პირობების მიხედვით;

ხდება მიღებული დიფერენციალური სისტემის ინტეგრირება რომელიმე ცნობილი მეთოდით, რის შედეგადაც მიიღება საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრის ფორმულა.

აღნიშნული მეთოდი გამოიყენება საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის მანქანებისა და დამოუკიდებლად ფუნქციონირებადი ელემენტების დაპროექტების სტადიაზე.

სტატისტიკური მოდელირების (მონტე-კარლოს) მეთოდი. ისევე როგორც ზემოთ აღნიშნული მეთოდი, ეს მეთოდიც დაფუძნებულია სისტემის ფუნქციონირების პროცესის მათემატიკურ გამოსახვაზე [12], [17].

მანქანა-მოწყობილობის ელემენტების საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრას, სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის ცვლილებების დიფერენციალური განტოლებების სისტემის ანალიზის საშუალებით, საფუძვლად უდევს ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევის შედეგები.

სტატისტიკური მოდელირების (მონტე-კარლოს მეთოდი) არსი ისაა, რომ საიმედოობის მაჩვენებლების შეფასება წარმოებს მათემატიკური მოდელის მრავალჯერადი გამოცდის შედეგად. ამის გარდა, სტატისტიკური მოდელირების მეთოდი საშუალებას იძლევა განისაზღვროს საიმედოობის მაჩვენებლები მანქანის სტრუქტურული აგებულებისა და სარემონტო ციკლთან ურთიერთდამოკიდებულებაში, შესაბამისად მოხდეს მანქანა-

მოწყობილობის ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის პროცესების ოპტიმიზაცია.

სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის ძირითადი მახასიათებელი თვისება მდგომარეობს ეგმ-ის ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობაში, კერძოდ, მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელია საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრა იმის მიუხედავად, თუ შემთხვევითი სიდიდე განაწილების რომელი კანონის სახითაა მოცემული.

საიმედოობის მაჩვენებლების შეფასება ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

აწარმოებენ თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევას შესაფასებელი ელემენტის ექსპლუატაციის პროცესში;

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების საფუძველზე წარმოებს ექსპლუატაციის პროცესის მათემატიკური აღწერა;

დგინდება ანალიზური დამოკიდებულებანი სისტემის საიმედოობის მაჩვენებლებსა და ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრებს შორის;

განისაზღვრება მანქანა-მოწყობილობის საიმედოობის მაჩვენებლები ელემენტის ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრების ცვლილების შესაბამისად.

საიმედოობის შეფასება მეთოდებით, რომლებიც დამყარებულია სისტემის ელემენტის ტექნიკური მდგომარეობის ცვლილების და პროცესის კვლევის შედეგებზე, ეფექტურად გამოიყენება ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტების დროს.

2.12. მექანიკური მოწყობილობის და მისი ელემენტების გამოცდები საიმედოობაზე

გამოცდის მიზანი. მექანიკური მანქანა-მოწყობილობის შექმნის პროცესში (იგულისხმება კონსტრუირებისა და დამზადების სტადიები) საჭირო ხდება საიმედოობის მაჩვენებლების შეფასება ნაკეთობისა და მისი ელემენტების ნიმუშების სხვადასხვა სახის გამოცდის საფუძველზე. საიმედოობაზე გამოცდებში იგულისხმება გამოცდის ობიექტის საიმედოობის თვისებათა ზარისხობრივი და რაოდენობრივი შეფასება ექსპერიმენტულად, რომელიც წარმოგვიდგება როგორც შედეგი საქსპლუატაციო გარემოს ზემოქმედებისა ობიექტზე მისი ფუნქციონირებისა თუ მოდელირების დროს. ობიექტის გამოცდების სისტემას შეადგენს გამოცდების საშუალებები ტექნიკურ-მატერიალური ბაზისა და შემსრულებლების ჩათვლით, რომლებიც მოქმედებენ გამოცდებისათვის დამტკიცებული პროგრამებითა და წესებით.

გამოცდის მიზანი მდგომარეობს კონსტრუირების ან დამზადების დეფექტების აღმოჩენაში (დეფექტებად იწოდება კონსტრუირებისა თუ დამზადების პროცესის არასრულყოფილება, რაც ამცირებს ობიექტის ეფექტურობას).

დეფექტების აღმოჩენის საჭიროება მოითხოვს სხვადასხვაგვარ გარემოში საქსპლუატაციო პირობების შექმნას. სწორედ ეს გარემოება განაპირობებს სხვადასხვაგვარი გამოცდის აუცილებლობას, რომლებიც უზრუნველყოფენ გამოცდების საერთო პროგრამის ეფექტურობას.

საიმედოობაზე გამოცდებს განასხვავებენ სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით.

გამოცდების სახეები. საიმედოობაზე (და საერთოდაც) გამოცდები დანიშნულების მიხედვით შეიძლება იყოს: შეფასებითი, საკონტროლო და განსაზღვრითი.

შეფასებითი გამოცდები ტარდება ნაკეთობის კონსტრუირების სტადიაზე ნაკეთობის ან მისი ელემენტების საიმედოობის მაჩვენებლების წინასწარი შეფასებისათვის. ასრულებს მას შემსრულებელი – დამპროექტებელი ორგანიზაცია.

საკონტროლო გამოცდები ტარდება მანქანა-მოწყობილობისა და მისი შემადგენელი ელემენტების ხარისხისა და საიმედოობის მაჩვენებლების კონტროლისათვის. ასეთი სახის გამოცდებს აწარმოებს ქარხანა-დამამზადებელი დამპროექტებელი ორგანიზაციის უშუალო მონაწილეობით. საკონტროლო გამოცდა შეიძლება იყოს: წინასწარი, მისაღები, ტიპური, პერიოდული.

ნახაზებზე 2.35, 2.36 სქემატურად მოცემულია სხვადასხვაგვარი სახის გამოცდა ნაკეთობის შექმნისა და წარმოების სხვადასხვა სტადიებზე მათი დანიშნულებისა და კონკრეტული ფუნქციური როლის მიხედვით.

წინასწარი გამოცდები ტარდება, რათა შემოწმდეს მანქანის საცდელი ნიმუშის ან მისი შემადგენელი ელემენტების საკონტროლო მაჩვენებლების, მათ შორის საიმედოობის შესაბამისობა ტექნიკურ დავალებასა და კონსტრუქტორულ დოკუმენტაციასთან. წინასწარი გამოცდების დასკვნის ოქმის საფუძველზე ქარხანა-დამამზადებელ და შემსრულებელ-დამპროექტებელი ორგანიზაცია ღებულობენ გადაწყვეტილებას – ნაკეთობა წარდგენილი იქნას მისაღებ გამიცდებზე.

მისაღები გამოცდები მანქანა-მოწყობილობის დანიშნულებისა და მნიშვნელობის მიხედვით შეიძლება იყოს: საუწყებო, უწყებათშორისი და

სახელმწიფო. სამუშაოს ხელმძღვანელობს შესაბამისად საუწყებო, უწყებათშორისი და სახელმწიფო კომისიები.

მისაღები გამოცდების მიზანია ნაკეთობის საცდელი ნიმუშის ხარისხისა და კერძოდ, საიმედოობის ყოველმხრივი შეფასება, ნაკეთობის ყველა მაჩვენებლების შესაბამისობა ტექნიკურ დავალებასთან, სახელმწიფო სტანდარტებთან და ტექნიკურ დოკუმენტაციასთან. მისაღები კომისია შესაბამისი აქტისა და ოქმის საფუძველზე იძლევა ნებართვას, დაიწყოს ნაკეთობის წარმოება ან ნაკეთობა გადაეცეს შესაბამის ორგანიზაციას ექსპლუატაციაში ჩასაშვებად.

ტიპურ გამოცდებს ატარებენ საცდელი პარტიის ნიმუშებზე მას შემდეგ, რაც ნაკეთობა კორექტირებული იქნება მისაღები გამოცდების შედეგების მიხედვით. ამასთან უნდა მოხდეს საიმედოობის მაჩვენებლების შემოწმება და სხვა ღონისძიებათა ეფექტურობის შეფასება, როცა გამოცდის ობიექტები – საცდელი პარტიის ნიმუშები დამზადებულია საწარმოო ტექნოლოგიური მოწყობილობების გამოყენების მეშვეობით.

პერიოდულ გამოცდებს აწარმოებენ სერიული (მასიური) ნაკეთობის ნიმუშებზე მათი მაჩვენებლების ტექნიკურ დოკუმენტაციასთან შესაბამისობის შემოწმებისათვის.

განსაზღვრითი გამოცდები ტარდება საიმედოობის მაჩვენებლებისა და ნაკეთობის ხარისხის სხვა მაჩვენებლების საჭირო სიზუსტით განსაზღვრის მიზნით მთლიანი საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციის, საცდელი პარტიის და პროდუქციის სერიის გამოშვებათა სტადიებზე. განსაზღვრითი გამოცდები შეიძლება იყოს შემდეგი დანიშნულების: საკვლევი, საზღვრული, დამყვანი და საატესტაციო.

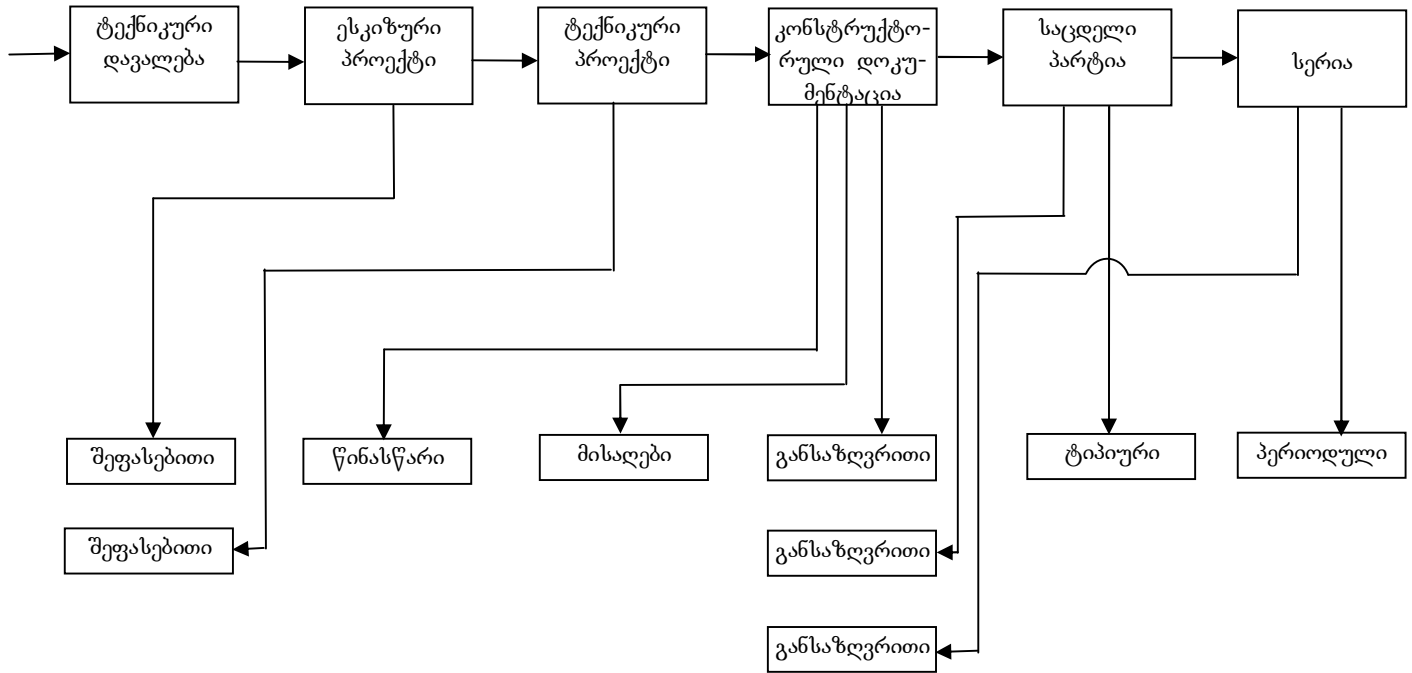
საიმედოობის თვალსაზრისით მექანიკური მანქანა-მოწყობილობისათვის და მისი ელემენტებისათვის უმნიშვნელოვანესია ხანგამძლეობის მაჩვენებლის განსაზღვრისათვის რესურსული გამოცდები.

გამოცდების ჩატარების წესები და პირობები, პერიოდულობა, ხანგრძლივობა, ნიმუშების საჭირო რიცხვი განსაზღვრული უნდა იყოს სტანდარტებით, ტექნიკური პირობებით და გამოცდების შესაბამისი პროგრამებით.

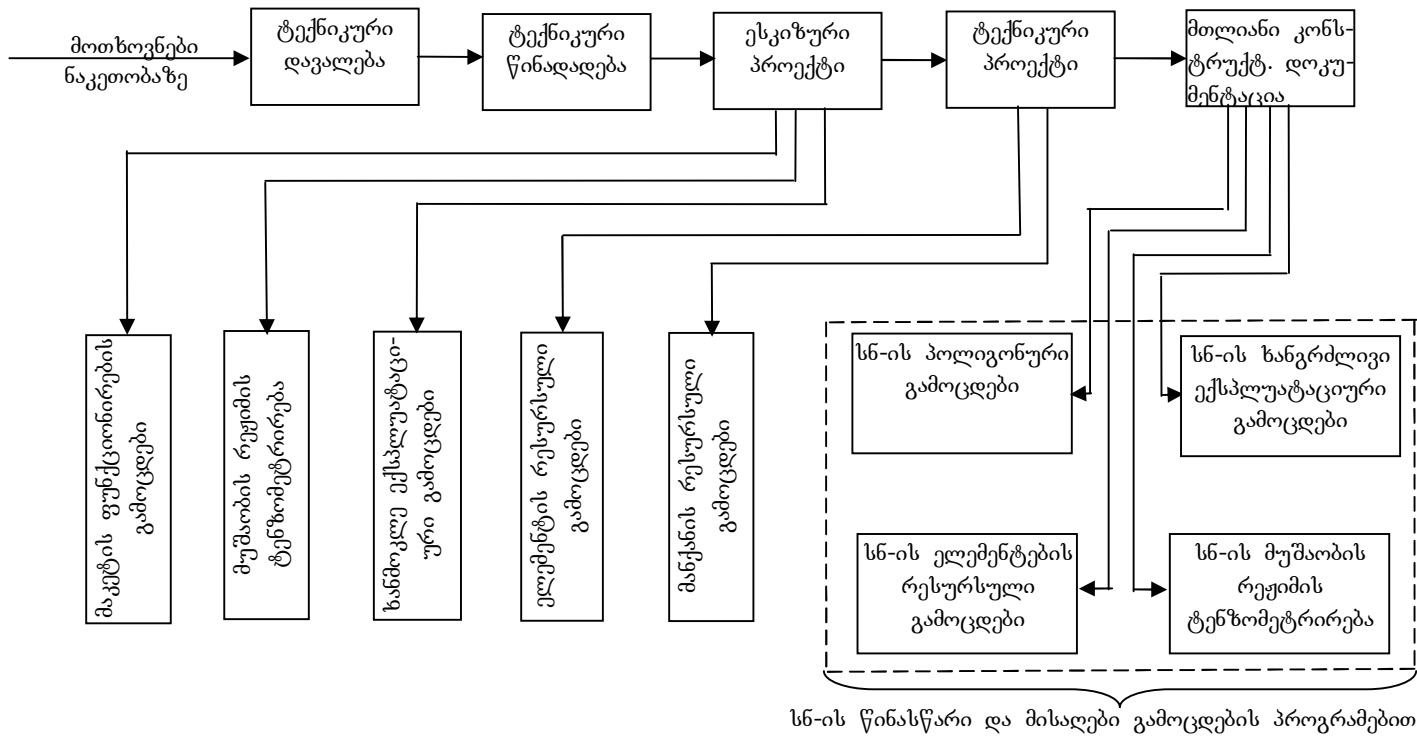
ხანგრძლივობის მიხედვით განასხვავებენ ნორმალურ, დაჩქარებულ და ფიზიკური მოდელირებით გამოცდებს.

ნორმალური გამოცდები უზრუნველყოფს საჭირო ინფორმაციის მიღებას მოცემული სიზუსტით იგივე ვადებში, როგორც შესაძლებელი იყო მიგველო მანქანის ჩვეულებრივ საექსპლუატაციო რეჟიმში მუშაობისას. ამასთან, მეთოდი ხასიათდება რიგი ნაკლოვანებებით: ექსპერიმენტის სიძვირით, შრომატევადობითა და ხანგრძლივობით, გამოცდების მოწყობის ორგანიზაციული სირთულით, მანქანათა ერთობლივი გამოცდის დროს იდენტური პირობების დაცვის სიძნელით.

დაჩქარებული გამოცდების მეთოდი უზრუნველყოფს საჭირო ინფორმაციის მიღებას შემცირებულ ვადებში, საექსპლუატაციო რეჟიმებთან შედარებით. ექსპერიმენტის ვადების შემცირება შესაძლებელია გამოცდის რეჟიმების ფორსირებით, კერძოდ, პარამეტრების – სიჩქარის, დატვირთვის, ტემპერატურის, სინესტის, აგრესიული გარემოს კონცენტრაციის გადაანგარიშებით. აღნიშნული იწვევს ისეთი პროცესების ინტენსიფიკაციას, როგორებიცაა: ცვეთა, დაღლილობა, კოროზია. ისინი თავის მხრივ იწვევენ დაზიანებებს და მტყუნებებს შემჭიდროებულ ვადებში, ე. ი.



ნახ. 2.35. ნაკეთობის შექმნის პროცესის ძირითადი ეტაპებისა და შესაბამისი გამოცდების მოდელი



ნახ. 2.36. ნაკეთობის შექმნის და წარმოების პროცესის ძირითადი ეტაპები და შესაბამისი გამოცდების მოდელი

შესაძლებელი ხდება ექსპერიმენტის მიმდინარეობის (მანქანის გამოცდების) ინტენსიფიკაცია.

დაჩქარებული გამოცდები წარმოებს ან ლაბორატორიულ პირობებში ან პოლიგონზე. ამის გამო მის ძირითად ნაკლად მიჩნეულია საწარმოო პირობების სრული შესაბამისობის განხორციელების შეუძლებლობა. შედეგად მიღებული ინფორმაცია ხასიათდება ნაკლები სიზუსტით. მიუხედავად ამისა, აღნიშნული მეთოდი ფართოდ გამოიყენება საინჟინრო პრაქტიკაში – განსაკუთრებით შეფასებითი გამოცდების დროს.

ფიზიკური მოდელირების მეთოდით გამოცდები დაფუძნებულია მსგავსების თეორიაზე და უკანასკნელ ხანს იგი ფართოდ იკიდებს ფეხს მეცნიერებაში, კერძოდ, მანქანის და მისი ელემენტების საიმედოობის მარკენებლების კვლევის დროს. მეთოდი ემყარება იმ პროცესების ფიზიკური არსის შემეცნებას, რომლებიც მიმდინარეობს მანქანის ექსპლუატაციის დროს. ფიზიკური მოდელირების მეთოდი კარგად უზრუნველყოფს ექსპერიმენტის შესაბამისობას საექსპლუატაციო რეჟიმებთან მათი საფუძვლიანი დასაბუთების წყალობით. მათოდის გამოყენების შედეგად შესაძლებელი ხდება ექსპერიმენტის ხანგრძლივობის მნიშვნელოვნად შემცირება, ამასთან, მცირდება ექსპერიმენტის თვითღირებულება.

საბოლოო შედეგის მიხედვით გამოცდები შეიძლება იყოს მრღვევი და არამრღვევი. ობიექტის მრღვევ გამოცდად მიჩნეულია ისეთი სახის გამოცდა, როცა იგი უვარგისია შემდგომი ექსპლუატაციისათვის, ხოლო არამრღვევი გამოცდის შედეგად ობიექტის ექსპლუატაცია კვლავ შესაძლებელია. მექნიკური მანქანა-მოწყობილობებისა და მათი ელემენტების საკონტროლო გამოცდები წარმოადგენს არამრღვევ გამოცდებს, ხოლო

განსაზღვრითი გამოცდები შესაძლებელია იყოს როგორც მრღვევი, ისე არამრღვევი.

ზოგიერთი საკონტროლო და განსაზღვრითი გამოცდის ორგანიზებისათვის საინჟინრო პრაქტიკის დღევანდელ ეტაპზე მექანიკური მანქანა-მოწყობილობის ჯგუფის გამოცდებისათვის ფართოდ იყენებენ ერთჯერადი არჩევის მეთოდს. ამ მეთოდის არსი ისაა, რომ ზდება ამა თუ იმ მაჩვენებელთა შეფასება რალაც გარკვეული კონტიგენტის ობიექტებისათვის. გამოცდებისათვის შერჩეული ობიექტების რიცხვი და გამოცდების ხანგრძლივობა წინასწარ გაიანგარიშება და იგი ძირითადად დამოკიდებულია ნაკეთობათა საერთო რიცხვზე და დასადგენი მაჩვენებლის ხასიათზე, მაგალითად, პასუხისმგებლობაზე ექსპერიმენტის ჩატარების სირთულეზე და ა.შ.

ერთჯერადი არჩევის მეთოდის გამოყენება პრაქტიკაში მოსახერხებელია და მისით ხშირად სარგებლობენ საიმედოობის მაჩვენებლების შეფასების დროს.

მანქანა-მოწყობილობის გამოცდების პროცესი ზოგადად შედგება შემდეგი ტიპური ეტაპებისაგან:

- გამოცდების მიზანი და ამოცანა;
- ობიექტის ექსპლუატაციაში მუშაობის რეჟიმების შესწავლა, კვლევა;
- ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის შეცვლის პროცესის თეორიული კვლევა;
- გამოსაცდელი ექსპერიმენტული სტენდის შემუშავება და დამზადება;
- ექსპერიმენტის დაგეგმვა, გამოცდების პროგრამების შემუშავება და დამტკიცება;
- ექსპერიმენტების ჩატარება;
- მიღებული შედეგების სტატისტიკური დამუშავება;

მიღებული შედეგების გაანალიზება და დასკვნების გამოტანა;

გამოცდების გეგმა-პროგრამები. ყველა ტექნიკური ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდისათვის ნაკეთობის სახისა და დასმული ამოცანის შესაბამისად ხელმძღვანელობენ ქვემოთ მოყვანილი აღნიშვნებითა და პროგრამებით [14].

1. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამის [NUT]*- არსი მდგომარეობს შემდეგში:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. წყობიდან გამოსული ობიექტები არააღდგენადია და მტყუნების შემდეგ არ ხდება მათი შეცვლა. გამოცდები წყდება განსაზღვრული T დროის გასვლის (გარკვეული ნამუშევარის) შემდეგ თითოეულ უმტყუნებოდ მომუშავე ობიექტზე.

2. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – [NUTr]:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. წყობიდან გამოსული ობიექტები არააღდგენადია და მტყუნების შემდეგ არ ხდება მათი შეცვლა. გამოცდები წყდება. მას შემდეგ, როცა წყობიდან გამოსული ობიექტების რაოდენობამ მიაღწია r რიცხვს (როცა $r=N$, მაშინ მიიღება პროგრამა [NUN]).

3. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – [NU(r,T)]:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. წყობიდან გამოსული ობიექტები არააღდგენადია და მტყუნების შემდეგ არ ხდება მათი შეცვლა. გამოცდები წყდება მას შემდეგ, რაც წყობიდან

* ასობით U, R, M აღნიშნულია გამოცდების გეგმა-პროგრამებში ობიექტის აღდგენის თუ არააღდგენის ხარისხი და ხასიათი. კერძოდ:

U – პირობები, როცა ობიექტი მტყუნების შემდეგ არააღდგენადია და არ ხდება მისი შეცვლა;

R – პირობები, როცა ობიექტი არააღდგენადია, მაგრამ შეიძლება შეცვლა მტყუნების შემდეგ;

M – ობიექტი მტყუნების შემდეგ აღდგენადია.

გამოსული ობიექტების რაოდენობამ მიაღწია r რიცხვს ან T დროის გასვლის (ნამუშევარის შესრულების) შემდეგ, იმის მიხედვით, თუ რომელი პირობა შესრულდება უფრო ადრე.

4. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – $[NRT]^*$:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. გათვალისწინებულია წყობიდან გამოსული ობიექტების შეცვლა ახლით. გამოცდები წყდება მას შემდეგ, რაც თითოეულმა იმ N რაოდენობის ობიექტებიდან მოცემულ პოზიციაზე გაიარა T გამოცდების ვადა (შეასრულა ნამუშევარი).

5. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – $[NRr]$:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. გათვალისწინებულია წყობიდან გამოსული ობიექტების შეცვლა ახლით. გამოცდები წყდება მას შემდეგ, რაც წყობიდან გამოსული ობიექტების ჯამურმა რაოდენობამ ყველა პოზიციაზე მიაღწია r რიცხვს.

6. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – $[NR(r,T)]$:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. გათვალისწინებულია წყობიდან გამოსული ობიექტების შეცვლა ახლით. გამოცდები წყდება მას შემდეგ, რაც წყობიდან გამოსული ობიექტების ჯამურმა რაოდენობამ ყველა პოზიციაზე მიაღწია r რიცხვს ან მას შემდეგ, რაც თითოეულმა იმ N რაოდენობის ობიექტებიდან მოცემულ პოზიციაზე გაიარა T გამოცდების ვადა (შეასრულა ნამუშევარი), იმის მიხედვით, თუ რომელი პირობა შეასრულა უფრო ადრე.

7. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – $[NMT]$:

* ამ შემთხვევისათვის თითოეულს იმ N რაოდენობის ობიექტიდან აქვს თავისი განსაზღვრული პოზიცია (სტენდი, გამოსაცდელი პოლიგონი და ა.შ.) და გამოცდების ხანგრძლივობის, T ანათვლების აღება ხდება იმ პოზიციების მიმართ, იმის მიუხედავად, თუ ობიექტების რა რაოდენობის შეცვლა მოხდა უკანასკნელზე.

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. გათვალისწინებულია თითოეული მტყუნების შემდეგ ობიექტის აღდგენა. თითოეული ობიექტის გამოცდა გრძელდება T გამოცდების ვადის დამთავრებამდე (ნამუშევარის შესრულებამდე).

8. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – $[NMT_{\Sigma}]$:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. გათვალისწინებულია თითოეული მტყუნების შემდეგ ობიექტის აღდგენა. გამოცდები წყდება მას შემდეგ, როცა ამოიწურება ყველა ობიექტის T_{Σ} ჯამური გამოცდების ვადა (შესრულება ნამუშევარი).

9. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – $[NMr]$:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. გათვალისწინებულია თითოეული მტყუნების შემდეგ ობიექტის აღდგენა. გამოცდები წყდება მას შემდეგ, როცა ყველა ობიექტზე მტყუნებათა ჯამური რაოდენობა მიაღწევს r რიცხვს.

10. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამის – $[NM(rT_{\Sigma})]$:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. გათვალისწინებულია თითოეული მტყუნების შემდეგ ობიექტის აღდგენა. გამოცდები წყდება მას შემდეგ, როცა ყველა ობიექტზე მტყუნებათა ჯამური რაოდენობა მიაღწევს r რიცხვს ან მას შემდეგ, რაც ამოიწურება ყველა ობიექტის T_{Σ} ჯამური გამოცდების ვადა (შესრულება ნამუშევარი), იმის მიხედვით, რომელი პირობა შესრულება უფრო ადრე.

11. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა –

$$[NU(r_1, n_1), (r_2, n_2), \dots, (r_{k-1}, n_{k-1}), r_k]:$$

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. წყობიდან გამოსული ობიექტები არაა აღდგენილი და მტყუნების შემდეგ არ ხდება მათი შეცვლა. r რაოდენობის მტყუნების შემდეგ გამოცდებიდან

ხსნიან n_1 რაოდენობის უმტყუნებოდ მომუშავე ობიექტებს, r_2 რაოდენობის მტყუნების შემდეგ გამოცდებიდან ხსნიან n_2 რაოდენობის უმტყუნებოდ მომუშავე ობიექტებს და ა.შ. გამოცდებს წყვეტენ r_k რაოდენობის მტყუნების შემდეგ.

12. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა –
 $[NU(T_1, n_1), (T_2, n_2), \dots, (T_{k-1}, n_{k-1}), T_k]$:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. წყობიდან გამოსული ობიექტები არააღდგენადია და მტყუნების შემდეგ არ ხდება მათი შეცვლა. T_1 დროის გასვლის (ნამუშევარის შესრულების) შემდეგ გამოცდებიდან იხსნება n_1 რაოდენობის უმტყუნებოდ მომუშავე ობიექტები (როცა n_1 ნაკლებია უმტყუნებოდ მომუშავე ობიექტების რაოდენობაზე, წინააღმდეგ შემთხვევაში გამოცდები უნდა შეწყდეს) – და ა.შ. გამოცდებს წყვეტენ T_k დროის ამოწურვის (ნამუშევარის შესრულების) შემდეგ.

13. ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამა – $[NUz]$:

გამოცდებს ერთდროულად ექვემდებარება N რაოდენობის ობიექტი. წყობიდან გამოსული ობიექტები არააღდგენადია და მტყუნების შემდეგ არ ხდება მათი შეცვლა. თითოეული ობიექტი გამოიცდება Z_1 ნამუშევარის განმავლობაში, $z_i = \min(t_i, \tau_i)$, აქ $i = 1, 2, \dots, N$; t_i i -ური ობიექტის ნამუშევარია მტყუნებამდე; τ_i – უმტყუნებოდ i -ური ობიექტის ნამუშევარი გამოცდების შეწყვეტამდე.

საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრის მეთოდოლოგია. განვიხილოთ იგი ერთ-ერთი ტიპური გეგმა-პროგრამის – $[NRT]$ -ის მაგალითზე (აღდგენადი ობიექტების გამოცდები განსაზღვრული ხანგრძლივობით).

გამოცდების ასეთი გეგმა-პროგრამისათვის საწყის მონაცემებად ითვლება:

α – მიწოდებლის რისკი – სიდიდე, რომელიც ახასიათებს ვარგისი ნაკეთობის დაწუნების ალბათობას;

β – დამკვეთის რისკი – სიდიდე, რომელიც ახასიათებს უვარგისი ნაკეთობის მიღების ალბათობას;

T_0 – ერთ მტყუნებაზე ნამუშევრის მისაღები მნიშვნელობა;

T_1 – ერთ მტყუნებაზე ნამუშევრის არამისაღები მნიშვნელობა;

α და β მნიშვნელობებს ირჩევენ ნაკეთობის საპასუხისმგებლო დონის, ფუნქციონირების სპეციფიკისა და განსაკუთრებულობის, წარმოების ინტერესებისა და შესაძლებლობების, დამკვეთის მოთხოვნების მიხედვით.

მიწოდებლის და დამკვეთის რისკის მნიშვნელობათა მიხედვით შეირჩევა გამოცდების ჩატარების ხანგრძლივობის ვადა T . იგი ბუნებრივია, ნაკლები უნდა იყოს T_1 -ზე და მითუმეტეს T_0 -ზე. ამასთან, ნაკეთობის ერთი და იგივე საიმედოობის მაჩვენებლების დროს რაც უფრო მცირე იქნება α და β , მით უფრო მეტი მოცულობის გამოცდების ჩატარება იქნება საჭირო.

აღწერილი გამოცდის არსი ისაა, რომ მოცემული რაღაც T დროისათვის ვიპოვოთ მტყუნებათა ის რიცხვი, რომელიც შეესაბამება ნაკეთობის საიმედოობისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს.

ნამუშევრის სიდიდეზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გამოცდების ხანგრძლივობა – რაც უფრო ახლოსაა T_0 მისაღები ნამუშევრის მნიშვნელობა მოცემულ T_1 მინიმუმთან, მით უფრო მეტი უნდა იყოს გამოცდების ხანგრძლივობა. ამრიგად, ექსპერიმენტის თვითღირებულების შემცირებისათვის, ექსპერიმენტის ხანგრძლივობის ხარჯზე, საჭიროა T_0 სიდიდე მნიშვნელოვნად აღემატებოდეს T_1 სიდიდეს (ამასთან, ვარგისი ნაკეთობის დაწუნების რიცხვი არ არის დამოკიდებული T_0 -ის შერჩევაზე და დამოკიდებულია მხოლოდ მიწოდებლის რისკის α -ს

შერჩევაზე). ალბათობა იმისა, რომ ვარგისი ნაკეთობა დაწუნებული იქნება, მით უფრო გადიდება, რაც უფრო მეტი იქნება T_0 T_1 -ზე.

ობიექტის საიმედოობაზე გამოცდის გეგმა-პროგრამებით [NRT], [NRr] სარგებლობის დროს გამოცდებს შესაბამისად წვევებენ წინასწარ შერჩეული T დროის გასვლის შემდეგ ან მას შემდეგ, რაც მოხდა მტყუნება ბოლო ობიექტისა წინასწარგანსაზღვრულ მტყუნებათა ზღვრული რიცხვიდან r_{lim} , ხოლო უკანასკნელი განისაზღვრება შემდგომ მოყვანილი მეთოდით კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით და უპირველეს ყოვლისა, ნაკეთობათა საერთო რიცხვის მიხედვით.

ზემოთ მოყვანილი გამოცდების გეგმა-პროგრამების თანმიმდევრობის წესი შემდეგია:

1. T_0 და T_1 ერთ მტყუნებაზე ნამუშევრების დონის მიხედვით, რომელთა მნიშვნელობებიც მოცემულია საკონსტრუქტორო დოკუმენტაციაში, განისაზღვრება $\frac{T_0}{T_1}$ ფარდობა;

2. ცხრილების მეშვეობით [2] მიღებული α და β მნიშვნელობების ფარდობისათვის $\frac{T_0}{T_1}$ პოულობენ უახლოეს r_{lim} და $\frac{T_\Sigma}{T_0}$ (ცხრ.2.4) სადაც $T_\Sigma = \sum T_i$ (ჯამური ნამუშევრის დროა ობიექტების უცნობი, i -ური რაოდენობისათვის);

3. განისაზღვრება გამოცდების პირობების დაკმაყოფილებისათვის საჭირო გამოსაცდელ ნაკეთობათა რიცხვი: $N = \frac{T_\Sigma}{T_0} \cdot \frac{T}{T_0}$;

4. კეთდება საბოლოო დასკვნა გამოცდების შესახებ.

მტყუნებათა ზღვრული რიცხვი r_{lim}	T_0 / T_1 , როცა $\alpha=0,30$ β სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის				$\frac{T_{\Sigma}}{T_0}$
	0,05	0,10	0,20	0,30	
2	4,33	3,55	2,73	2,22	1,1
4	2,81	2,42	1,99	1,72	2,76
6	2,32	2,05	1,75	1,55	4,52
8	2,08	1,86	1,62	1,46	6,31
10	1,93	1,75	1,54	1,40	8,13
12	1,82	2,66	1,,48	1,36	9,97

განვიხილოთ ტიპური მაგალითი [12] ლიტერატურული წყაროს მიხედვით.

მაგალითი. გამოცდებისათვის საჭირო საწყისი მონაცემებია:

$$T_0 = 2000 \text{ სთ}; T = 500 \text{ სთ}; T_1 = 1000 \text{ სთ}; \alpha = 30; \beta = 0,20.$$

ვიპოვოთ გამოცდებისათვის საჭირო ნაკეთობათა ოპტიმალური რაოდენობა.

გამოცდების დაგეგმვა საჭიროებს შემდეგი თანმიმდევრობით მოქმედებებს:

1. განვსაზღვროთ ფარდობა

$$\frac{T_0}{T_1} = \frac{2000}{1000} = 2.$$

2. შესაბამისი ცხრილით (2.3), α და β მიხედვით ვპოულობთ რიცხვის 2 უახლოეს ციფრს – 1,99.

3. ციფრის 1,99 მიხედვით მტყუნებათა ზღვრული რიცხვი r_{lim} და თანაფარდობა $\frac{T_{\Sigma}}{T_0}$ შესაბამისად იქნება: $r_{lim} = 4$, $\frac{T_{\Sigma}}{T_0} = 2,76$.

4. განისაზღვრება დაგეგმილი ექსპერიმენტის მთავარი არგუმენტი – გამოცდების პირობების დაკმაყოფილებისათვის საჭირო გამოსაცდელი ნაკეთობების რიცხვი ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებიდან

$$N=2,76 \cdot \frac{500}{2000}=11,06,$$

ავიღოთ 12 ნაკეთობა.

5. ამრიგად ექსპერიმენტის $T=500$ სთ განმავლობაში თუ 12 გამოსაცდელი ნაკეთობიდან მტყუნებას განიცდის არა უმეტეს 3 ნაკეთობისა, მიიღება გადაწყვეტილება ნაკეთობათა მთელი პარტიის მიღებისა, ხოლო იმ შემთხვევაში თუ მტყუნებათა რაოდენობა 500 სთ განმავლობაში მიაღწევს 4 ერთეულს, ნაკეთობის პარტია დაწუნებული იქნება.

III თავი

მანქანა-მოწყობილობის საიმედოობის ფიზიკური საფუძვლები და კრიტერიუმები

მექანიკური მანქანა-მოწყობილობის მუშაობის პერიოდში მკვეთრად გამოიხატება რიგი ექსპლუატაციის თანხვედრილი პროცესები, რომლებიც იწვევენ ნაკეთობის მასალაში მექანიკურ, ფიზიკურ და ქიმიურ ცვლილებებს. აღნიშნული ცვლილებები, პროცესები განსხვავდებიან რა თავიანთი ბუნებით, არსით და მიმდინარეობის ხასიათით, სხვადასხვა ინტენსიურობით მოქმედებენ ნაკეთობის მუშაობის უნარზე. პროცესებს, რომლებიც იწვევენ მანქანა-მოწყობილობის მტყუნებათა მოვლენებს, მიეკუთვნება მანქანა-მოწყობილობისა და მისი ელემენტების ცვეთა ხაზუნის შედეგად; დალლილობა მრავალჯერადი დატვირთვის შედეგად; კოროზია; „დაბებრება“ (დაძველება).

შესაბამისად, ამ პროცესებისადმი მედეგობა მიჩნეულია ამ ჯგუფის მანქანათა საიმედოობის კრიტერიუმად.

საყოველთაო აღიარებით მექანიკური მანქანა-მოწყობილობის მტყუნებათა ძირითად მიზეზებს მიეკუთვნება: ელემენტების ცვეთა ხაზუნის შედეგად და რიგი ნაკეთობების დალლილობა. ამასთან, სტატისტიკური მონაცემებით დადგენილია, რომ მანქანების მტყუნებათა 80%-მდე მოდის ცვეთის ფაქტორზე. აღნიშნულის გამო მანქანის ტექნიკური მდგომარეობის გამოკვლევის დროს, როგორც წესი, განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა მანქანებში ხაზუნისა და ცვეთის პროცესებს.

ასევე დიდი ყურადღება დაეთმობა ამ საკითხს მოცემულ ნაშრომშიც.

*ხაზუნი ბუნების საოცარი ფენომენია!
კაცობრიობას მან აჩუქა სითბო და
ცეცხლი, შესაძლებლობა მცირე დროში
გააჩეროს ჩქაროსნული მატარებელი და
ავტომობილი, ასი ათასჯერ დააჩქაროს
ქიმიური რეაქცია, ფირზე ჩაწეროს
ადამიანის ხმა, მოუსმინოს ვიოლინოს...*

პროფ. დ. გარკუნოვი

IV თ ა ვ ი

ტრიბოლოგია და ტრიბოტექნიკა

4.1. განვითარების საწყისები

თანამედროვე ტექნიკის შესაბამისი მანქანების და მოწყობილობის, საიმედოობა-სანგრძლივობის მაჩვენებლები ძირითადად დამოკიდებულია მათი ტრიბოლოგიური სისტემების (ხაზუნის კვანძების) პრინციპული, კონსტრუქციულ-ექსპლუატაციური პარამეტრების, ცვეთისა და შეზეთვის პირობების, მოხაზუნე წყვილების მასალების შერჩევის ოპტიმიზაციაზე. მოყვანილ საკითხებს ფართო მასშტაბით შეისწავლის ტრიბოლოგია და ტრიბოტექნიკა.

ტრიბოლოგია ახალი მეცნიერული დისციპლინაა ხაზუნისა და ცვეთის პროცესების შესახებ. სახელწოდება შედგენილია ბერძნული სიტყვებისაგან *tribos* – ხაზუნი და *logos* – სიტყვა.

ტრიბოლოგია მექანიკურ პროცესებთან ერთად შეისწავლის ხაზუნთან დაკავშირებულ ელექტრულ, მაგნიტურ, სითბურ, ქიმიურ და, ასევე, ბიოლოგიურ პროცესებს.

ტრიბოლოგიის კვლევის ძირითად ობიექტებს მიეკუთვნება ხაზუნის, ცვეთის და შეზეთვის პროცესები.

ტრიბოტექნიკა - ტრიბოლოგიის ერთ-ერთი სფეროა, რომლის წინაშეც დგას კონკრეტული ამოცანები, დაკავშირებული მანქანათა საიმედოობა-ხანგამძლეობის უზრუნველყოფის დაგეგმვის პროცესთან.

მეორეს მხრივ, ტრიბოლოგია შეისწავლის გარე და შიგა ხახუნის პროცესებს, შესაბამისად, მყარი და თხევადი მასალებისათვის, ხოლო ტრიბოტექნიკა არის მეცნიერება ტრიბოლოგიის პრაქტიკული გამოყენების შესახებ, ხახუნის კვანძების - ტრიბოლოგიური სისტემების კონსტრუირების, დამზადებისა და ექსპლუატაციის შესახებ.

ტრიბოლოგიის, როგორც მეცნიერების დარგის მიზანია იმ პრინციპების, მეთოდებისა და ტექნიკური საშუალებების შემუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფენ მანქანა-მოწყობილობის საიმედოობა-ხანგამძლეობის ნორმატიულ მაჩვენებლებს.

ტრიბოლოგია, როგორც დამოუკიდებელი მეცნიერება, ჩამოყალიბდა წინა საუკუნის 50-60-იან წლებში. ბოლო ათწლეულში შესრულებული სამუშაოების მიხედვით ტრიბოლოგიის თეორიულ საფუძვლად მიჩნეულია ისეთი მეცნიერული დარგები, როგორიცაა: ფიზიკა (მასზეა დაფუძნებული თანამედროვე ხახუნის თეორია), ქიმია, მათემატიკა, ლითონ- და მასალათმცოდნეობა, რეოლოგია და თერმოდინამიკა.

ამასთან ერთად, ტრიბოლოგია ძველი მეცნიერული მიმართულებაცაა. ტრიბოლოგიის ზოგ კანონებს ადამიანი უხსოვარი დროიდან იცნობდა და იყენებდა. მაგალითად, ხახუნის შედეგად გაჩენილ სითბოს იყენებდა ცეცხლის მიღებისათვის, ხახუნის პროცესებს მძიმე ტვირთებისა და საგნების გასრიალების გზით ტრანსპორტირებისათვის. ასეთ შემთხვევაში წვევის ძალას წარმოადგენდნენ ადამიანები და ცხოველები. ამასთან, საგნის გადატანისათვის საჭირო ძალა შეადგენდა

საგნის სიმძიმის ძალის 30%-ზე ნაკლებ სიდიდეს. ხახუნის მოვლენების პრაქტიკული გამოყენების მაგალითების გარდა შეიქმნა მეცნიერული, თეორიული შრომებიც.

XV საუკუნის მეორე ნახევარში ლეონარდო და ვინჩის მეცნიერულმა ნაზრევმა მყარი სხეულების ხახუნის საკითხებზე გამოხატულება პოვა იმ დროისათვის საკმაოდ მაღალი დონის მეცნიერულ ნაშრომში, რომელშიც მრავალი მართებული გაანგარიშება და მტკიცებაა მოყვანილი, სადაც ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი იყო მტკიცება სრიალის ხახუნის წინააღმდეგობისა და მოხახუნე ზედაპირებზე მოსული ნორმალური დატვირთვის პროპორციულობის ცნება, რითაც ფაქტიურად დასტურდება, რომ ლეონარდო და ვინჩის მიერ ჯერ კიდევ XV საუკუნეში აღმოჩენილი კანონი, რომლის მიხედვითაც ხახუნის ძალა პირდაპირპროპორციულია მოხახუნე ზედაპირებისადმი ნორმალურად მიმართული ძალისა. ეს დამოკიდებულება დღესაც ფართოდ გამოიყენება

$$F_f = f F_n, \quad (4.1)$$

სადაც F_f არის ხახუნის ძალა; F_n – ნორმალური ძალა; f – ხახუნის კოეფიციენტი.

ლეონარდო და ვინჩი ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობას მასალების სახის განურჩევლად მიიჩნევდა 0,25-ის ტოლ სიდიდედ.

შემდგომ პერიოდში ლეონარდო და ვინჩის ნაშრომი დავიწყებას მიეცა და ახალი ინტერესი გამოიწვია მხოლოდ ორი საუკუნის შემდეგ.

XVII საუკუნის ბოლოს ისააკ ნიუტონმა შეისწავლა შიგა ხახუნის მოვლენები თხევადი შეზეთვის დროს და ჩამოაყალიბა კანონი, რომელიც ამყარებს კავშირს თხევადი შეზეთვის შიგა ხახუნის

წინააღმდეგობასა და ამ წინააღმდეგობის დაძლევისათვის საჭირო ძალას შორის. ლამინირებული დინების ამ კანონით დღესაც სარგებლობენ.

1699 წელს გ. ამონტონმა ფრანგული სამეფო აკადემიის ყოველწლიურ ჟურნალში გამოაქვეყნა ორიგინალური შრომები ხახუნის თეორიის შესახებ. მან ხელახლა აღმოაჩინა ლეონარდო და ვინჩის კარგახნის წინათ მივიწყებული კანონი იმის შესახებ, რომ ხახუნის ძალა არ არის დამოკიდებული მოხახუნე ზედაპირის ფართობზე, ხოლო კოეფიციენტი მუდმივია და რიცხობრივად უდრის 0,3-ს.

ორივე ეს კანონი გარკვეული პირობებისათვის დღესაც ფართოდ გამოიყენება და საკმაოდ ზუსტ შედეგებსაც იძლევა.

XVIII საუკუნის მეორე ნახევარში შ. კულონმა შეისწავლა ადპეზიის საკითხები ხახუნის პროცესში და გ. ამონტონის საპირისპიროდ დაასკვნა, რომ საკონტაქტო ზედაპირის გაზრდა იწვევს ხახუნის წინააღმდეგობის გაზრდას. ამასთან, 1778 წელს იგი პირველი გვთავაზობს ხახუნის ძალის ფორმულას ორი წვერის სახით, რომელთაგანაც პირველი A_0 დამოკიდებული არ არის ნორმალური მიმართულების დატვირთვაზე, ხოლო მეორე KF_n დამოკიდებულია უკანასკნელზე:

$$F_f = A_0 + K F_n, \quad (4.2)$$

სადაც A_0 შეჭიდულობის მახასიათებელია და იგი ისევე, როგორც ხახუნის ძალა, არის ტანგენციალური წინააღმდეგობა და, მისგან განსხვავებით, არ არის დამოკიდებული ნორმალური მიმართულების დატვირთვაზე; K^* შეჭიდულობის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ მოხახუნე ზედაპირების თვისებებზე.

*** შეჭიდულობის კოეფიციენტი არის ორი სხეულის უძრაობის უდიდესი ხახუნის ძალის ფარდობა იმ ერთმანეთზე მიჭერის ძალასთან, რომელიც მოხახუნე ზედაპირების ნორმალური მიმართულებისაა.**

სამწუხაროდ, ეს კანონიც მივიწყებული იქნა და საინჟინრო პრაქტიკაში XX საუკუნემდე გამოიყენებოდა მხოლოდ ლეონარდო და ვინჩი – ამონტონის კანონი (რომელიც ზოგჯერ არამართებულად დღესაც კულონის კანონად იწოდება საინჟინრო პრაქტიკაში). თავად შ. კულონმა XVIII საუკუნის ბოლოს გამოაქვეყნა ცნობილი შრომა „უბრალო მანქანების თეორია“, სადაც ეფექტურად იყო ილუსტრირებული ავტორის წარმოდგენა კონტაქტის შედეგად რელიეფური ზედაპირების შეჭიდულობის წინააღმდეგობაზე. ამ მეცნიერული გააზრების საფუძველზე შ. კულონმა გააკეთა დასკვნა ხახუნის პროცესში ენერჯის გაფანტვის შესახებ.

XIX საუკუნის მორე ნახევარში ბ. ტაუერმა შემთხვევით აღმოაჩინა, რომ გარკვეულ პირობებში, გარკვეული კონსტრუქციულ-ექსპლუატაციური პარამეტრების დროს ზეთის ფენების ფარდობითი გადაადგილების შედეგად წარმოიქმნება ზეთის დინამიკური წნევა, რომელმაც შეიძლება ფრიად დადებითი როლი ითამაშოს ხახუნის პროცესში.

რეინოლდსმა დაასაბუთა, რომ ბ. ტაუერის ცდების საფუძველზე შემჩნეული მოვლენა არის ჰიდროდინამიკური ხასიათის და მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ზეთის სიბლანტეზე. მანვე 1886 წელს დაამუშავა შეზეთვის ჰიდროდინამიკური თეორია.

ნ. პეტროვმა დაახლოებით იმავე პერიოდში რეინოლდსისგან დამოუკიდებლად ჩამოაყალიბა ჰიდროდინამიკის საკითხები ნაშრომში - „ხახუნი მანქანებში და შემზეთი სითხის გავლენა მასზე“.

XX საუკუნის დასაწყისისათვის ტექნიკის სფეროში მცენარეული და ცხოველური ზეთები თანდათანობით გამოდევნილ იქნა მინერალური ზეთებით, რომელიც ემყარებოდა ნავთობგადამამუშავებელი მრეწველობის

შემდგომ აღმავლობას და, რაც მთავარია, განსაზღვრული შეზღუდვის დროს შემზეთი ფენის შენარჩუნების სხვადასხვაგვარ შესაძლებლობებს. 1936 წ. უ. ჰარდიმ („რჩეული შრომები“) შეისწავლა ეს საკითხი და განსაზღვრული შეზღუდვის თეორიის საფუძვლებთან ერთად ჩამოაყალიბა სასაზღვრო ფენის სტრუქტურის კონცეფცია. სასაზღვრო ხაზუნის და მყარი სხეულების ხაზუნის პრობლემებს შეისწავლიდა აგრეთვე ფ. ბოუდენი.

ხაზუნის და ცვეთის პროცესების კვლევა უფრო მაღალ საფეხურზე აიყვანეს საბჭოთა პერიოდის მეცნიერებმა: პ. რეზინდერმა, ვ. კუზნეცოვმა, ი. კრაგელსკიმ, დ. გარკუნოვმა, მ. ხრუშჩოვმა, ა. ბელიმ, ა. ჭიჭინაძემ. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ი. კრაგელსკის როლი, რომლის ფუნდამენტურმა შრომებმა ხაზუნის თეორიაში მსოფლიო აღიარება მოიპოვა და რომელიც „კრაგელსკის თეორიითა“ ცნობილი და თარგმნილია მსოფლიოს მრავალ ენაზე.

ფართო ინტერესი გამოიწვია ხაზუნის თეორიაში დ. გარკუნოვის ორიგინალურმა შრომებმა, რომლებიც საბჭოთა კავშირის შესაბამისი კომიტეტის მიერ რეგისტრირებული იქნა, როგორც აღმოჩენები. და მაინც, უახლოეს პერიოდში ხაზუნის დარგში ერთ-ერთი ყველაზე თვალსაჩინო როლი ითამაშეს ინგლისელმა მკვლევრებმა. მათი მეცადინეობით მსოფლიო მეცნიერული პროგრესის ახლანდელ პროცესში სხვაგვარად გამოიყო და შეფასდა ტრიბოლოგიის (ტრიბოტექნიკის) საკითხები.

თვით ტერმინიც „ტრიბოლოგია“ პირველად გამოყენებული იქნა ინგლისელი ექსპერტების მიერ, როდესაც მათ დიდი ბრიტანეთის პარლამენტს წარუდგინეს მოხსენებითი ბარათი ქვეყანაში შეზღუდვის პრობლემების შესახებ.

ფრიად მნიშვნელოვან წამოწყებათა ავტორად წარმოგვიდგინა თავი დიდი ბრიტანეთის განათლებისა და მეცნიერების მინისტრმა ლორდმა ფ. ბოულდენმა, როდესაც მან 1964 წელს აუცილებლად მიიჩნია გამოეკვლიათ და გაეანალიზებინათ მანქანათა შეზეთვის პირობები და მასთან დამოკიდებული საკითხები, როგორც ქვეყნის მეურნეობის წინსვლის ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური ამოცანა. აღნიშნულის შედეგად პროფ. ნ. პ. ჯოსტის ხელმძღვანელობით შეიქმნა სპეციალისტების სამუშაო ჯგუფი, რომელმაც შეაჯამა შესრულებული სამუშაოს შედეგები და 1966 წელს გამოაქვეყნა იგი. გამოქვეყნებული ანგარიშის საფუძველზე დასახული ღონისძიებათა ფორმა და შინაარსი პირველად ისტორიაში ჯეროვნად აფასებდა მანქანათა შეზეთვის როლს ქვეყნის ეკონომიკაში. მაგალითად, ამ ჯგუფის დასკვნით დიდი ბრიტანეთის საზეთო მეურნეობის გაუმჯობესებამ შესაძლებელი გახადა ქვეყანას დაეზოგა ნახევარი მილიარდი ფუნტი სტერლინგი. ამ ანგარიშში გამოვლენილი იქნა ფაქტორები, რომელთა შორისაც უმნიშვნელოვანესად მიიჩნეოდა როგორც მომსახურე პერსონალის, ასევე დამპროექტებლების ცოდნის დაბალი თეორიული და პრაქტიკული დონე ტრიბოტექნიკის სფეროში, ტრიბოლოგიის სპეციალისტთა დეფიციტი.

ამასთან დაკავშირებით სამუშაო ჯგუფი წინადადებას იძლეოდა დაწყებულიყო ტრიბოლოგიის საფუძვლიანი შესწავლა ყველა დონეზე, რისთვისაც უნდა შექმნილიყო სპეციალური დანიშნულების ინსტიტუტები, უნდა შეცვლილიყო ტექნიკისა და ინჟინერ-მზეთათევების სტატუსი, მომატებულიყო ხელფასი, შემოღებულიყო უფრო მაღალი საკვალიფიკაციო ჯგუფები და პროფესიული წოდება – ტრიბოლოგი. ამავდროულად, პოსტ საბჭოთა კავშირის ეკონომიკურ სივრცეში ღონისძიებათა ნუსხა ვერ

გასცდა რამდენიმე ფორმალური სახის საზოგადოებისა და ლიტერატურის გამოჩენას ტრიბოლოგია-ტრიბოტექნიკაში.

სავალალო მდგომარეობაა ჯერჯერობით ჩვენს ქვეყანაშიც, სადაც შეზეთვის გლობალური და აქტუალური საკითხები მრავალი დარგისათვის ძალიან ხშირად ყველაზე დაბალი კვალიფიკაციის მუშის პრიმიტიულ საქმიანობადაა წარმოდგენილი. დღევანდლამდე რესპუბლიკის უმაღლესი და საშუალო განათლების სასწავლებლებიდან მხოლოდ სტუ-ს ზოგიერთ სპეციალობაზე, ისიც შეზღუდული მოცულობით შეისწავლება დისციპლინა ტრიბოლოგია ან, როგორც მას ხშირად უწოდებენ, ტრიბოტექნიკა, მაშინ, როდესაც ამერიკის შეერთებული შტატების, გერმანიის, დიდი ბრიტანეთის უნივერსიტეტები დღეს ფართო პროფილით ამზადებენ სპეციალისტებს ტრიბოლოგიაში.

4.2. ძირითადი ცნებები და განმარტებანი

მოვიყვანოთ ტრიბოლოგიაში (ტრიბოტექნიკაში) გამოყენებული ძირითადი ცნებები განმარტებით, რომელთა უმრავლესობაც დიდი ხანია არის ცნობილი და კლასიკურ ხასიათს ატარებს. ტრიბოტექნიკის რიგი ტერმინები კლასიფიცირებულია და სტანდარტიზებული საერთაშორისო სტანდარტებით.

გარეგან ხახუნად, უფრო ხშირად - ხახუნად პირობითად იწოდება მექანიკური წინააღმდეგობის მოვლენა, რომელიც წარმოიშობა ორი სხეულის ერთმანეთზე მიჭერისა და შეხების სიბრტყეში ზედაპირების ტანგენციალური მიმართულებით ფარდობითი გადაადგილების დროს და რომელსაც თან ახლავს ენერჯის დისიპაცია (გაფანტვა). წინააღმდეგობის

ამ ძალას ხახუნის ძალას უწოდებენ და იგი აღინიშნება F_f -ით, რომელიც მიმართულია სხეულის გადაადგილების საწინააღმდეგოდ.

ასევე არსებობს ხახუნის უფრო ზოგადი განმარტება – ხახუნი არის მოვლენათა კომპლექსი ორი ურთიერთგადაადგილებადი სხეულის ზედაპირების კონტაქტის ზონაში, რის შედეგადაც ამ ზონაში წარმოიშობა კონტაქტური ძალები [21].

მოხახუნე სხეულებს შორის ფარდობითი მოძრაობის არსებობის ან არარსებობის მიხედვით განასხვავებენ უძრაობის და მოძრაობის ხახუნს; სხეულების ურთიერთფარდობითი მოძრაობის ხასიათის მიხედვით – სრიალისა და გორვის ხახუნს.

უძრაობის ხახუნი ხშირად სტატიკურ ხახუნადაც იწოდება და იგი ორი სხეულის ხახუნია ერთმანეთის მიმართ მიკროგადაადგილების მომენტში, მოძრაობის დაწყებამდე.

მოძრაობის (კინეტიკური) ხახუნი იმ ორი სხეულის ხახუნია, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ მოძრაობენ.

სრიალის ხახუნი ისეთი მოძრაობის ხახუნია, როდესაც სხეულების შეხების წერტილში მათი მოძრაობის სიჩქარე სხვადასხვაა სიდიდით და მიმართულებით, ან მარტო სიდიდით, ან მარტო მიმართულებით:

გორვის ხახუნი – მოძრაობის ხახუნია ისეთი მყარი სხეულებისათვის, როდესაც მათი სიჩქარეები თეორიული შეხების წერტილში ერთნაირია სიდიდით და მიმართულებით.

ხახუნის ძირითად რიცხობრივ მაჩვენებლად მიჩნეულია ხახუნის ძალა და ხახუნის კოეფიციენტი.

ხახუნის კოეფიციენტი წარმოადგენს ორი მოხახუნე სხეულის მოძრაობის შედეგად წარმოქმნილი ხახუნის ძალისა და ერთმანეთზე მიჭერის ნორმალური ძალის ფარდობას.

შესაბამისად, სრიალის ხახუნის ძალა დღესაც წარმატებით შეიძლება გამოისახოს ჩვენთვის უკვე ნაცნობი 4.1 დამოკიდებულებით ($F_f = f F_n$). ტრიბოტექნიკის კლასიკური კანონების ჩამოყალიბება შეუხეთავი სრიალის ხახუნის პირობებში შესაძლებელი იყო და ფაქტიურად ჩამოყალიბდა კიდევ ჯერ კიდევ XV საუკუნეში ლეონარდო და ვინჩის შრომების საფუძველზე შემდეგი სახით:

1. ხახუნის ძალა პროპორციულია მოხახუნე ზედაპირებზე მოსული ნორმალური დატვირთვისა.

2. ხახუნის კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული მოხახუნე ზედაპირების ნომინალურ საკონტაქტო ფართობზე.

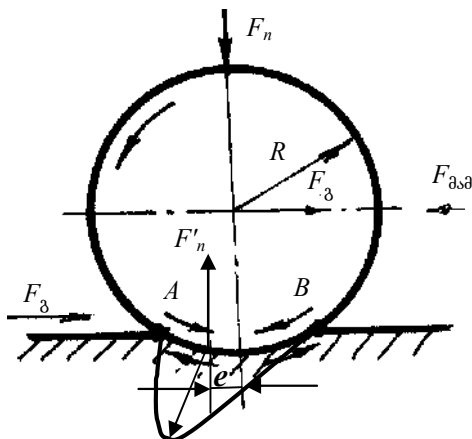
3. უძრაობის ხახუნის კოეფიციენტი აღემატება მოძრაობის ხახუნის კოეფიციენტს.

4. ხახუნის კოეფიციენტი არ არის სრიალის სიჩქარეზე დამოკიდებული.

მრავალმხრივმა კვლევამ თანამედროვე პირობებში გააანალიზა კლასიკური კანონების სასაზღვრო პირობები და გამოიტანა დასკვნა, რომ I, II და III კანონები სამართლიანია უძრავლეს საინჟინრო-სამანქანათმშენებლო პრაქტიკაში არსებული პირობებისათვის, გარდა იმ შემთხვევებისა, როცა ძალიან დიდი დატვირთვების დროს ფაქტიური საკონტაქტო ფართობი ნომინალურს უახლოვდება. IV კანონი ხშირად არ იძლევა ზუსტ შედეგებს ბლანტ-დრეკადი მასალებისათვის (პოლიმერები, ელასტომერები და ზოგიერთი ფერადი ლითონი).

ახლა ჩამოვყალიბოთ გორვის ხახუნის ფიზიკური არსი. იგი შემდეგში გამოიხატება:

დეფორმირებადი ცილინდრისა და სიბრტყის ურთერთზემოქმედების შედეგად წარმოქმნილი საკონტაქტო უბნის სასაზღვრო წერტილებია A და B. ცილინდრული სხეული ამ უბანზე იკუმშება, ხოლო სიბრტყე იმავე უბანზე იჭიმება. ეს იმას ნიშნავს, რომ სიბრტყეზე ცილინდრის თანაბარი სიჩქარით გადაგორების დროს მის A და B წერტილებს აქვთ ერთმანეთთან მიახლოების ტენდენცია, ხოლო სიბრტყის შესაბამის A და B წერტილებს – ერთმანეთთან დაშორების. ამ პირობებს მივყავართ იმ გარემოებასთან, რომ გვაქვს ცილინდრისა და სიბრტყის ზედაპირების ფარდობით გადაადგილება, სრიალი.



ნახ. 4.1. გორვის ხახუნის წარმოდგენის სქემა

თვისობრივად ასეთი ხასიათის ხახუნია მანქანათა მთელ რიგ კვანძებში. მაგალითად, ბურთულებიან და გორგოლაჭებიან საკისრებში, კბილანებში, შეუღლებებში – ბორბალი-ლიანდავი.

4.1 ნახ-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით, წონასწორობის პირობიდან გამოძინარე,

$$F_{\beta} = F_{\beta\alpha\beta}, \quad (4.3)$$

სადაც F_{β} გორვის ხახუნის ძალაა; $F_{\beta\alpha\beta}$ – მამოდრავებელი ძალა.

მაშინ მამოდრავებელი მომენტი ტოლი იქნება

$$M = F_{\beta\alpha\beta} \cdot R = F_{\beta} \cdot R, \quad (4.4)$$

სადაც R საგორავის რადიუსია.

მოცემულ პირობებში მამოდრავებელი მომენტის გაწონასწორება ხდება გორვის ხახუნის ძალით

$$F_{\beta} = f_{\beta} \cdot F_n, \quad (4.5)$$

სადაც f_{β} გორვის ხახუნის კოეფიციენტი; F_n – ნორმალური ძალა.

ანუ

$$F_{\beta\alpha\beta} \cdot R = f_{\beta} \cdot F_n \cdot R. \quad (4.6)$$

საიდანაც გორვის ხახუნის კოეფიციენტი შეიძლება გამოისახოს როგორც მამოდრავებელი მომენტის (M) ფარდობა ნორმალურ ძალასთან (F_n) და

$$f_{\beta} = \frac{M}{F_n} = \frac{F_{\beta\alpha\beta} \cdot R}{F_n} = \frac{F_{\beta} \cdot R}{F_n}, \quad (4.7)$$

საიდანაც

$$F_{\beta} = \frac{f_{\beta} \cdot F_n}{R}. \quad (4.8)$$

მეორეს მხრივ, ნორმალური რეაქცია F'_n გადანაცვლებულია F_n ღერძიდან რაღაც e მანძილით. შესაბამისად რეაქციული მომენტი $M' = F'_n \cdot e$. ბუნებრივია, რომ როცა $M' = M$ და $F'_n = F_n$, (ფიზიკურად ადვილი ასახსნელია)

$$F_n \cdot e = F_{\beta} \cdot R. \quad (4.9)$$

ხოლო

$$e = \frac{F_{\delta} \cdot R}{F_n}, \quad (4.10)$$

საიდანაც

$$F_{\delta} = \frac{e \cdot F_n}{R}. \quad (4.11)$$

(4.8)-ის გათვალისწინებით

$$e = f_{\delta}. \quad (4.12)$$

პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის (4.8) ასე გადავწეროთ

$$F_{\delta} = f_0 \cdot F_n, \quad (4.13)$$

სადაც $f_0 = \frac{f_{\delta}}{R}$ გორვის ხახუნის დაყვანილი წინააღმდეგობაა და ტიპური ურიკებისათვის

$$f_0 = \frac{f \cdot r + f_{\delta}}{R} = \frac{f \cdot d + 2f_{\delta}}{D}, \quad (4.14)$$

სადაც d, r შესაბამისად სატაცის დიამეტრი და რადიუსია; f – სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი სატაცის კვანძში; D – გორვის ბორბლის დიამეტრი.

გორვის ხახუნის კოეფიციენტს აქვს საზოგადო განზომილება, გეომეტრიულად წარმოადგენს კონტაქტის ზონაში F_n ღერძიდან გადანაცვლებული ნორმალური რეაქციის ექსცენტრისიტეტს – e -ს და რიცხობრივად უდრის f_{δ} -ს. გორვის ხახუნის კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია დეტალის მასალის დრეკად თვისებებზე. კერძოდ, იმ შემთხვევაში, როცა მასალას აქვს მაღალი მექანიკური თვისებები, მცირეა ქორდის სიდიდე, შესაბამისად, მცირეა გორვის ხახუნის კოეფიციენტი და ძალა.

შემზეთი მასალის გამოყენების მიხედვით განასხვავებენ შეუზეთავ და შეზეთვით ხახუნს. ხახუნ შეზეთვის გარეშე იწოდება და განიხილება,

როგორც მშრალი ხახუნი. ხახუნი შემზეთი მასალის გამოყენების რაოდენობის მიხედვით შეიძლება განიხილებოდეს როგორც სასაზღვრო ხახუნი (როცა მოხახუნე ზედაპირები ზეთის შეზღუდული რაოდენობის თხელი ფენითაა დაფარული), ან როგორც თხევადი ხახუნი (როცა მოხახუნე ზედაპირებს შორის არსებობს ზეთის გარკვეული სისქის ფენა). ყველა სხვა ზემოთ განხილული ტრიბოლოგიური პროცესი სხეულების ურთიერთმოქმედების გარე ხახუნის ვარიანტებია. ამავდროულად შიგა ხახუნის ყველაზე უფრო თვალსაჩინო მაგალითია ტრიბოლოგიური სისტემა თხევადი შეზეთვით. ასეთი სახის ხახუნი ჰიდროდინამიკური შეზეთვის პირობები ითვალისწინებს შეუღლებული დეტალების განცალკევებას, და სათანადოდ, მათ უშუალო კონტაქტში არყოფნას. ამიტომ შესაბამის პირობებში ხახუნი წარმოადგენს ზეთის ფენებს შორის წინააღმდეგობას მათი ერთმანეთის მიმართ გადაადგილების დროს, და ბუნებრივია, ხახუნის კოეფიციენტი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ზეთის სიბლანტეზე.

მყარ სხეულებში ხახუნი სხეულის შიგნით შესაძლებელია გარე ხახუნთან ერთად. ამასთან, იგი ხასიათდება სითბოს გამოყოფით და განპირობებულია სხეულისადმი გარე მექანიკური ენერჯის მინიჭებით. საინჟინრო პრაქტიკაში მყარ სხეულებში შიგა ხახუნის არამრავალრიცხოვანი მაგალითებიდან ერთ-ერთია ის, რომ ლითონების და ზოგი სხვა მასალის ჭრით დამუშავების დროს ზედაპირების ქვეშ, დეტალის სიღრმეში შეინიშნება მასალის გადახურება და შესაბამისი სტრუქტურული ცვლილებები.

4.3. განვითარების ძირითადი მიმართულებანი

ტრიბოტექნიკის, როგორც მეცნიერული დარგის არსის სრული ახსნა მნიშვნელოვანწილადაა განპირობებული რიგ ერთმანეთისაგან განსხვავებული მეცნიერების მრავალმხრივი შესწავლით. ფიზიკა, მათემატიკა, ქიმია, ელექტრობა, ლითონ- და მასალათმცოდნეობა – ეს ის მეცნიერული დარგებია, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოადგენენ დამოუკიდებელი კვლევის ობიექტებს, ცალკეულ აქტუალურ პრობლემათა კომპლექსებს ტრიბოტექნიკის საფუძვლების შესწავლის ფონზე.

ქვემოთ მოგვყავს ტრიბოტექნიკის, როგორც მეცნიერული დარგის, ძირითადი შემადგენელი ნაწილები და განვითარების მიმართულებანი.

1. მყარი სხეულების კონტაქტების ფიზიკურ-ქიმიური მექანიკა მათი ურთიერთსრიალის და გორვის დროს.
2. მშრალი, სასაზღვრო და თხევადი ხახუნის კვლევა და მის საფუძველზე გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდების შექმნა აღნიშნული ხახუნის სახეების შეფასებისათვის.
3. ცვეთის კვლევა და მანქანათა ნაწილების ცვეთაზე გაანგარიშების მეთოდების შექმნა.
4. ხახუნისა და ცვეთის სითბური დინამიკა.
5. ხახუნისა და ცვეთის სისტემური ანალიზი და მოდელირება.

ამასთან, საჭიროა ხაზი გაესვას ტრიბოტექნიკის მთავარ მეცნიერულ ამოცანებს, უმნიშვნელოვანეს პრობლემურ საკითხთა რიგს, რომელთა შორისაა:

- „უცვეთი“ ტრიბოლოგიური სისტემების (ხახუნის კვანძების) შექმნა;

- ახალი პროგრესული ცვეთამედები ანტიფრიქციული და ფრიქციული მასალების შექმნა;
- მანქანათა ნაწილების დაცვა წყალბადოვანი ცვეთისაგან;
- არააბრაზიული საფინიშო ოპერაციების შემუშავება;
- პრინციპულად ახალი, ავტომატიზებული შეზეთვის სისტემის შექმნა;
- სპეციალისტების მომზადება ტრიბოტექნიკაში.

ტრიბოტექნიკის პრაქტიკულად აქტუალურ საინჟინრო საკითხებს განეკუთვნება:

- ტრიბოლოგიური სისტემების საიმედოობის, კერძოდ, ხანგამძლეობის მაჩვენებლების გაზრდა და პროგნოზირება;

- ტრიბოლოგიური სისტემების მუშაობის უნარის გაზრდა დიდ ტემპერატურულ დიაპაზონში;

- ტრიბოლოგიურ სისტემებზე მოსული ხვედრითი დატვირთვების გაზრდა, კონსტრუქციული პარამეტრების ოპტიმიზაცია;

- ტრიბოლოგიურ სისტემაში დასაშვები ფარდობითი სრიალის სიჩქარის გაზრდა;

- მინიმალური ხახუნის წინააღმდეგობის უზრუნველყოფა საკისრების შემთხვევაში და მაქსიმალურისა – მუხრუჭების შემთხვევაში;

ყველა ზემოთ ხსენებული მთავარი მეცნიერული ამოცანის გადაწყვეტა ითვალისწინებს ფუნდამენტური, თეორიული საფუძვლებისა და რთული ექსპერიმენტული მოწყობილობისა და გაანგარიშებათა მეთოდის დაამუშავებას. ამ კომპლექსური თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ობიექტებად იგულისხმება:

- მოხაზუნე მუშა ზედაპირული ფენების თვისებათა საფუძვლიანი შესწავლა;
- „შერჩევითი გადატანის“ ეფექტის გამოყენების სფეროების გაფართოება;
- საზეთი მასალების თვისებათა მაჩვენებლების რეგულირება და მათი პოტენციური შესაძლებლობების რადიკალური შეცვლა ახალი მისართების გამოყენების მეშვეობით;
- მცირე სიბლანტის თხევადი შემზეთი მასალები;
- აიროვანი ნივთიერებების გამოყენება შემზეთ მასალად;
- მყარი და ფხვნილოვანი შემზეთი მასალები;
- ახალი ანტიფრიქციული და ფრიქციული მასალები სხვადასხვა გარემოში ექსპლუატაციის დროს.

აღნიშნულის შედეგად ტრიბოტექნიკაში მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესის შემდგომ ეტაპად მიიჩნევა მანქანა-მოწყობილობის ხაზუნისა და ცვეთის პროცესების მართვა ექსპლუატაციის სხვადასხვა პირობებში.

ზემოთ მოყვანილ ღონისძიებათა რეალიზაცია ქვეყნის მეურნეობაში მეცნიერებისა და ინჟინრებისაგან მოითხოვს ტრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუირების ახალი პრინციპების დანერგვას. საჭირო ხდება თითქმის ყველა დარგის მანქანათმშენებლობაში უარი ვთქვათ ტრიბოლოგიური სისტემების გაანგარიშების ტრადიციულ მეთოდებზე, როდესაც ხაზუნის ძალებისა და მომენტების განსაზღვრისას იგულისხმება ხაზუნის კოეფიციენტისა და ცვეთის ინტენსივობის მუდმივი მნიშვნელობები; გაანგარიშებისას, როგორც წესი, გათვალისწინებული უნდა იქნეს ხაზუნის კოეფიციენტის და ცვეთის ინტენსივობის დამოკიდებულება კვანძის მუშაობის რეჟიმის ისეთ პარამეტრებთან, როგორიცაა: სრიალის სიჩქარე,

რადიალური დატვირთვა, დაკონტაქტების გეომეტრია, გარემო პირობების გავლენა, თბოგადაცემის პირობები, კონსტრუქციული პარამეტრები, მუშა ტემპერატურა, ნარჩენი დეფორმაციები და სხვა ფაქტორები.

საანგარიშო მეთოდები უნდა იძლეოდნენ შესაძლებლობას, საკონტაქტო ზონებში გაანგარიშებულ იქნეს საკონტაქტო დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობები (აღნიშნულ საკითხებს მეტი ყურადღება უნდა მიექცეს ხახუნის კვანძებში არალითონური სადებების გამოყენების დროს). ყოველივე უნდა შესრულდეს დინამიკური და ტემპერატურული რეჟიმის და დატვირთვის ხანგრძლივობის გათვალისწინებით. კონტაქტური ამოცანები გადაწყვეტილი უნდა იქნას სივრცეში.

პრაქტიკაში ხახუნის და ცვეთის საინჟინრო გაანგარიშებებს უნდა მოეთხოვებოდეს დიდი სიზუსტე და საიმედოობა. იგი უნდა აღმატებოდეს ჩვეულებრივი მანქანათა რიგითი დეტალებისადმი მოთხოვნებს, სადაც მათი მარაგი სიმტკიცეზე აიღება 2...3 ზღვრებში. შედეგად უნდა შემუშავდეს საიმედო კონკრეტული საინჟინრო საანგარიშო მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ტრიბოლოგიური სისტემის სამსახურის ვადის განსაზღვრას საჭირო სიზუსტით მშრალი და სასაზღვრო ხახუნის დროს, აგრეთვე, შემუშავდეს თანამედროვე ტექნიკურ მიღწევათა გამოყენებით ჰიდროდინამიკური, ელასტიკურ-დინამიკური და აიროვანი შეზეთვის პირობებში მძიმედ დატვირთული სრიალის და გორვის საკისრების, კბილანური გადაცემის, სახსრების, ცილინდრ-დგუშოვანი წყვილების, მიმართულების და სხვა ხახუნის კვანძების გაანგარიშების მეთოდები.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა უნდა მიექცეს ტრიბოლოგიურ პროცესებს კვანძებში, სადაც სადებ მასალად გამოყენებულია პოლიმერული მასალები და კომპოზიციები მათ საფუძველზე; ტრიბოლოგიური

სისტემების გამოცდების იმ დაჩქარებული მეთოდების შემუშავებას, რომლებიც დაფუძნებულია მეცნიერების თანამედროვე მიღწევათა ღონეზე პროცესების მათემატიკური, ფიზიკური, ანალოგური მოდელირებით.

ტრიბოტექნიკის შემდგომი განვითარების პროცესში განსაკუთრებული როლი ენიჭება სამეცნიერო და საინჟინრო-ტექნიკური კადრების მომზადებას. ტრიბოტექნიკის საფუძვლების ცოდნა დღეს აუცილებელი პირობა ხდება ყველა პროფილის ინჟინერ-მექანიკოსის მომზადებისათვის, ვინაიდან მხოლოდ იგი აძლევს ინჟინერს საშუალებას, რომ:

- სწორად გაიანგარიშოს მოძრავი შეერთებები, შეარჩიოს კვანძის კონსტრუქციული პარამეტრები და შეზღუდვის სისტემა, დანიშნოს კვანძისათვის მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმი, განსაზღვროს საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებლები და სხვა ამგვარი საკითხები მანქანის კონსტრუირების პროცესში;

- შეარჩიოს ეფექტური ტექნოლოგიური პროცესები მანქანების დამზადების პროცესში;
- უზრუნველყოს, არეგულიროს ან ადადგინოს ეკონომიკურად გამართლებული მუშა პროცესები შესასრულებელი სამუშაოს და შექმნილი პირობების მიხედვით მანქანათა ფუნქციონირება-ექსპლუატაციის დროს.

სამწუხაროდ, ამ მიმართულებით ჩვენს ქვეყანაში სამუშაოები ფაქტიურად ჩანასახის ფაზაშია და იგი სასწრაფოდ გადასაწყვეტი ამოცანაა.

დაბოლოს, საჭიროა მომავალი და ჩვენი ქვეყნის მეურნეობის მოქმედი სპეციალისტებისათვის ცნობად იქნას მიღებული, რომ

დღეისათვის ჯერ კიდევ ფართოდ ცნობილი ტერმინების – „ხაზუნის კვანძის” და „ხაზუნის პროცესის” ნაცვლად უახლესი სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურა იწყებს ახალი, შედარებით უფრო ღრმაცნებების, შესაბამისად, „ტრიბოლოგიური სისტემის” და „ტრიბოლოგიური პროცესის” ხმარებას.

ამასთან, ტრიბოლოგიურ სისტემად მიჩნეულია დეტალი ან დეტალების ერთობლიობა, რომელიც გამოყოფილია გარემოდან ფიზიკურად ან წარმოსახვით, ხოლო ტრიბოლოგიურ პროცესად – ტრიბოლოგიური სისტემის შემადგენელი დეტალების თვისებათა შეცვლის თანმიმდევრობა დროში.

მოცემულ ეტაპზე დასაშვებად მიგვაჩნია როგორც ძველი, ისე ახალი განსაზღვრებით სარგებლობა.

V თავი

ტრიბოტექნიკის თეორიის საფუძვლები

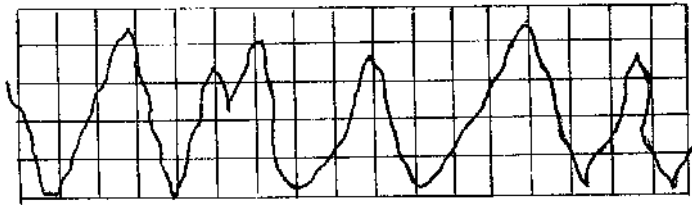
5.1. ძირითადი თეორიული ცნებები და პარამეტრები

ტრიბოლოგიური პროცესის სრული შეფასებისათვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მომენტია ის, რომ რაოდენობრივად და თვისობრივად სწორად იქნეს შეფასებული ნორმალური ძალებით გამოწვეული დაწნევა მოხაზუნე ზედაპირებზე, რისთვისაც აუცილებელია შეუღლებული დეტალების საკონტაქტო ფართობის განსაზღვრა.

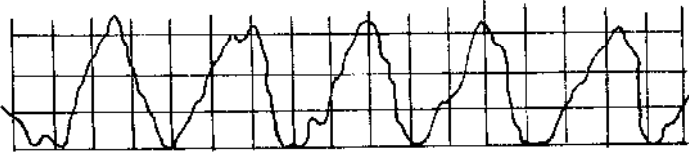
ორი ერთმანეთზე დადებული ბრტყელი მყარი სხეულის რეალური ზედაპირები, გარდა ლოკალური სიმქისისა, ხასიათდებიან ტალღურობითაც, რომლებიც თავდაპირველად სამ წერტილში ეხებიან ერთმანეთს.

საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისად სიმქისედ იგულისხმება ის უსწორმასწორობანი, რომელთა ბიჯი არ აღემატება 800 მკმ-ს, სიმაღლე 0,03-დან 400 მკმ-მდეა, ხოლო ტალღურობად მიიჩნევა ის უსწორმასწორობა, როცა ბიჯის ფარდობა სიმაღლესთან ≥ 40 .

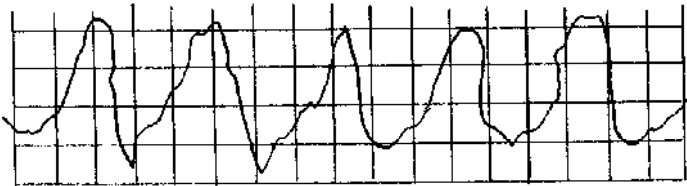
ლატვირთვის თანდათანობითი მოდების შემდეგ შეუღლებული ზედაპირები ერთმანეთს უახლოვდებიან და კონტაქტში შედიან უფრო მეტი ცალკეული ბორცვებით, რის შედეგადაც დიდდება შვერების მოთვლილი ფართობი. გასაგები მიზეზების გამო ტალღის ის ნაწილი, რომელიც შეესაბამება დადაბლებულ ადგილებს, განიცდის დრეკადი სახის, ხოლო შვერები – პლასტიკურ დეფორმაციებს. დრეკად დეფორმაციებს განიცდის სხეულის ის ნაწილები, სადაც ძაბვა არ აღემატება მასალის დენადობის ზღვარს (ნახ 5.1).



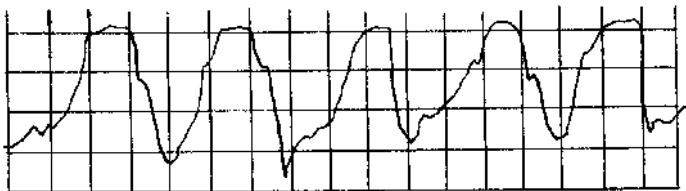
ა)



ბ)



გ)

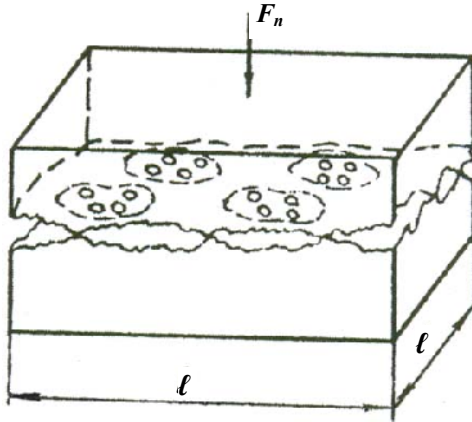


დ)

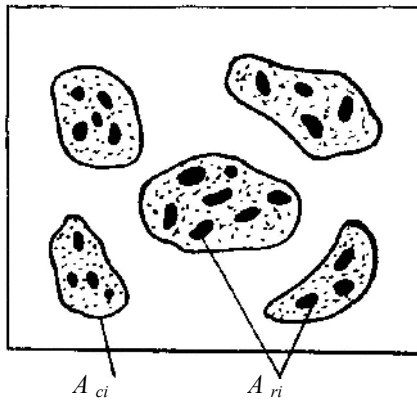
ნახ. 5.1. ფოლადის გაჩარხული ზედაპირის პროფილოგრამა იოპანსონის ფილასთან
შეხების შემდეგ. კონტურული წნევა, მმ: ა-0; ბ-50; გ-200; დ-350 [10]

რეალური ზედაპირების მოთელილი შვერები ტალღურ ბორცვებზე ქმნიან კონტურულ ფართობებს, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოადგენენ შვერების კონტაქტების ერთობლიობას. ექსპერიმენტულად ეს მოვლენა

მკაფიოდ წარმონჩდება ზედაპირების შეუღლების „საღებავის“ მეთოდით შეფასების დროს, როცა საკონტაქტო ადგილებს ლაქით გამოარჩევენ ხოლმე (ნახ.5.2, 5.3).



ნახ. 5.2. ზედაპირების დაკონტაქტების სქემა



ნახ. 5.3. საკონტაქტო ფართობის გრაფიკული მოდელი

ზემოთ აღნიშნულის თანახმად, განასხვავებენ შემდეგი სახის საკონტაქტო ფართობებს:

1. ნომინალური საკონტაქტო ფართობი $A = l \times l$, სადაც l მუშა ზედაპირის გაბარიტული ზომაა, გამოითვლება ტალღურობის გაუთვალისწინებლად, როგორც გეომეტრიული ფართობი.

2. კონტურული შეხების ფართობი A_c , რომელიც წარმოიქმნება სხეულების მოცულობითი მოთვლით და რომელიც განპირობებულია რეალური ზედაპირების ტალღურობით. ამასთან, შეხების ფაქტიური წერტილები განლაგებულია კონტურულ ფართობზე. თავის მხრივ, კონტურული ფართობი დამოკიდებულია როგორც ზედაპირის პროფილის გეომეტრიულ პარამეტრებზე, ასევე დატვირთვის სიდიდეზე.

შეხების კონტურული ფართობი მთელი სხეულისათვის გამოითვლება შემდეგი ტოლობით:

$$A_c = \sum_{i=1}^m A_{ci}, \quad (5.1)$$

სადაც m კონტურული ფართობების რიცხვია; A_{ci} – ცალკეული i -ური კონტურის ფართობი.

3. სხეულის შეხების ფაქტიური (ფიზიკური) საერთო ფართობი A_r წარმოადგენს სხეულის მცირე ფაქტობრივი კონტაქტების ფართობთა ჯამს. შეხების ფაქტობრივი ფართობი დამოკიდებულია სიმქისის გეომეტრიულ პარამეტრებზე.

სხეულების შეხების ფაქტობრივი ჯამური ფართობი

$$A_r = \sum_{i=1}^n A_{ri}, \quad (5.2)$$

სადაც n ფაქტიური კონტაქტების რიცხვია; A_{ri} – ცალკეული i -ური ფაქტობრივი შეხების ფართობი.

ფაქტობრივი კონტაქტის ადგილები, რომლებიც წარმოიქმნებიან მიკრობორცვების დეფორმაციის დროს, ძალიან მცირე სიდიდისაა და მათი ხაზობრივი ზომები არ აღემატება 3...50 მკმ-ს. ამიტომ ნომინალური ფართობის ფარდობა ფაქტობრივთან საკმაოდ დიდი სიდიდეა და შეადგენს $10^2...10^4$ -ს. ამ დასკვნას იყენებენ მანქანათა ნაწილების სიმტკიცეზე, ცვეთაზე და საიმედოობაზე გაანგარიშების დროს. მაგალითად, როცა p წნევას განსაზღვრავენ, როგორც F_n ნორმალური ძალის ფარდობას კონტაქტის ნომინალურ A ფართობთან, $p=F_n/A$, იგი შეიძლება ფაქტიურზე 100-ჯერ ან 10 000-ჯერ ნაკლები აღმოჩნდეს, ხოლო ფაქტობრივი, თავის მხრივ, შეიძლება მეტი იყოს დასაშვებ ძაბვაზე. აღნიშნულის გამო ფაქტობრივი კონტაქტის ფართობის განსაზღვრა ფრიად მნიშვნელოვანი ამოცანაა.

ფაქტობრივ წნევად მიჩნეულია საკონტაქტო ზედაპირებისადმი ნორმალურად მიმართული დატვირთვის შეფარდება შეხების ფაქტობრივ ფართობთან

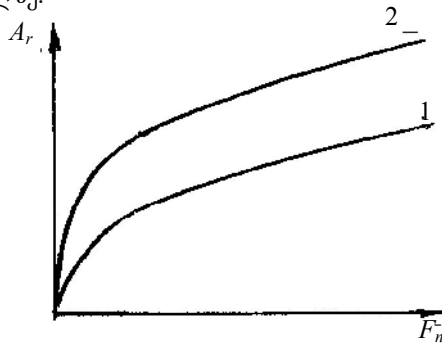
$$p_r = \frac{F_n}{A_r} = \frac{F_n}{\sum_{i=1}^n A_{ri}}, \quad (5.3)$$

სადაც P_r ფაქტობრივი წნევაა.

როგორც აღვნიშნეთ, ფაქტობრივი დაკონტაქტების ფართობი დამოკიდებულია ზედაპირის სიმქისის პარამეტრებზე, შეუღლებულ ზედაპირებზე მოდებული ნორმალური ძალის სიდიდესა და ზედაპირის მასალის გვარობაზე. სათანადოდ, დაკონტაქტების ფართობის

პროგნოზირება შესაძლებელია მოხაზუნე ზედაპირების პროფილის მეშვეობით მათი სიმაღლეთა დონის შესაბამისად.

შეხების კონტურული და ფაქტობრივი ფართობები და მათი ფარდობები კიდევ უფრო მეტად არიან დამოკიდებულნი ზედაპირებისადმი ნორმალურად მოქმედ F_n ძალაზე (ნახ. 5.4). F_n -ის გარკვეულ ზღვრამდე გაზრდით მნიშვნელოვნად იზრდება კონტაქტის ფართობი. ეს აიხსნება იმით, რომ დატვირთვის გამო მიკრობორცვების შვერები ზოგ შემთხვევაში, როცა ძაბვის სიდიდე აღემატება დენადობის ზღვარს, განიცდიან არაუკუქცევად დეფორმაციებს. ამასთან, ბორცვების შვერების შეხების ფაქტობრივი წნევა პლასტიკური კონტაქტის დროს თავისი მნიშვნელობით შეესაბამება მასალის სიმტკიცის ზღვარს, ხოლო დრეკადობის ზღვრებში კონტაქტის დროს – მნიშვნელოვნად უფრო მცირეა უკანასკნელზე.



ნახ. 5.4. მოხაზუნე ზედაპირების ფაქტობრივი საკონტაქტო ფართობის A_r დამოკიდებულება ნორმალურ F_n დატვირთვაზე [9]:
 1 – HB_1 სისაღის დროს; 2 – HB_2 სისაღის დროს. $HB_2 < HB_1$

აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ შეხების ფაქტობრივი ფართობისა და ნორმალური მიმართულების დატვირთვის დამოკიდებულება განსხვავებულია ხაზობრივისაგან.

შეხების ფაქტობრივი ფართობი, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორებისა, დამოკიდებულია მოხაზუნე შეუღლებული ზედაპირების მასალების მექანიკურ თვისებებზე – დენადობის ზღვარზე, სისაღესა და დრეკადობის მოდულზე. ამასთან, რაც უფრო მაღალია მასალის მექანიკური მახასიათებლები, მით უფრო ნაკლებია კონტაქტირების ფაქტობრივი ფართობი. სხეულების კონტაქტის ფაქტიური ფართობი და მათი ურთიერთქმედების ხასიათი დამოკიდებულია აგრეთვე მოხაზუნე ზედაპირების სისაღეთა მნიშვნელობების ფართობზე.

განასხვავებენ დაკონტაქტების შემდეგ პირობებს:

- მოხაზუნე შეუღლებული ზედაპირების სისაღეების მნიშვნელობები ერთი რიგისაა;
- მოხაზუნე შეუღლებული ერთი ზედაპირთაგანის სისაღე ბევრად ნაკლებია მეორეზე.

პირველ შემთხვევაში ნორმალური მიმართულების დატვირთვის შედეგად ხდება ზედაპირების თანდათანობითი დაახლოება, რომელსაც თან სდევს ახალ-ახალი საკონტაქტო ზომების წარმოქმნა. მოხაზუნე მასალების სისაღეების ერთმანეთისაგან განსხვავებისას სხეულების დაახლოება ხდება შედარებით რბილი მასალის მიკრობორცვების შევრების მოთვლევით და მეორე უფრო სალი ზედაპირის შევრების პირველში ჩაღრმავებით.

მეორე შემთხვევაში, როცა ერთი ზედაპირის სისაღე ბევრად ნაკლებია მასთან კონტაქტში მყოფ ზედაპირთან შედარებით, მეორის მიკრობორცვები მთლიანად ეფლობიან პირველის ზედაპირში.

დაკონტაქტების ასეთი სქემა დამახასიათებელია ისეთი შეუღლებისათვის, როცა ერთი სხეული დამზადებულია არალითონური მასალისაგან, მაგ., პოლიმერისაგან და როცა მისი დრეკადობის მოდული 200-ჯერ და უფრო მეტად ნაკლებია კონტრსხეულის დრეკადობის მოდულზე.

მოხაზუნე ზედაპირების ფაქტობრივი და კონტურული ფართობების გასაზომად საინჟინრო პრაქტიკაში რამდენიმე ეფექტური მეთოდი და ტექნიკური საშუალებებია შემუშავებული, რომელთა შორის აღსანიშნავია ხელსაწყოები, რომელთა მოქმედების პრინციპი ეფუძნება კონტაქტის ადგილის ელექტრული გამტარობის ფიქსირებას, ნივთიერებათა ერთი ზედაპირიდან მეორეზე გადატანას, რადიაქტიულ იზოტოპებს და ოპტიკურ-ფიზიკურ მეთოდებს.

5.2. ზედაპირული ფენის მექანიკური თვისებები და სტრუქტურა

მანქანათა ნაწილების დამზადების პროცესში ზედაპირების დამუშავება ტექნიკის განვითარების თანამედროვე დონეზეც კი წარმოქმნის მთელ რიგ პრობლემურ საკითხებს – დამზადების მეთოდის მიხედვით ხშირად მნიშვნელოვნად იცვლება ზედაპირული ფენის მიკროსტრუქტურა და ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები.

მანქანათა ნაწილების ზედაპირების მექანიკური დამუშავება იწვევს ზედაპირული ფენის პლასტიკურ დეფორმაციას და ტექნოლოგიური პარამეტრების შესაბამისად მის მეტ-ნაკლებ გამტკიცებას. ზედაპირული ფენის გამტკიცება, თავის მხრივ, განპირობებულია მასალის მექანიკური მაჩვენებლების (სიმტკიცისა და დენადობის ზღვრების) გაზრდით და პლასტიკურობის მაჩვენებლების შემცირებით. უმრავლეს შემთხვევაში ეს

მოვლენა მანქანათა ნაწილების ექსპლუატაციის პროცესში უარყოფით როლს თამაშობს. ზედაპირული ფენის განმტკიცება იწვევს მასალის სტრუქტურულ ანომალიებს, სტრუქტურულ მარცვლებში ნარჩენი ძაბვების წარმოშობას და მათ არათანაბარ განაწილებას. ყოველივე ეს კი – ლითონური მასალის სტრუქტურულ არამდგრად მდგომარეობას, რომელსაც დამზადების პროცესის დამთავრების შემდეგ ნორმალურ მდგომარეობაში დაბრუნების ტენდენცია აქვს. ამ პროცესს „დასვენების“ პროცესს უწოდებენ და მისი ეფექტურობა დამოკიდებულია დასვენების ხანგრძლივობაზე და ტემპერატურულ რეჟიმზე (ეფექტურობა იზრდება ტემპერატურის მომატებით).

ზედაპირების მექანიკური დამუშავების დროს ზედაპირული ფენის ფიზიკურ თვისებებზე დიდ გავლენას ახდენს ტემპერატურული რეჟიმი, რომელიც განპირობებულია დეტალის გარემოსთან თბოგაცვლის პროცესის პარამეტრებით. დამზადების პროცესში წარმოშობილი სითბოს ხარჯზე ხდება დეტალის გაუთვალისწინებელი ზედაპირული წრთობა.

მანქანათა ნაწილების მექანიკური მეთოდით დამზადების დროს ზედაპირული ფენის მდგომარეობაზე დიდ გავლენას ახდენს ის გარემოება, რომ მასში მექანიკური და თერმული ზემოქმედების შედეგად წარმოიქმნება ნარჩენი ძაბვები.

მანქანათა ნაწილებში ნარჩენი ძაბვის წარმოშობის მექანიზმი შემდეგნაირად შეიძლება იყოს წარმოდგენილი: მექანიკური დამუშავების პროცესში დეტალის პლასტიკურად დეფორმირებული (შეკუმშული) ზედა ფენები ცდილობენ ქვედა უცვლელი ფენების დეფორმირებას (გაჭიმვას), რომლებიც, თავის მხრივ, ეწინააღმდეგებიან პლასტიკური დეფორმაციების გავრცელებას, რის შედეგადაც ზედაპირულ ფენებში უმეტეს შემთხვევაში

ფორმირდება კუმშვის, ხოლო გულაში, ზედაპირიდან 50.....200 მკმ სიღრმეზე – გამჭვიში ნარჩენი დაბეჭდები. ნარჩენი დაბეჭდების წარმოშობას ხელს უწყობს აგრეთვე პროცესი, რომელიც დაკავშირებულია ლითონის ბურბუშელას აცლასთან. ინსტრუმენტის მეშვეობით ბურბუშელას აცლის დროს ხდება ზედაპირული ფენების ჭრის მიმართულებით გაჭიმვა, რაც, თავის მხრივ, ზედა ფენებში ამცირებს კუმშვის ნარჩენ დეფორმაციებს, ხოლო გულარში ზრდის გაჭიმვის ნარჩენ დეფორმაციებს.

ნარჩენი დაბეჭდების წარმოქმნის მნიშვნელოვანი წყაროა ტემპერატურული ცვლილებები, რომლის მექანიზმი ასეთია: ზედაპირული ფენის ამა თუ იმ მიზეზით და ხარისხით გახურების დროს მისი მოცულობა იზრდება. ქვედა ფენები და გულარი, რომლებმაც არ განიცადეს ტემპერატურული შემოქმედება, წინააღმდეგობას უწევენ ზედაპირული ფენების გაფართოებას, ხოლო გაცივების პროცესში, როცა ზედაპირული ფენის მოცულობა მცირდება, დეტალის გულარი, ბუნებრივია, ხელს უშლის მასალის კუმშვას. ტემპერატურული გრადიენტის მოხსნის შემდეგ ზედაპირულ ფენებში რჩება გაჭიმვის, ხოლო დეტალის გულში – კუმშვის ნარჩენი დაბეჭდები.

ამრიგად, ლითონური მანქანათა ნაწილების მექანიკური დამუშავების დროს პლასტიკური დეფორმაციები ზედაპირულ ფენებში იწვევენ კუმშვის, ხოლო მასალის ჭრის შედეგად აღმოცენებული თბური ეფექტები – გამჭვიში ნარჩენ დაბეჭდებს. აქ ნარჩენი დაბეჭდების ჯამური ნიშანი დამოკიდებულია ფაქტორის უპირატესობაზე.

იმავდროულად, კონსტრუქციულ მასალებში მასალის პლასტიკურობის მაჩვენებელი მდგომარეობას მთლიანად ვერ ათანაბრებს, იგი მხოლოდ არბილებს ნარჩენი დეფორმაციების გავლენას.

მანქანათა ნაწილების მუშაობის უნარის ამგვარი შეფასების დროს მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ რეკომენდაციებით, რომელიც ითვალისწინებს, რომ ტემპერატურის მიხედვით არჩევენ ლითონური სხეულების ორ მდგომარეობას – დრეკადს და პლასტიკურს (დრეკადისაგან განსხვავებით, პლასტიკურ მდგომარეობაში რეალურად ძაბვები არ გროვდება).

ნახშირბადოვანი ფოლადებისათვის კრიტიკულ ტემპერატურად, როცა ისინი პლასტიკურ მდგომარეობაში გადადიან, მიჩნეულია $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, ხოლო ლევირებული ფოლადებისათვის – $550\text{ }^{\circ}\text{C}$.

აღსანიშნავია აგრეთვე ის, რომ ზედაპირული ფენის საშუალო ტემპერატურა ხეხვის დროს $300 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ია, ხოლო უკიდურესი ზედაპირული ფენისათვის – $800 - 850\text{ }^{\circ}\text{C}$. ამავე რიგისაა ზედაპირული ფენის ტემპერატურული რეჟიმი ჩქაროსნული ჩარხვის დროსაც.

ზედაპირული ფენებისათვის თბური პროცესებით აღძრული და ნარჩენი დაძაბულობებით განპირობებული შიგა ძაბვა შეიძლება ასე გამოითვალოს:

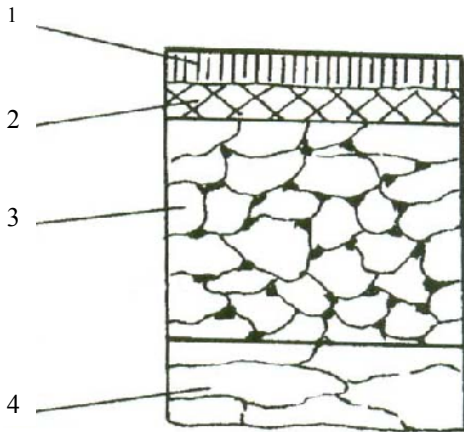
$$\sigma = 0,5(t_2 - t_1)\alpha E, \quad (5.4)$$

სადაც t_1 და t_2 შესაბამისად, ზედაპირული ფენის საწყისი და მაქსიმალური ტემპერატურაა; α – მასალის საზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი; E – მასალის დრეკადობის მოდელი მაქსიმალური ტემპერატურის დროს.

მანქანათა ნაწილებისა და საერთოდ, ზედაპირული ფენების ერთ-ერთი თავისებურება ის გახლავთ, რომ გარემო პირობებთან ურთიერთქმედების შედეგად იცვლება მათი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები, კერძოდ, ლითონის ზედაპირზე წარმოიქმნება ჟანგულების თხელი აფსკი,

რომელიც შესაძინევად მოქმედებს ტრიბოლოგიურ პროცესზე და მის პარამეტრებზე.

ზოგადად კი, მანქანათა ნაწილების ზედაპირების ხარისხი დამოკიდებულია მასალის მიკროსტრუქტურაზე, ზედაპირების მიკრო- და მაკროგეომეტრიაზე, ტალღურობასა და ნარჩენი დეფორმაციების ხარისხზე. მეორეს მხრივ, ზედაპირების ხარისხი დამოკიდებულია მასალის გვარობაზე, მისი დამუშავების მეთოდზე, გამოყენებული ინსტრუმენტის პარამეტრებზე, დამუშავების რეჟიმზე, შეზეთვის და გამაცივებელი საშუალებების სახეებსა და ინტენსივობაზე. ლითონური დეტალების ზედაპირული ფენები, რომლებიც მიღებულია ხეხვის საფინიშო ოპერაციით, გამოირჩევიან არაერთგვაროვნებით. ფენათა არაერთგვაროვნების გადანაწილება ფენების სიღრმის მიხედვით მოცემულია 5.5 ნახ-ზე.



ნახ. 5.5. ფენათა არაერთგვაროვნების გადანაწილება ფენების სიღრმის მიხედვით

ნახ. 5.5-ზე 1 არის სასაზღვრო ფენა, სადაც აღსორბირებულია სინესტე, გაზები, შემწვით-გამაცივებელი სითხეები, რომელთა მოცილება შესაძლებელია მხოლოდ ვაკუუმში, ისიც გაცხელების შედეგად. ამ ფენის სისქეა 0,0002...0,0008 მკმ; 2 – დეფორმირებული ფენა, რომელიც ფორმირდება ძლიერ დაქუცმაცებული ნაწილაკებით და დამახინჯებული კრისტალური მესრით. ამ ფენაში ხეხვის შედეგად წარმოქმნილი მაღალი ტემპერატურა იწვევს ნახშირბადის გამოწვას, რასაც მოსდევს ფენისათვის დამახასიათებელი ჟანგეულების, ნიტრიდების, საპაერო ბუშტების, ნაპრალეების გაჩენა. ამ ფენის სისქე იცვლება 0,0002...0,008 მკმ ზღვრებში. 3 – ფენა წარმოდგენილია ძლიერ დეფორმირებული სტრუქტურული მარცვლებით, რომელიც გამოწვეულია სახეხი წრის დაწნევით და ხეხვის ტანგენციალური ძალებით. ამ ფენისათვის დამახასიათებელი სპეციფიკაა ის, რომ მაღალი ტემპერატურის მოქმედებით მასში წარმოიქმნება სტრუქტურულად თავისუფალი ცემენტიტი და ფენის სისქე შეადგენს 0,8...5 მკმ. 4 – ფენა წარმოადგენს საწყის სტრუქტურას, რომელიც შეესაბამება სხეულის ძირითადი მასის სტრუქტურულ აგებულებას.

ზოგადად ზედაპირული ფენის შესახებ შესაძლებელია ითქვას შემდეგი: თუ მხედველობაში არ მივიღებთ აღსორბირებულ ზედაპირს, ზედაპირული ფენა, რომელიც მიიღება ინსტრუმენტის ზემოქმედების მეშვეობით, შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან: 1) გარეთა მეტად თხელი ფენა საკმაოდ დამახინჯებული კრისტალური მესრით, რაც დარღვეული სტრუქტურული მარცვლებია, და 2) გამოკვერილი ფენა, რომელსაც გამოკვეთილი კრისტალური სტრუქტურა აქვს.

ზედაპირული ფენის განმტკიცება შეიძლება შეფასდეს მიკროსისალის (საწყისთან შედარებით) ცვალებადობის შესაბამისად. ცნობილია, რომ მიკროსისალის მაჩვენებელი მცირდება დეტალის ზედაპირიდან დაშორების შესაბამისად, ამასთან, დაცემის ხარისხი განსაკუთრებით მკვეთრია მეორე ფენაში, რომელიც ხასიათდება დამახინჯებული კრისტალური მესრით, ხოლო გამოკვერვით ზედაპირების განმტკიცების ეფექტი ნაკლებად შესამჩნევია მტკიცე და მყიფე მასალებისათვის, და პირიქით, ეფექტურია ნაკლებად მტკიცე და ბლანტი, მცირენახშირბადიანი მასალების შემთხვევაში.

დეტალების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესების გავლენა ზედაპირულ ფენებზე ზოგადად შეიძლება საკმაოდ დიდ სიღრმეზე გავრცელდეს. მაგალითად, გაჩარხვის დროს ზემოთ ნახსენები ფაქტორების გავლენით ზედაპირული ფენა შეიძლება იცვლებოდეს 0,25...2,0 მმ ზღვრებში, ხოლო ხეხვის დროს – 2...25 მკმ და 0,2 მკმ-მდე – პოლირების დროს.

ზედაპირულ ფენებში ამა თუ იმ ფაქტორის მანე გავლენის ძირითად მაჩვენებლად (რა თქმა უნდა, სტრუქტურულ ცვლილებებთან ერთად) მიჩნეულია დამზადების პროცესის დამთავრების შემდეგ დაბაბული მდგომარეობის შენარჩუნება.

ექსპერიმენტული კვლევებით დადასტურებულია, რომ ნარჩენი ძაბვების სიდიდემ ლითონურ დეტალებში შეიძლება შეადგინოს 500...1000 მპა. ამასთან, ისინი შეიძლება იყოს როგორც გამჭიმში, ისე მკუმშავი ხასიათის. ე.ი. ნარჩენი ძაბვების სიდიდე შესაძლებელია აღემატებოდეს მასალის ზღვრულ სიმტკიცეს, რაც, თავის მხრივ, იმას ნიშნავს, რომ დეტალმა შეიძლება დატვირთვის გარეშე განიცადოს რღვევა, დაკარგოს

თავისი ფუნქციური დანიშნულება – გატყდეს, გაიბზაროს, შეიცვალოს გეომეტრიული ფორმა და ა. შ.

რივი ავტორების მიერ დაფიქსირებულია მეტად საინტერესო მომენტებიც. მაგალითად, როცა ტექნოლოგიური რეჟიმების რაოდენობრივი ცვლილებები იწვევენ თვისობრივს – გამჭიმში დაბვა იცვლება მკუმშავით.

პროფ. ა. სუსლოპაროვის ექსპერიმენტული გამოკვლევის დროს დეტალის (ფოლადი 45) დამუშავება ხდებოდა წმინდა გაჩარხვით სალი შენადნობიანი საჭრისით გაცივების გარეშე; ხოლო გრძივი მიწოდება შეადგენდა 0,1 მმ-ს. ექსპერიმენტის შედეგი ასეთი აღმოჩნდა: 100მ/წმ ჭრის სიჩქარის დროს ნარჩენი დაბვა ზედაპირულ ფენაში იყო გამჭიმში და შეადგენდა 70 მპა-ს, 200 მ/წთ ჭრის სიჩქარის დროს – 0-ს, ხოლო 400 მ/წთ ჭრის სიჩქარის დროს ნარჩენი დაბვა იყო უკვე მკუმშავი – 166 მპა.

მიკროსკოპული არაერთგვაროვნება მეტ-ნაკლებად დამახასიათებელია ყველა მყარი სხეულისათვის, ხოლო ლითონებში არაერთგვაროვნება განპირობებულია ლითონთა კრისტალების გარკვეული ანიზოტროპიულობით. მექანიკური წესით დამუშავებული ლითონური დეტალებისათვის არაერთგვაროვნება კიდევ უფრო მეტადაა გამოკვეთილი, როგორც ქიმიური აქტივობის, ისე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების თავისებურებების მხრივ და ყველა მათგანი ძირითადად დამოკიდებულია დამზადების პროცესის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე.

ამრიგად, მანქანათა ნაწილების საიმედოობის მაჩვენებლები, კერძოდ, ხანგამძლეობა, დიდად არის დამოკიდებული დეტალის დამუშავების ტექნოლოგიურ რეჟიმზე (ჭრის სიჩქარის, მიწოდების სიდიდის, ტემპერატურული რეჟიმის, ინსტრუმენტის გეომეტრიის და ა.შ.) და მეთოდების (მექანიკური, ლაზერული, ქიმიურ-თერმული და ა.შ.) სწორ

შერჩევაზე, რის შესაბამისადაც, ოპტიმალური არჩევანი ზოგ შემთხვევაში შესაძლებლობას იძლევა, რამდენიმეჯერ გავადილოთ დეტალის მუშაობის რესურსი.

5.3. ხახუნის თეორიები და მუშა ზედაპირების კონტაქტები

მეცნიერული წარმოდგენა ხახუნის ბუნებაზე კაცობრიობის განვითარების ისტორიაში იცვლებოდა იმის მიხედვით, თუ რა წარმოდგენა ჰქონდათ და როგორი იყო მეცნიერების ცოდნის დონე მყარი სხეულების ბუნებაზე იმ პერიოდისათვის. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ორ სხეულს შორის ხახუნი წარმოიქმნება, როცა ისინი ერთმანეთის მიმართ გადაადგილებიან (კინეტიკური ხახუნი) ან მათი ურთიერთგადაადგილების მცდელობისას (უძრაობის, სტატიკური ხახუნი). ამასთან, ხახუნის მოვლენა განპირობებულია მყარი სხეულების ზედაპირების ურთიერთქმედებით (გარე ხახუნი) ან თვით სხეულში სტრუქტურული ელემენტების ერთმანეთის მიმართ გადაადგილებით (შიგა ხახუნი). უკანასკნელი შეიძლება ხდებოდეს როგორც თხევად და აიროვან ნივთიერებებში, ისე მყარ სხეულებში.

ბოლო ათწლეულების მეცნიერულმა გამოკვლევებმა დაამტკიცეს, რომ ტრიბოლოგიურ პროცესში მექანიკურის პარალელურად არსებობს ელექტრული, მაგნიტური, თბური და სხვა მოვლენები. ამ მოვლენათა კომპლექსი კონტაქტის ზონაში წარმოშობს სხეულთა ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობას, რომლის ტოლქმედი პირობითად მიჩნეულია ხახუნის ძალად.

ტრიბოტექნიკის განვითარების ადრეულ ეტაპზე (XVII-XVIII სს.) ხახუნის ბუნების ახსნას ცდილობდნენ მექანიკური თეორიით, რომელსაც

პირობითად „გეომეტრიულსაც“ უწოდებენ. ამ თეორიის თანახმად ხახუნის არსის ახსნა ხდებოდა მხოლოდ გეომეტრიული მოსაზრებებით, კერძოდ, მიკრობორცვების გადალახვის წინააღმდეგობით, რაც შეესაბამებოდა მყარი სხეულების მექანიკის განვითარების იმ პერიოდს, როცა მყარი სხეულები აბსოლუტურად ხისტად იყო მიჩნეული. აღნიშნულის შესაბამისად, ხახუნის კოეფიციენტი მიიღებოდა ერთეულოვანი მიკრობორცვის დახრის კუთხის ტანგენსის ტოლად (პარანი, ეილერი). ამავდროულად, ეფუძნებოდა რა ტრიბოლოგიური პროცესის არსზე პირვანდელ წარმოდგენებს, მექანიკური თეორია ვერ ხსნიდა რიგ მოვლენებს. მაგალითად, ამ თეორიის თანახმად, ყოველგვარ ლოგიკას ეწინააღმდეგება ცვეთის ინტენსივობის გაზრდა ძლიერ მცირე სიმქისის ზედაპირების შემთხვევაში, რაც ასე მარტივად დასტურდებოდა ექსპერიმენტებით (როცა სიმქისის პარამეტრები $R_a \leq 0,32 \dots 0,04$ მკმ, მიკრობორცვზე ასვლის წინააღმდეგობა პრაქტიკულად არ არსებობს, ვინაიდან კუთხე ბორცვის ძირთან გატარებული პროფილის და ჰორიზონტს შორის $1 \dots 2^\circ$ -ზე ნაკლებია).

ტრიბოლოგიურ პროცესის თანამედროვე წარმოდგენას საფუძვლად უდევს საბჭოთა მეცნიერ ი. კრაგელსკის თეორია (1939 წ.), რომელიც იწოდება მოლეკულურ-მექანიკურად და რომელიც ეფუძნება ფარდობით გადანაცვლების დროს სხეულთა ურთიერთქმედების ორ სახეს:

ა) მოლეკულურს, რომელიც განპირობებულია ორ სხეულს შორის ატომურ-მოლეკულური ურთიერთქმედებით;

ბ) მექანიკურს, რომელიც განპირობებულია იმ მუშაობით, რომელიც ხმარდება სხეულის გარკვეული მოცულობის დეფორმაციას ერთი სხეულის შვერის მეორეში ჩაღრმავების დროს.

ი. კრაგელსკის თეორიის თანახმად, წინააღმდეგობის ორივე ფაქტორი ერთად შეადგენს ხახუნის ძალის წინააღმდეგობას.

5.4. მოლეკულური ურთიერთქმედება ტრიბოლოგიურ პროცესში

მოლეკულური ურთიერთქმედება სხეულებს შორის სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში ხახუნის შესახებ უმეტესად ადჰეზიურ შემდგენად იწოდება. შესაბამისად, ხახუნის ძალის ამ შემდგენისათვის შემოვიღოთ აღნიშვნა – F_a .

პირველად ტრიბოლოგიური პროცესის მოლეკულური თეორია წარმოადგინა ინგლისელმა ფიზიკოსმა ი. დეზარგიულემ (1704 წ.). შემდგომ ეს მიმართულება განავითარეს ასევე ინგლისელმა მეცნიერებმა – უ. ჰარდიმ (1919წ.), გ. ტომლინსონმა (1929 წ.) და საბჭოთა მეცნიერმა ბ. დერიაგინმა (1934 წ.). აქვე შეიძლება ვახსენოთ ცნობილი ინგლისელი მეცნიერის – ფ. ბოუდენის შრომები, სადაც მყარ სხეულებს შორის შეღულების კავშირების საფუძვლად იგულისხმება მოლეკულური ურთიერთქმედება.

როგორც ადრე აღვნიშნეთ, ორი მყარი სხეულის მოლეკულური ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილ წინააღმდეგობას მათი ფარდობითი სრიალის დროს F_a ადჰეზიურ შემდგენს განაპირობებს მოხახუნე ზედაპირების შეჭიდულება და მათი ადჰეზიური თვისებები. უკანასკნელი, თავის მხრივ, შედეგია იმ ძალთა ველის მოქმედებისა, რომელიც წარმოიქმნება იმ მოლეკულების (ატომების, იონების) მუხტით, რომლებიც შეადგენენ საკონტაქტო ზედაპირის ზედა ფენას. ამ ველის მოქმედება ექსპონენციური კანონის მიხედვით მცირდება ზედაპირიდან მანძილის გაზრდის შესაბამისად და ზედაპირული ფენიდან 0,001-0,002

მკმ მანძილზე ვან-დერ-ვაალსის ძალების* მნიშვნელობა პრაქტიკულად უტოლდება ნულს.

დღეს აღიარებული ხახუნის თეორიის მიხედვით მიჩნეულია, რომ ადკეზიური შემდგენი ვან-დერ-ვაალსის ძალებითაა განპირობებული. ნათქვამი დასტურდება იმით, რომ ტრიბოლოგიურ პროცესში სხეულის რღვევის პროდუქტები არის მოლეკულები ან მოლეკულების ჯგუფი დიდი მაკრომოლეკულების სახით, ხოლო სხეულის ნაწილებს შორის გადანაცვლება-დეფორმაციათა მასშტაბები მოლეკულურია. ამიტომ ხახუნის პროცესის შესწავლის დროს შიგა მოლეკულური, ატომური კავშირები არ განიხილება. გამონაკლისია წყალბადოვანი (პროტონული) კავშირები, რომლებიც ერთდროულად შიგამოლეკულური და მოლეკულათშორისი კავშირებია. ასევე დამტკიცებულია, რომ ვან-დერ-ვაალსის ძალები მაქსიმალურ სიდიდეს აღწევენ, როცა მაღალია სხეულების ზედაპირების დამუშავების ხარისხი, კერძოდ, მაღალია სიმქისის მაჩვენებლები, ზედაპირები სუფთაა ქიმიურად და ფიზიკურად და, ამასთან, მანძილი საკონტაქტო ზედაპირების ელემენტებს შორის არ აღემატება $(3-5) \cdot 10^{-4}$ მკმ-ს. დაწვევა, რომელიც წარმოიქმნება ატომურ-მოლეკულური მიზიდულობის შედეგად ურთიერთკონტაქტში მყოფ ზედაპირებს შორის, ბუნებრივია, დამოკიდებულია მასალების გვარობასა და ზედაპირების მდგომარეობაზე (მაგ., პროფილის პარამეტრებზე), ჟანგის აფსკის არსებობაზე,

* ვან-დერ-ვაალსის ძალები მოლეკულების სპეციფიკური ურთიერთქმედებაა. მისი მეშვეობით შესაძლებელი ხდება დიდი მაკრომოლეკულის შექმნა და იგი მოლეკულათშორის ძალად იწოდება. ამის გამო აღნიშნული ძალები მკვეთრადაა გამოხატული მყარ ნივთიერებებში და ნაკლებად – აიროვანსა და თხევადში, ე.ი. ნაკლებად იქ, სადაც მოლეკულებს შორის მანძილი დიდია. ვან-დერ-ვაალსის ძალები მოლეკულების ელექტრონული ველების ურთიერთქმედებაა ელექტრონების ერთმანეთში გასხვლის გარეშე.

ადსორბციის ხარისხზე და ა. შ. გამოკვლევების შედეგად დადგენილია, რომ ფოლადის ზედაპირისათვის, როდესაც მანძილი მათ შორის 0,005-0,01 მკმ-ია, სხეულთა ადჰეზიის შედეგად წარმოქმნილმა წნევამ შეიძლება 10^5 პა-ს მიაღწიოს.

არსებული მწყობრი თეორიის მიუხედავად, ხახუნის ძალის ადჰეზიური შემდგენის განსაზღვრა თანამედროვე მეცნიერების დონეზე პრაქტიკულად შეუძლებელია ადჰეზიური კავშირების რთული ბუნებისა და მრავალი ცვლადი ფაქტორების გამო, რომლებიც საბოლოო ჯამში განაპირობებენ ელემენტების ურთიერთქმედების პროცესს. აღნიშნულის გამო ხახუნის კოეფიციენტის ადჰეზიურ შემდგენს უმეტესწილად განსაზღვრავენ ემპირიული დამოკიდებულებიდან, როდესაც ძირითად არგუმენტად მიჩნეულია კონტაქტში მყოფი სხეულების ერთმანეთზე მიჭერის, ნორმალური წნევის საშუალო მნიშვნელობა.

5.5. მექანიკური ურთიერთქმედება ტრიბოლოგიურ პროცესში

ხახუნის ძალის მეორე შემდგენი, რომელიც ასახავს სხეულთა მექანიკურ ურთიერთქმედებას სხეულთა ფარდობითი სრიალის დროს, როცა ერთის შვერი კონტაქტში არის მეორესთან და იწვევს მის მორღვევას ან დეფორმაციას, თანამედროვე ლიტერატურაში მოიხსენიება, როგორც კოჰეზიური შემდგენი და აღინიშნება F_c -თი.

იმის გამო, რომ ზემოხსენებულ მექანიკური ურთიერთქმედებით შვერების მოჭრასთან ერთად ხდება მათი დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციები, სხეულთა ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობის ამ შემდგენს მადეფორმირებელსაც უწოდებენ. ხახუნის დარგში პირველი

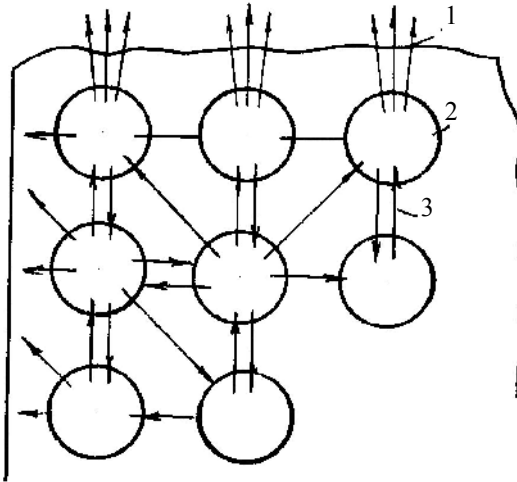
თორია ამ შეხედულების გათვალისწინებით წარმოადგინა (1801 წ.) ინგლისელმა ფიზიკოსმა დ. ლესლიმ, რომელიც თვლიდა, რომ ხახუნი განპირობებულია დეფორმაციის ტალღით, რომელიც წინ მიუძღვის მეორე სხეულში ჩაღრმავებულ პირველი სხეულის შვერს. 1921 წელს გერმანელმა მეცნიერმა ლ. ჰუმბელმა კი ჩამოაყალიბა თეორია, რომელიც ხახუნის ძალის წინააღმდეგობად მიიჩნევდა ერთი სხეულის შვერით მეორის მასალის გამოდევნის ფაქტს. თავის დროზე მასალის პლასტიკური გამოდევნის ეს თეორია საკმაოდ დამაჯერებლად გამოიყურებოდა, მაგრამ საბოლოოდ მაინც ვერ გაუძლო ექსპერიმენტული შემოწმების რიგ სირთულეებს და საჭირო აღიარება ვერ მოიპოვა. ხახუნის ძალის კოჰეზიური შემდგენი შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ:

$$F_j = \sum_{i=1}^m F_{ji}, \quad (5.5)$$

სადაც m შვერების რაოდენობაა საკონტაქტო ზედაპირზე; F_{ji} – ხახუნის ძალის კოჰეზიური შემდგენი i -ური შვერისათვის.

კოჰეზიური ძალები თავისი არსით მცირედ განსხვავდებიან ადჰეზიური ძალებისაგან. მეტიც, ისინი ერთი ბუნებისანი არიან და ემყარებიან ატომურ-მოლეკულურ ურთიერთქმედებას. განსხვავება მხოლოდ მათი მოქმედების სფეროებია. კოჰეზიური ძალები ადჰეზიურისაგან განსხვავებით, რომლებიც სხეულის ზედაპირზეა მოდებული, მოქმედებენ სხეულის შიგნით და წინააღმდეგობას უწევენ ყოველი სახის დეფორმაციებს. ე.ი. თუ ძალები მოქმედებენ სხეულის ზედაპირზე, ისინი იწვევენ ადჰეზიურ მოვლენებს და თუ სხეულის შიგნით მოქმედებენ, კოჰეზიურს. ყოველი ზემოქმედება სხეულზე, რომელიც იწვევს მისგან მისი ელემენტების აგლეჯას, კოჰეზიური ძალების წინააღმდეგობის შედეგია.

ადპეზიური და კოპეზიური ძალების თვალსაჩინო ილუსტრაცია მოცემულია 5.6 ნახ-ზე.



ნახ. 5.6. ადპეზიური და კოპეზიური ძალების მოქმედების პირობითი სქემა:

1 – ადპეზიური ძალები; 2 – სხეულის ელემენტები; 3 – კოპეზიური ძალები

ადპეზიური და კოპეზიური ძალების ნათლად წარმოდგენისათვის გავაკეთოთ შემდეგი სახის დაშვებები შესაბამისი შეფასებებით:

- 1) ორი ერთმანეთის მიმართ მოძრავი სხეულის მუშა ზედაპირები აბსოლუტურად გლუვია, რაც შეესაბამება წინააღმდეგობის ძალების ადპეზიურ ხასიათს;
- 2) ორ ერთმანეთის მიმართ მოძრავ სხეულს აქვს რეალური, მქისე ზედაპირები – მაშინ წინააღმდეგობის ძალებს აქვს როგორც ადპეზიური, ასევე კოპეზიური ხასიათი.

ამრიგად, რეალური გარე ხაზუნის ბუნებაში ადჰეზიური და კოჰეზიური ძალების მოქმედების შედეგია და იგი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც ადჰეზიური F_a და კოჰეზიური F_c შემდგენების ჯამი:

$$F_f = F_a + F_c, \quad (5.6)$$

სადაც F_f ჯამური გარე ხაზუნის ძალაა.

ხაზუნის თეორიის განვითარების დღევანდელ ეტაპზე საპრობლემო საკითხია ხაზუნის ძალის შემდგენების თანაფარდობის დადგენა. საქმე იმაშია, რომ ხაზუნის პროცესში შეიძლება გამოყოფილ იქნეს სხეულთა ურთიერთქმედების შემდეგი სახეები:

- მასალათა დრეკადი დეფორმაცია;
- მასალათა პლასტიკური დეფორმაცია;
- მოხაზუნე ზედაპირებში შეჭრილი შვერების ჭრა;
- ჟანგის აფსკების შეჭიდულობა და მათი რღვევა;
- ზედაპირების მოლეკულური შეჭიდულობა, რომელსაც თან სდევს სიღრმითი ამოგლეჯები.

ურთიერთქმედების ზემოთ მოყვანილი სახეების მნიშვნელობის რაოდენობრივი მაჩვენებლები განაპირობებენ F_a და F_c შემდგენების თანაფარდობას ტრიბოლოგიურ პროცესში, რაც, თავის მხრივ, განსაზღვრავს ზედაპირების დაშლის ხასიათსა და ინტენსივობას, შესაბამისად, მანქანათა ნაწილების საიმედოობას და, კერძოდ, ხანგამძლეობას.

5.6. მასალის მექანიკური თვისებების შეფასება დადებითი

გრადიენტის წესით

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ტრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუირების დროს მნიშვნელოვანი მომენტია მოხაზუნე წყვილებისათვის მასალებისა და მათი ზედაპირების დამუშავების მეთოდის შერჩევა. ორივე ფაქტორი ერთად მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს მოხაზუნე ზედაპირული ფენის საერთო მდგომარეობას. აღნიშნულის გამო თანამედროვე საინჟინრო და მეცნიერულ პრაქტიკაში ტრიბოლოგიური სისტემების შრომისუნარიანობის ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ კრიტერიუმად შეიძლება იქნეს მიჩნეული „გრადიენტის წესის“ გამოყენება.

გრადიენტის წესი ითვალისწინებს განისაზღვროს მასალის მექანიკური მაჩვენებლის ცვლილების სურათი – გრადიენტი ზედაპირის ნორმალის მიმართულებით (თვალსაჩინოებისათვის მექანიკურ მაჩვენებელს ზოგჯერ გამოსახავენ ვექტორის სახით). თუ მასალის მექანიკური მაჩვენებელი, მაგ., სიმტკიცის ზღვარი σ_b იზრდება ზედაპირის სიღრმის მიმართულებით, გრადიენტი დადებითია $\frac{d\sigma_b}{dz} > 0$ (ნახ. 5.7ა), სადაც σ_b მასალის მექანიკური მაჩვენებელია, ხოლო z – მიმდინარე კოორდინატი ზედაპირის ნორმალის მიმართულებით, მაშინ მოხაზუნე წყვილის ხაზუნის პროცესისათვის შექმნილია მიზანშეწონილი, ოპტიმალური პირობები. შემოსუნებული მიიღწევა იმით, რომ ტრიბოლოგიურ პროცესში დეფორმაციის ზონა არ ვრცელდება დიდ სიღრმეზე და დეფორმირდება მხოლოდ ზედაპირული თხელი ფენა, რაც მნიშვნელოვანი პირობაა იმისა,

რომ არ მოხდეს დეტალის სიღრმისეული რღვევა, ე. ი. დეტალის ინტენსიური ცვეთა.

თუ დეტალის მოხაზუნე ზედა ფენას აქვს უფრო მაღალი სიმტკიცის მაჩვენებელი ვიდრე ძირითად მასას (ნახ. 5.7ბ), გრადიენტი უარყოფითია $\left(\frac{d\sigma_b}{dz} < 0\right)$ და მოხაზუნე წყვილისათვის შექმნილია ყველა წინა პირობა ინტენსიური ცვეთისათვის. ეს კი გამოწვეული იქნება დეტალის ზედაპირული რღვევით მოხაზუნე ფენების ერთმანეთთან შეჭიდულობისა და სიღრმისეული ფენების ნაკლები სიმტკიცის გამო. პროცესის ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მოხაზუნე ზედაპირიდან ხდება მასალის პატარა გუნდების სიღრმისეული ამოვლევა, რაც, თავის მხრივ, ფრიად უარყოფით მოვლენად ითვლება.

ზემოთ ნათქვამის გათვალისწინებით შეიძლება დამატებით დავასკვნათ, რომ ტრიბოლოგიურ პროცესში მნიშვნელოვანი ფაქტორია ის, რომ სხეულების ადჰეზიური კავშირების სიმტკიცე უნდა განსხვავდებოდეს სიღრმისეული ფენების სიმტკიცისაგან. ამასთან, ჭეშმარიტი გარე ხაზუნის პროცესის დამყარებისათვის საჭიროა, რომ სიღრმისეული ფენების სიმტკიცე მეტი იყოს ადჰეზიური კავშირების სიმტკიცეზე (დადებითი გრადიენტი), აღნიშნულ შემთხვევაში დეფორმაციები ვრცელდება მხოლოდ თხელ ზედაპირულ ფენებში და ცვეთა ნაკლებად ინტენსიურია. თუ ადჰეზიური კავშირების სიმტკიცე მეტია სიღრმისეული ფენების სიმტკიცეზე (უარყოფითი გრადიენტი), დეფორმაციები მოცულობითია და, შესაბამისად, ცვეთა ინტენსიური იქნება. ე. ი. ტრიბოლოგიური პროცესის ხელსაყრელად წარმართვისათვის უნდა ზორციელდებოდეს დადებითი გრადიენტის წესი. ამასთან, საჭიროა გავითვალისწინოთ ის, რომ როგორც

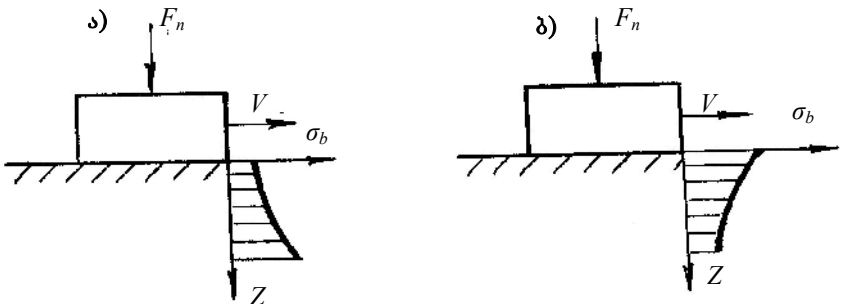
კი ირღვევა დადებითი გრადიენტის წესი, გარე ხახუნის პროცესთან ერთად იწყება შიგა ხახუნი, და რომ ამ მოვლენას დიდად უწყობს ხელს კონტაქტის ზონაში წარმოშობილი მაღალი ტემპერატურა. უკანასკნელი განპირობებულია იმით, რომ ტემპერატურის მომატება ძლიერ მოქმედებს ზედაპირის დამცველი აფსკების სიცოცხლის უნარზე.

საკუთარი და სხვა მკვლევრების დაკვირვებათა საფუძველზე ჩვენს მიერ გაკეთებული იქნა დასკვნები იმის შესახებ, რომ ტრიბოლოგიური სისტემების მუშაობის რადიკალური გაუმჯობესება დადებითი გრადიენტის განხორციელების გზით შესაძლებელი იქნება თუ მოხერხდება:

1) ისეთი „ქერცლიანი“ მოხახუნე ზედაპირის (ერთ-ერთის) ფორმირება, რომლისთვისაც ნიშანდობლივია რბილი, დანაწევრებული, დეფორმირებადი სასახლვრო ფენები;

2) 1-ლ პუნქტში აღწერილ ზედაპირზე დანაწევრებულ ფენებში თხევადი ან აიროვანი პროდუქტების შეყვანა.

ამ მიმართულებით საინტერესო დაკვირვება აქვს დ. გარკუნოვს, რომელმაც დააფიქსირა, რომ თევზებს, ფრინველებს, თაგვებს, თხუნელებს უმცირესი წინააღმდეგობა აქვთ შესაბამის გარემოში მათი მოძრაობისას.



ნახ. 5.7. მასალის მექანიკური მახასიათებლების გრადიენტის განსაზღვრის წესი: ა - დადებითი გრადიენტი; ბ - უარყოფითი გრადიენტი.

შესაბამისად უნდა ვიფიქროთ, რომ აღნიშნული მოვლენა შეიძლება აიხსნას სწორედ მათი სხეულის ზედაპირების „ქერცლიანობით“ და დანაწევრებულ მოხაზუნე ფენებს შორის თხევადი ან აიროვანი „ბალიშების“ არსებობით.

ბუნების ზემოთ ნახსენებ ანალოგებზე დაკვირვებების და რეკომენდაციების თეორიული დასაბუთება ჯერჯერობით პრობლემურად გამოიყურება და გადაწყვეტას მოითხოვს.

დღეს კი საინჟინრო პრაქტიკაში დადებითი გრადიენტის განხორციელების მიღწევა შეიძლება ისეთი კონკრეტული, კონსტრუქციული გადაწყვეტილებებით, როგორიცაა:

- საკონტაქტო ზონაში ისეთი შემზეთი მასალების გამოყენება, რომლებიც ამცირებენ ზედაპირული ფენების სიმტკიცეს ფენის ადსორბირების საფუძველზე (რეზინდერის ეფექტი) ან ქიმიური ზემოქმედების შედეგად;
- მცირე სიმტკიცის მქონე თხელი ლითონური ან სხვა მასალების გამოყენება ზედაპირების დაფარვის მიზნით;

ზოგადი დასკვნით ტრიბოლოგიური სისტემების ეფექტური მუშაობა მნიშვნელოვანწილად არის განპირობებული შერჩევითი გადატანის განხორციელებისათვის საჭირო წინაპირობების შექმნით. ერთ-ერთ ასეთად შეიძლება მივიჩნიოთ ტრიბოლოგიურ სისტემებში გამოყენებული მასალების ზედაპირული ფენების სიღრმითი მიმართულებით დადებითი გრადიენტის მიღების პირობა.

VI ტაპი

ტრიბოლოგიური პროცესი შიმშილითი მასალაში

6.1. შემზეთი მასალის დანიშნულება და თვისებები

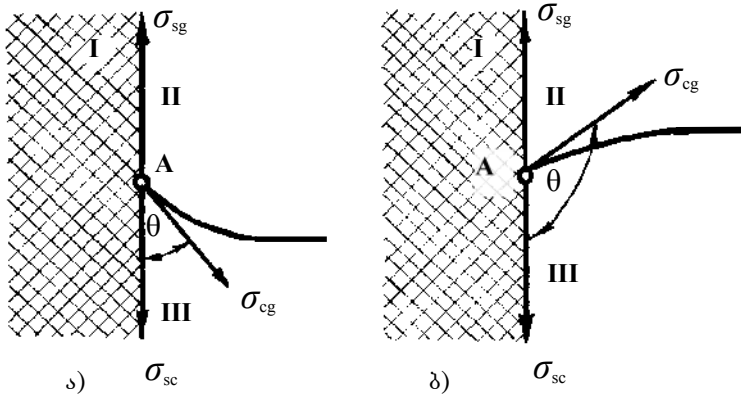
შემზეთი მასალის დანიშნულებაა ტრიბოლოგიურ სისტემაში შეამციროს ხახუნის ძალები და ცვეთის ინტენსივობა. გარდა ამისა, შემზეთი მასალის გამოყენება ხელს უწყობს ტემპერატურისა და დაწნევის მნიშვნელობათა გათანაბრებას ხახუნის ზონებში, სითბოს არინებას მაქსიმალური ტემპერატურის ზონიდან, დარტყმითი დატვირთვების და რხევების შემცირებას, კოროზიისაგან მასალების დაცვას, ცვეთამდევი ჟანგეულებისა და სერვოვითული აფსკების წარმოქმნას და ა. შ.

ყოველივე ეს მიიღწევა იმის მეშვეობით, რომ შემზეთი მასალა ერთმანეთისაგან აცალკევებს მოხახუნე ზედაპირებს და, შესაბამისად, ამცირებს ურთიერთაღკეზიურ და მექანიკურ ზემოქმედებას.

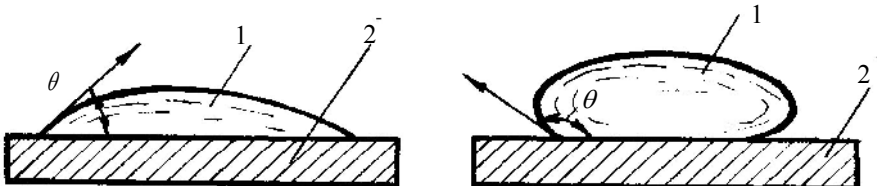
შემზეთი მასალების დამახასიათებელ თვისებად ითვლება მასალის სტრუქტურულ ელემენტებს (ფენებს, მოლეკულებს, ატომებს, იონებს) შორის სუსტი ურთიერთმიზიდულობა. უკანასკნელი განაპირობებს იმას, რომ სტრუქტურული ელემენტების ფარდობით გადაადგილებაზე იზარჯება ენერჯის მცირე ნაწილი, რაც, თავის მხრივ, ხსნის მცირე წინააღმდეგობის ეფექტს ხახუნის პროცესში. სხვა სიტყვებით, ხახუნის მცირე წინააღმდეგობა მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთ-მოძრაობის დროს ძირითადად აიხსნება შემზეთი მასალის შიგა ხახუნის მცირე მნიშვნელობით.

შემზეთი მასალის აუცილებელი თვისებაა, რომ მას ჰქონდეს მოხახუნე ზედაპირის შეზეთვის უნარი. ამისათვის იგი უნდა ასველებდეს მას. კარგი დასველების უნარი ოპტიმალური შეზეთვის ძირითადი პირობაა. განვიხილოთ ამ მოვლენის ზოგიერთი პარამეტრი: კუთხე θ

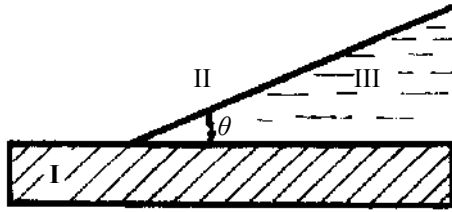
იწოდება დასველების კუთხედ და იგი განსაზღვრავს შემზეთი სითხის მყარი სხეულის დასველების ხარისხს. დასველების კუთხე θ , რომელიც ზოგჯერ სასაზღვროდაც იწოდება, არის კუთხე დასველებულ ზედაპირსა და სითხის მენისკის მყარ სხეულთან შეხების წერტილში გავლებულ მხებს შორის (ნახ. 6.1, 6.2, 6.3). თუ $\theta < \frac{\pi}{2}$, მაშინ შემზეთი სითხე ასველებს მონახუნე ზედაპირს და თუ $\theta > \frac{\pi}{2}$, სითხე ზედაპირს არ ასველებს.



ნახ. 6.1. სითხის მენისკის სხვადასხვა ფორმები ვერტიკალურ ზედაპირზე: ა – შეზნეკილი მენისკი; ბ – ამობურცული მენისკი; I – მყარი სხეული; II – ჰაერი (გაზი); III – სითხე; σ_{sg} , σ_{cg} , σ_{sc} – A მოლეკულაზე მოქმედი დაჭიმულობის ძალები [21]



ნახ. 6.2. მყარი სხეულის დასველების კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე: 1 – სითხე; 2 – მყარი სხეული



**ნახ. 6.3. მაღალი დასველების თვისების მქონე მყარი სხეულის დასველების პარამეტრი:
I – მყარი სხეული; II – ჰაერი (გაზი); III – სითხე**

თუ დასველების კუთხე $\theta = 0$, ხდება შემზებითი სითხის მიერ ზედაპირის აბსოლუტური დასველება და როცა $\theta = \pi$, გვაქვს აბსოლუტური არდასველება.

დასველების (სასაზღვროს) კუთხის სიდიდე სითხის წვეთისათვის, რომელიც მდებარეობს მყარ სხეულზე, განპირობებულია შემდეგი ძალების წონასწორობის პირობებიდან:

- სითხის მოლეკულებს შორის არსებული კოჰეზიური ძალები;
- მყარი სხეულის ნაწილაკებსა (იონების, მოლეკულების, ატომების) და სითხის მოლეკულებს შორის მიზიდულობის ძალები;
- მიზიდულობის ძალები სითხის იმ მოლეკულებს შორის, რომლებიც უშუალოდ არ ეხებიან მყარ სხეულს, მაგრამ დაშორებულია მისი ზედაპირიდან არაუმეტეს მოლეკულური მიზიდულობის მანძილისა;
- გრავიტაციული ძალები.

მოქმედი ძალების გაანალიზების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ კოჰეზიური ძალები უზრუნველყოფენ დასველების

კუთხის ზრდას, ხოლო სხვა დანარჩენი ძალები კი ამცირებენ დასველების კუთხეს. ამასთან, წონასწორობის პირობიდან შესაძლებელია დასველების კუთხის განსაზღვრა ანალიზურად.

სითხეების შიგა ხახუნის წინააღმდეგობის ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორად ითვლება სითხის სიბლანტე. ზეთების სიბლანტე ანუ სითხეების შიგა ხახუნის წინააღმდეგობა შეიძლება განიმარტოს, როგორც ზეთის ერთი ფენის მეორის მიმართ ძვრისადმი წინააღმდეგობის თვისება ანუ წინააღმდეგობა იმ ძალებისადმი, რომლებიც იწვევენ სითხის მოძრაობას. ამასთან, ერთის მხრივ დიდი სიბლანტე აძნელებს ხახუნის ზონიდან ზეთის გამოდევნას და, შესაბამისად, უზრუნველყოფილია ხახუნის პროცესში მოხახუნე ზედაპირებს შორის ზეთის არსებობა. მეორეს მხრივ, დიდი სიბლანტე მომეტებული წინააღმდეგობაა დიდი შიგა ხახუნის გამო. ამიტომ ზეთის შერჩევა ოპტიმალური სიბლანტით ტრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუირების დროს საპასუხისმგებლო ამოცანაა.

განასხვავებენ სიბლანტის ორ მახასიათებელს: დინამიკურს და კინემატიკურს.

დინამიკური სიბლანტის მახასიათებელი გამოიყენება შეზეთვის ჰიდროდინამიკური გაანგარიშების დროს. დინამიკური სიბლანტის ერთეულად მიღებულია ძალა, რომელიც საჭიროა რომელიმე ზედაპირიდან ერთეული მანძილით დაშორებული ერთეულოვანი ფართობის მქონე ზედაპირის ერთეულოვანი სიჩქარით გადაადგილებისათვის.

უკანასკნელ პერიოდამდე ფართოდ გამოყენებულ ფიზიკურ ერთეულთა სისტემაში თუ ძალის ერთეულად მივიჩნევთ 1 დინს, სიჩქარის ერთეულად – 1 სმ/წმ-ს და ფართობს – 1 სმ²-ს, მაშინ დინამიკური სიბლანტის ერთეულია 1 პუაზი. SI სისტემაში დინამიკური სიბლანტის

მაჩვენებლად მიღებულია პა.წმ (1ჰუაზი= 10^{-1} პა. წმ) და აღინიშნება ასოთი „ η “. პრაქტიკაში ხშირად სარგებლობენ 100-ჯერ ნაკლებ ერთეულს - სანტიპუაზს (1 სანტიპუაზი= 10^{-3} პა.წმ).

ზეთების წარმოების დროს მოსახერხებელია ისარგებლონ სიბლანტის კინემატიკური მაჩვენებლით, რომელიც აღინიშნება V -თი და განისაზღვრება დროის იმ მონაკვეთით, რომელიც საჭიროა მოცემული რაოდენობის ზეთის გადინებისათვის კაპილარულ მილში საკუთარი სიძიმის ძალის მეშვეობით. ამიტომ მასალის კინემატიკური სიბლანტე დამოკიდებულია მის სიმკვრივეზე და წარმოადგენს დინამიკური სიბლანტის ფარდობას სიმკვრივესთან. კინემატიკური სიბლანტის ერთეულად ფიზიკურ ერთეულთა სისტემაში მიჩნეული იყო $\text{სმ}^2/\text{წმ}$ ანუ 1 სტოქსი. SI სისტემაში შესაბამისი ერთეულია $\text{მ}^2/\text{წმ}$ ($1\text{სტოქსი}=10^{-4}\text{მ}^2/\text{წმ}$). პრაქტიკაში კინემატიკური სიბლანტის ერთეულად ხშირად იყენებენ 100-ჯერ ნაკლებ სიდიდეს - სანტისტოქსს ($1\text{სანტისტოქსი}=10^{-6}\text{მ}^2/\text{წმ}$).

დიაშიკური სიბლანტის გადაანგარიშება კინემატიკურის გათვალისწინებით პრაქტიკულად შეიძლება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\eta = \rho \cdot V, \quad (6.1)$$

სადაც ρ არის ზეთის სიმკვრივე $\text{გ}/\text{სმ}^3$ ან $\text{კგ}/\text{ლ}$ მოცემულ ტემპერატურაზე (SI სისტემაში - $\text{კგ}/\text{მ}^3$); η - დინამიკური სიბლანტე, სანტიპუაზი (SI სისტემაში - პა.წმ); V - კინემატიკური სიბლანტე, სანტისტოქსი (SI სისტემაში - $\text{მ}^2/\text{წმ}$).

ზეთის სიბლანტის მაჩვენებლები შესაბამის ცნობარებში მოცემულია 50 ან 100 $^{\circ}\text{C}$ -ზე.

ნავთობისაგან მიღებული თხევადი შემზეთი მასალები ნაკლებად შეიცავენ დიდი სიბლანტის მქონე ზეთოვან ფრაქციებს. ამ ნაკლის

აღმოსაფხვრელად შემზეთ მასალაში შეჰყავთ თხევადი პოლიმერები დიდი ფარდობითი მოლეკულური მასით. პოლიმერების დიდი და გრძელი მოლეკულები აძნელებენ ზეთის მცირე მოლეკულების ერთმანეთში გადარევას და, ე. ი. ზრდიან სიბლანტეს. შესაბამისად, რაც უფრო დიდია პოლიმერების კონცენტრაცია შემზეთი მასალის მასაში, მით უფრო დიდია ზეთის სიბლანტე. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ შემზეთი მასალის სიბლანტის გაზრდა ამ გზით არ არის უნაკლო. საქმე ისაა, რომ ზეთებში არსებული პოლიმერების მოლეკულები განიცდიან დეგრადირებას დესტრუქციით. პოლიმერების დესტრუქცია კი, თავის მხრივ, იწვევს სიბლანტის შემცირებას, რაც ზეთის უვარგისად მიჩნევის მიზეზი ხდება.

ზეთი, როგორც აღვნიშნეთ, ხახუნის კოეფიციენტის შემცირებასთან ერთად მუშა ზონიდან წარიტაცებს ხახუნის შედეგად გაჩენილ სითბოს. მაგრამ, იმის გამო, რომ ზეთების სითბოტევადობა მცირეა (იგი დაახლოებით 4-ჯერ ნაკლებია წყლისაზე), საჭირო ხდება იგი ხახუნის ზონაში დიდი რაოდენობით შევიტანოთ.

განსხვავებულ სურათს იძლევა შემზეთი მასალები ტრიბოლოგიურ სისტემებში პოლიმერული მასალების გამოყენებისას. ხახუნის კვანძებში პოლიმერული მასალების გამოყენების სპეციფიკური სურათი საფუძველს აძლევს ზოგ ავტორს, დასვას საკითხი აღნიშნულ ვითარებაში ზეთების გამოყენების მიზანშეუწონლობის შესახებ. ასეთი მოსაზრება ეფუძნება შემდეგ ფაქტორებს:

- ჩვეულებრივ, იმის გამო, რომ პოლიმერულ ზედაპირებს მცირე ზედაპირული ენერგია აქვთ და გამძლეებულაა ზეთის სასაზღვრო აფსკის წარმოშობა, მანქანათმშენებლობის პრაქტიკაში გამოყენებული ზეთები ცუდად ასველებენ პოლიმერულ მასალებს;

- შემზეთი მასალები ზოგ შემთხვევაში იწვევენ მოხაზუნე პოლიმერული ზედაპირების პლასტიფიკაციას, ე. ი. მექანიკური თვისებების გაუარესებას.

აღნიშნული მოვლენები მართლაც ხდება იქ, სადაც პოლიმერული მასალებია გამოყენებული ტრიბოსისტემის თხევადი მასალებით შეზეთვის დროს. ზოგადად კი ხაზუნის კვანძების ექსპლუატაციის დროს, როცა გამოყენებულია მანქანათმშენებლობაში მიღებული პოლიმერული მასალები, შემზეთი მასალები მაინც დადებით როლს თამაშობენ.

მსჯელობა მართებულია მხოლოდ იმის თაობაზე, თუ რამდენად უფრო ეფექტურია მოცემულ ვითარებაში მოცემული ზეთების გამოყენება. უკანასკნელი დასტურდება მრავალმხრივი ექსპერიმენტით.

თხევადი შემზეთი მასალები ხასიათდებიან ორი ფრიად ყურადსაღები თვისებით: ტრიბოლოგიური სისტემების ექსპლუატაციის პროცესში ზეთები „ბერდებიან“ (ძველდებიან) და რეალურ პირობებში მინარევებით ნაგვიანდებიან.

პირველი განპირობებულია ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის დამახასიათებელი თბური და ჰაერის ჟანგბადის შემოქმედებით;

მეორე – გარემო პირობებში არსებული და ცვეთის პროდუქტების ნაწილაკების ზეთში შერევით.

აღნიშნული გარემოებების მოქმედების შედეგად ჟანგვა, გარეშე მინარევები და თერმოქიმიური ცვლილებები ხაზუნის პროცესში იწვევენ ზეთების ქიმიური შედგენილობის შეცვლას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს მისი თვისებების შეცვლას.

ჟანგვის პროცესში ხდება ჰაერში არსებული ჟანგბადის შეერთება ზეთის ყველაზე ნაკლებად მედეგ კომპონენტებთან და წარმოიქმნება მჟავას პროდუქტები. იდენს რა მჟავურ თვისებებს, ზეთი

იწვევს ტრიბოლოგიური სისტემის ლითონური დეტალების კოროზიას. გარდა ამისა, ჟანგვის პროცესს შეიძლება ჰქონდეს დეჰიდრირების თვისება (ჰიდრირება ანუ ჰიდროგენიზაცია – ლათინური სიტყვიდან hydrogenium – წყალბადი), რომელიც აღნიშნავს პროცესს, როდესაც მიმდინარეობს წყალბადის შეერთება შემზეთი მასალის შემადგენელ ქიმიურ ელემენტებთან ან შენაერთებთან. ხოლო, უკურეაქციას, როდესაც წარმოებს წყალბადის მოხლეჩა ქიმიური შენაერთებიდან, ეწოდება დეჰიდრირება ანუ დეჰიდროგენიზაცია. ამ დროს ჟანგბადი ნახშირწყალბადოვან მოლეკულებს ართმევს წყალბადის ატომებს და მასთან წარმოქმნის წყალს, ხოლო ზეთის დეჰიდრირებული მოლეკულები ღიად დარჩენილი თავისუფალი კავშირების გამო იძენენ ერთმანეთთან გაერთიანების მიდრეკილებას და წარმოიქმნიან შენაერთების დიდი მოლეკულური მასით. ასეთი გზით შენაერთების წარმოქმნა მიჩნეულია ფისების წარმოქმნის ტიპურ რეაქციად, რომელთაც, ბუნებრივია, არ გააჩნიათ ზეთის საწყისი თვისებები და ტრიბოლოგიურ პროცესში უარყოფით როლს თამაშობენ. ფისებს აქვთ შავი ფერი და მათი კონცენტრაციის გაზრდა, რა თქმა უნდა, იწვევს ზეთის გამუქებას, რის გამოც აღნიშნულ მოვლენას იყენებენ ზეთის დაძველების შეფასების ერთ-ერთ კრიტერიუმად.

გარეშე მინარევები შემზეთ მასალაში სხვადასხვა სახისაა და სხვადასხვაა მათი წარმოქმნის წყაროც. გარეშე მინარევები შემზეთ მასალაში შემდეგი სახით გვხვდება:

- გარემო ჰაერის მტვერი;
- ხახუნის კვანძის ცვეთის პროდუქტები (ლითონური აბრაზივი);
- ზეთის მოცულობებისა და მილგაყვანილობის კოროზიის პროდუქტები;

- არასრული წვის შედეგად დარჩენილი პროდუქტები (სათბობი, წყალი).

თერმოქიმიური პროცესები ამცირებენ ზეთში მსუბუქი ფრაქციების რაოდენობას, იწვევენ ზეთის მოლეკულების თბურ დაშლას და ინტენსიურს ხდიან დეჰიდრირებას, ე. ი. ნახშირწყალბადიანი ნაერთებისაგან ფისწარმოქმნას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს მოლეკულური წონის გაზრდას, მამასადამე, სიბლანტისა და სიმკვრივის გაზრდას.

ხახუნის პროცესში ზეთების დაძველების პროდუქტები ურთიერთქმედებენ და წარმოქმნიან რთულ ნაერთებს, რომლებიც იწვევენ ზეთის ე. წ. გაჭუჭყიანებას. ამასთან, მყარი მინერალური ნაწილაკები გადაიქცევიან იმ ცენტრებად, რომლებზეც აღსორბირდება ჟანგვის პროცესის ფისოვანი პროდუქტები. უკანასკნელი წინაპირობაა ზეთში შლამის წარმოქმნისა, ე. ი. დაძველების შედეგად იცვლება მომუშავე ზეთის ქიმიური და ფიზიკური შედგენილობა. ახალი ზეთის დამატება ამცირებს მომუშავე ზეთის დაძველების ინტენსივობას, რაც იმითაა განპირობებული, რომ ზეთში მცირდება დაძველების პროდუქტების კონცენტრაცია. რეალურ პირობებში მანქანაში მიმდინარეობს ზეთის მუდმივად განახლების პროცესი, რომელიც ზეთის ფილტრაციაში გამოიხატება და რომლის დანიშნულებაცაა ზეთიდან დაძველების პროდუქტების მოცილება. გარდა ამისა, ხდება ზეთის პერიოდული განახლება შეზეთვის სისტემაში ახალი ზეთის დამატების გზით.

ამგვარად, მანქანების შემზეთ სისტემაში ზეთის დაძველებასთან ერთად ხდება მისი განახლებაც. ეს პროცესი მუდმივია მანქანის ექსპლუატაციის დროს და ამიტომ ზეთის მუშაობის ხანგრძლივობის

ვადა განისაზღვრება ამ ორი ფაქტორის განმსაზღვრელ სიდიდეთა თანაფარდობით.

ზოგადად, ზეთის დაძველება მნიშვნელოვანწილადაა დამოკიდებული ექსპლუატაციის დროის ხანგრძლივობაზე, ქიმიური პროცესის, მაგალითად, კოროზიის, პოლიმერიზაციის, დაჟანგვის ინჰიბიტორების (ლათინური სიტყვიდან *inhibeo* – ვიჭერ) არსებობაზე და, ასევე, ლითონების კატალიზატორულ თვისებებზე.

6.2. შემზეთი მასალების სახეები და კლასიფიკაცია

უფიკური მდგომარეობის მიხედვით განასხვავებენ: აიროვან, თხევად, პლასტიკურ (კონსისტენტიურ) და მყარ შემზეთ მასალებს.

ძირითადი სახის შემზეთი მასალებისათვის, თხევადი ზეთებისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ ისინი დადებით ტემპერატურაზე იმყოფებიან თხევად მდგომარეობაში.

თხევადი ზეთები მათი დანიშნულების მიხედვით პოსტ სსრკ-ს ეკონომიკურ სივრცეში შეიძლება დაიყოს შემდეგ ძირითად ჯგუფებად:

- საერთო დანიშნულების ინდუსტრიული ზეთები, რომლებიც გამოიყენება უმრავლესი სამრეწველო მოწყობილობის (ჩარხების და ა.შ.) დასაზეთად და ჰიდროამძრავის მუშა სითხედ (ზეთები ინდექსით – II);
- ავტომობილების, ტრაქტორების, თბომავლების, საგზაო და სასოფლო-სამეურნეო მანქანების სატრანსმისიო ელემენტების დასაზეთად – სატრანსმისიო ზეთები (ინდექსით – TM);
- ტურბინების, ელექტროგენერატორების და სხვა მანქანებისათვის საჭირო სატურბინე ზეთები;

- საძრავო, სხვადასხვა დანიშნულების (საავტომობილო, სატრაქტორო, საავიაციო და სხვ.) მანქანების შიგაწვის ძრავებისათვის.

6.1 ცხრილში მოცემულია საერთო მანქანათმშენებლობაში ძირითადად გამოყენებული ზეთები და მახასიათებლები. ცხრილში მოყვანილი მსუბუქი ინდუსტრიული ზეთები, რომელთა კინემატიკური სიბლანტე არ აღემატება 10 სანტისტოქსს 50°C ტემპერატურაზე, გამოიყენება მაღალი სიჩქარის მქონე მექანიზმებისათვის. მაგალითად, ველოსტი გამოიყენება ისეთი მექანიზმებისათვის, რომელთა ბრუნვის სიხშირე აღემატება 8000 ბრ/წთ, ხოლო ვაზელინის ზეთი-მექანიზმებისათვის ბრუნთა სიხშირით 5000....8000 ბრ/წთ და სეპარატორული ზეთი – მექანიზმებისათვის – 5000 ბრ/წთ-მდე.

საშუალო ინდუსტრიული ზეთები ხასიათდებიან 10....60 სანტისტოქსი კინემატიკური სიბლანტით. ინდუსტრიული ზეთები 12, 20 და სეპარატორული T გამოიყენება სწრაფმავალი მექანიზმებისათვის, ხოლო ინდუსტრიული ზეთები 30, 45 და 50 საშუალო მანქანათმშენებლობის ძირითადი შემზეთი მასალაა.

მძიმე ინდუსტრიული ზეთების კინემატიკური სიბლანტე 100°C ტემპერატურაზე 10-30 სანტისტოქსია. ისინი ფართოდ გამოიყენებიან მძიმედ დატვირთულ კბილანურ და ჭიაკბილანურ გადაცემებში. საცილინდრე ზეთები ასევე ფართოდ გამოიყენება ცილინდრებისა და ორთქლის მანქანების სხვადასხვა კვანძების შესაზეთად.

ცხრილებში მოყვანილი ზეთების დასახელებებით წლების მანძილზე სარგებლობდნენ და გარკვეულწილად დღესაც სარგებლობენ ყოფილი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე. მაგრამ, უკანასკნელ წლებში

ჩვენში შემუშავდა მინერალური ინდუსტრიული და სატრანსმისიო ზეთების ინდექსაციის ახალი სისტემები.

ცხრილი 6.1

საერთო მანქანათმშენებლობაში გამოყენებული ძირითადი ზეთები და მახასიათებლები

	ზეთის მარკა	კინემატიკური სიბლანტე 50 °C-ზე, სანტისტოქსი		ზეთის მარკა	სიბლანტე კინემატიკური 50°C-ზე, სანტისტოქსი
	მსუბუქი ინდუსტრიული			სატურბინე	
1	მაღალსიჩქარიანი მექანიზმებისათვის (ველოსიტი)	4,5-5,1	1	სატურბინე 20	20-23
			2	სატურბინე 30	28-32
			3	სატურბინე 46	44-48
			4	სატურბინე 57	55-59
2	მაღალსიჩქარიანი მექანიზმებისათვის (ვაზელინის)	5,1 -8,5		მძიმე ინდუსტრიული	იგივე 100 °C-ზე
3	სეპარატორული II	6,1-10,0	1	საცილინდრე 11	9-13
			2	საცილინდრე 24	20-28
			3	წნეხებისათვის საავტოტრაქტორო	10
	საშუალო ინდუსტრიული				
1	ინდუსტრიული 12	10-14			
2	სეპარატორული T	14-17	1	AK-10	10
3	ინდუსტრიული 20	17-23	2	AK-15	15
4	ინდუსტრიული 30	27-33			
5	ინდუსტრიული 45	38-52		საავიაციო	
6	ინდუსტრიული 50	42-58	1	MC-20	20

მექანიკურ მოწყობილობებში უმთავრესად გამოყენებული მინერალური ინდუსტრიული ზეთები აღინიშნება ასოთი „И“, ხოლო ინდექსაციის სქემა შემდეგი სახისაა:

И - [II] - [III] - [IV],

სადაც სქემაში მეორე ადგილზეა ზეთის დანიშნულების აღმნიშვნელი ასო:

II – შეესაბამება ზეთებს მსუბუქად დატვირთული საკისრებისათვის;

Г – ზეთებს ჰიდროსისტემებისათვის;

И – ზეთებს მიმართველებისათვის;

Т – ზეთებს მძიმედ დატვირთული კვანძებისათვის (კბილანური გადაცემებისათვის).

სქემის მესამე ადგილი ითვალისწინებს საექსპლუატაციო თვისებებისა და შედგენილობის დამახასიათებელ აღნიშვნებს:

А – შეესაბამება ზეთებს მისართის გარეშე;

В – ზეთებს დაჟანგვისა და კოროზიის საწინააღმდეგო მისართებით;

С – ზეთებს ცვეთის საწინააღმდეგო მისართებით;

Д – ზეთებს ამოგლეჯვის საწინააღმდეგო მისართებით;

Е – ზეთებს ნახტომსწინააღმდეგო მისართებით.

მეოთხე ადგილზე იწერება ზეთის კინემატიკური სიბლანტის კლასი, რომელიც წარმოადგენს საშუალო სიბლანტის მაჩვენებელს ($\text{მმ}^2/\text{წმ-ში}^*$) $t=40^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე და აქვს შემდეგი საფეხურები: 2; 3; 5; 7; 10; 15; 22; 32; 46; 68; 100; 150; 220; 320; 460; 680; 1000; 1500.

* პრაქტიკაში გამოიყენება კინემატიკური სიბლანტის განზომილებად. იგი SI სისტემაში კინემატიკური სიბლანტის ერთეულის – $\text{მ}^2/\text{წმ}$ -ის 10^6 ნაწილს შეადგენს. ამასთან, $1 \text{ მმ}^2/\text{წმ}$ რიცხობრივად 1 სანტისტოქსის ტოლია.

ინდექსაციის აღნიშნული სისტემების გათვალისწინებით ინდუსტრიული 12-ის შესაბამისი ზეთის მარკაა II-II-A22; ინდუსტრიული 20-ის – II-Г-A32; ინდუსტრიული 30-ის – II-Г-A46; ინდუსტრიული 45 და 50-ის – II-Г-A68.

სატრანსმისიო ზეთების ინდექსაცია შეიცავს: ასოით აღნიშვნას (TM), ჯგუფის ნომერს და სიბლანტის კლასებს.

სატრანსმისიო ზეთების ჯგუფის ნომერი ითვალისწინებს შედგენლობისა და გამოყენების სფეროს, კერძოდ:

- 1 – შეესაბამება ზეთებს მისართის გარეშე;
- 2 – ზეთებს ცვეთის საწინააღმდეგო მისართებით;
- 3, 4 – ზეთებს საშუალო და მაღალი ინტენსივობის ამოგლეჯის საწინააღმდეგო მისართებით;
- 5 – ზეთებს მაღალი ინტენსივობის ამოგლეჯის საწინააღმდეგო და მრავალფუნქციური მისართებით.

შესაბამისად, საკლასიფიკაციო ჯგუფები პოსტ სსრკ-ს ეკონომიკურ სივრცეში გამოშვებული ზეთებისათვის არის: TM -1, TM – 2, TM – 3, TM – 4 და TM – 5. ზოლო, აშშ – სათვის შესაბამისი ჯგუფებია: GL – 1, GL – 2, GL – 3, GL – 4 და GL – 5.

აქ არაბული ციფრები (ნომრები), ისევე როგორც სატრანსმისიო ზეთების (TM) შემთხვევაში ითვალისწინებენ მათ შედგენილობასა და გამოყენების სფეროს. შესაბამისად ყველაზე უფრო ეფექტურად და მრავალფუნქციურად უნდა მიჩნეული იქნეს GL-5. ბუნებრივია, სიბლანტე შესაბამისი კლასებით განისაზღვრება

ზეთის კინემატიკური სიბლანტის კლასი ამ შემთხვევაშიც წარმოადგენს საშუალო სიბლანტეს ($\text{მმ}^2/\text{წმ-ში}$), მაგრამ აქვს

ინდუსტრიული საგან განსხვავებული საფეხურები, კერძოდ: 6; 9; 12; 18; 34; 43.

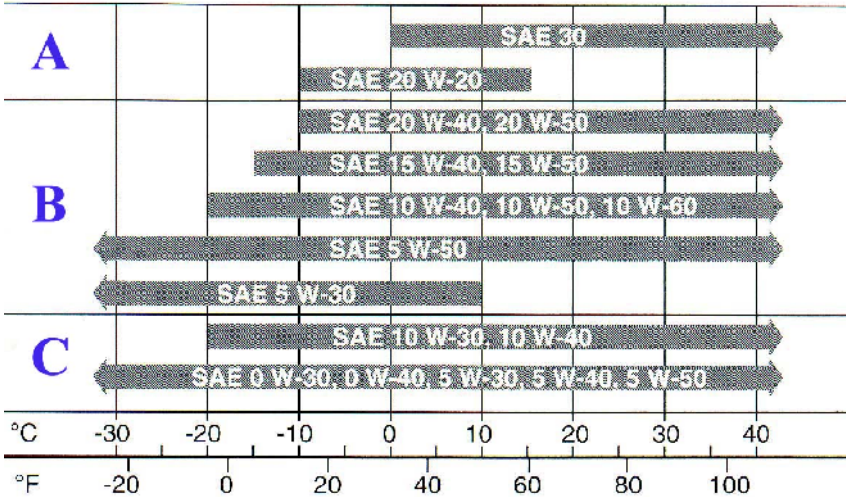
ცხრილი 6.2

პოსტ სსრკ-ს ეკონომიკურ სივრცეში მიღებული სატრანსმისიო ზეთების კლასიფიკაცია

სიბლანტის კლასი	ზეთის ჯგუფები საქსპლუატაციო თვისებებით					გამოყენების ტემპერატურული დიაპაზონი °C
	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	
6	-	-	TM-3-6	TM-4-6	TM-5-6	-65..+15
9	-	TM-2-9	TM-3-9	TM-4-9	TM-5-9	-60..+25
12	-	TM-2-12	TM-3-12	TM-4-12	TM-5-12	-50..+30
18	TM-1-18	TM-2-18	TM-3-18	TM-4-18	TM-5-18	-35..+35
34	TM-1-34	TM-2-34	TM-3-34	TM-4-34	TM-5-34	-20..+45
43	TM-1-43	TM-2-43	TM-3-43	TM-4-43	TM-5-43	-5..+55

საერთაშორისო პრაქტიკაში საძრავე და სატრანსმისიო ზეთების SAE-ს (ავტონინერტა საზოგადოება) კლასიფიკაცია სიბლანტის მიხედვით მოცემულია ცხრილებში. ასევე დადგენილია სიბლანტის მიხედვით საძრავე ზეთების გამოყენების ოპტიმალური ტემპერატურული დიაპაზონები (ცხრილი 6.3). ამასთან ზეთების იდენტიფიცირება სიბლანტის მიხედვით შემდეგნაირად გამოიხატება: „W”-ს წინ მდგომი პირველი რიცხვი მიუთითებს ზეთის მუშაობის უნარიანობას დაბალ ტემპერატურებზე, მეორე რიცხვი „W”-ს შემდეგ (ან ცალკე მდგომი რიცხვი „W”-ს გარეშე) მიუთითებს ზეთის სიბლანტის ოპტიმალურ მნიშვნელობას მაღალ ტემპერატურაზე. შესაბამისად „A” უბანზე მითითებული ზეთები განკუთვნილია ვიწრო დიაპაზონში ექსპლუატაციისათვის, ხოლო „C” უბანზე მითითებული – ფართო დიაპაზონისათვის, ანუ ყველაზე უნივერსალური პირობებისათვის.

SAE-ს კლასიფიკაციის შესაბამისად სიბლანტის მიხედვით საძრავე ზეთების გამოყენების ტემპერატურული დიაპაზონი



აშშ-სა და ევროპაში მოქმედებს საძრავე ზეთების შეფასებისა და კლასიფიცირების შემდეგი სისტემები: **API** (Amerikan Petroleum Institute); **ACEA** (Association des Constructeurs Europeens d'Automobiles).

API სისტემაში საექსპლუატაციო თვისებების მიხედვით საძრავო ზეთების ჯგუფებია:

- ა) ბენზინზე მომუშავე ძრავებისათვის –
SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SL, SM.
- ბ) დიზელზე მომუშავე ძრავებისათვის –
CA, CB, CC, CD-II, CE, CF, CF-2, CF-4, CG-4, CH-4.

თითოეული ჯგუფის გამოყენების სფერო ცალ-ცალკე მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში. იგივე **API** სისტემაში ასევე საექსპლუატაციო

თვისებების მიხედვით სატრანსმისიო ზეთების უკვე ზემოთ აღნიშნული ჯგუფებია:

GL-1, GL-2, GL-3, GL-4, GL-5.

ACEA ნორმათა ახალი სისტემა და იგი მოქმედებს 1996 წლიდან. ზეთის ხარისხი აქ განისაზღვრება სამი საფეხურით: 1, 2, 3. ამასთან ხარისხობრივი თვისებები ასე არის წარმოდგენილი:

- 1 – სპეციალური მოთხოვნილებებისათვის;
- 2 – საშუალო სტანდარტული მოთხოვნილებებისათვის;
- 3 – უმაღლესი დონის მოთხოვნილებებისათვის.

ზეთები **ACEA** სისტემაში მათი დანიშნულების მიხედვით ასე აღინიშნება:

ბენზინის ძრავებისათვის – A1, A2, A3;

მსუბუქი ავტომობილის დიზელის ძრავებისათვის – B1, B2, B3;

სატვირთო ავტომობილის დიზელის ძრავებისათვის – E1, E2, E3.

შესაბამისად ზეთების იდენტიფიცირების მაგალითებია: A1-96; A2-96; B1-96, E1-96 და ა.შ.

სატურბინე ზეთები კინემატიკური სიბლანტით 20...60 სანტისტოქსი 50⁰C ტემპერატურაზე, გამოიყენება ორთქლისა და ჰიდრაულიკური ტურბინების, ელექტრული გენერატორების და სხვა ისეთი მანქანებისათვის, სადაც საჭიროა ხანგრძლივი მუშაობა ზეთის შეუცვლელად. სატურბინე ზეთები ხასიათდებიან მაღალი მედეგობით დაჟანგვისადმი, დაბალი საწყისი მჟავიანობით, მექანიკური მინარევების უმნიშვნელო სიდიდით.

თხევადი ზეთების განსაკუთრებულ, სპეციფიკურ ჯგუფს შეადგენს ძრავას ზეთები, რომელთა რიცხვს მიეკუთვნება საავიაციო, საავტომობილო (ავტოლები) და სადიზელო. ამ ზეთებს წარედგინება დამატებითი მოთხოვნები, რომლებიც დაკავშირებულია ძრავების მუშა ცილინდრების მუშაობის სპეციფიკურ პირობებთან და გარემო პირობების ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონთან (თვითმფრინავები, ავტომობილები).

შემზეთი მასალები მათი მიღების და შექმნის საფუძვლის მიხედვით შეიძლება იყოს მინერალური, ნავთობის, სინთეტიკური, მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის.

მინერალური ზეთების მისაღებად გამოიყენება ისეთი ბუნებრივი მინერალები, როგორიცაა: ქვანახშირი, ტორფი, ფიქლები. მათგან მინერალური შემზეთი მასალების მიღების ძირითადი გზაა მინერალური პროდუქტების დამუშავება. მინერალური ზეთების ერთ-ერთ ძირითად ნედლეულად გამოიყენება ნავთობი, რომლისგანაც ზეთის მიღება რამდენიმე მეთოდითაა შესაძლებელი.

ნავთობის თხევადი შემზეთი მასალები წარმოადგენენ ბუნებრივი ნავთობის ნედლეულისაგან გაწმენდის წესით მიღებულ ზეთებს, ხოლო სინთეტიკური შემზეთი მასალები ორგანული ნაერთების სინთეზის პროდუქტია.

მცენარეული და ცხოველური ზეთები მიიღება, შესაბამისად, მცენარეული და ცხოველური პროდუქტების გადამუშავების შედეგად. პრაქტიკაში ამ ჯგუფის ზეთების განსაზღვრული მასშტაბებით გამოყენება განპირობებულია მხოლოდ მათი მაღალი თვითღირებულებით და არავითარ შემთხვევაში – ხარისხობრივი თვისებებით.

პლასტიკური (კოსისტენტური) შემზეთი მასალები წარმოადგენენ შესქელებულ საცხისმაგვარ პროდუქტებს, რომლებიც მზადდება თხევად

ზეთებზე – მინერალურ ნავთობსა თუ სინთეტიკურ შემზეთ მასალებში სხვადასხვა სახისა და დანიშნულების შემსქელებლის შეტანით. წარმოქმნის რა სტრუქტურულ ჩონჩხს, შემსქელებელი შემზეთ მასალას ანიჭებს მყარი სხეულის თვისებას მცირე სიმტკიცის ზღვრით (არაუმეტეს 0,005 მპა). ტემპერატურის მომატებისას 200-300⁰C-ზე პლასტიკური მასალა გადადის თხევად მდგომარეობაში.

თხევადი კომპონენტი, რომელიც მთელი შემზეთი მასის 75...90%-ია, უმეტესად არის ნავთობის ზეთი, სადაც შემსქელებლად გამოიყენება კალციუმიანი და ნატრიუმიანი საპნები; აგრეთვე ნახშირწყალბადები (პარაფინი, ცერეზინი). პლასტიკური კალციუმიანი შემზეთი მასალები იწოდება სოლიდოლებად, ხოლო ნატრიუმიანი – კონსტალინებად.

პლასტიკური შემზეთი მასალებისათვის უმთავრესი მახასიათებლებია:

1) **პენეტრაცია** (ინგლისური სიტყვიდან penetrate – შეღწევა) არის პლასტიკური შემზეთი მასალების შესქელების (სირბილის) მაჩვენებელი და იგი განისაზღვრება ხელსაწყოთი, რომელსაც პენეტრომეტრი ეწოდება. მისი მოქმედების პრინციპი ლითონური მასალების სიმჭისის საზომი ხელსაწყოს ანალოგიურია, უკანასკნელის მოქმედების პრინციპი ასეთია: სპეციალური კონუსი თავისი სიმძიმის ძალით 5 წმ-ის განმავლობაში გარკვეული სიღრმით ეფლობა შემზეთ მასალაში. კონუსის ჩაფლობის სიღრმის მიხედვით ფასდება შემზეთი მასალის კონსისტენტურობა. შეფასება ხდება პენეტრაციის რიცხვით, რომელიც არის კონუსის პროდუქტში ჩაღრმავება გამოსახული მილიმეტრის მეთოდებით. მაგალითად, თუ პენეტრაციის რიცხვია

200, ეს იმას ნიშნავს, რომ კონუსი 5 წმ-ის განმავლობაში 20 მმ-ით ჩაღრმავდება შემზეთ მასალაში.

2) წვეთას ტემპერატურა პირველი წვეთის დაცემის შესაბამისი ტემპერატურა და განისაზღვრება უბელოდეს ხელსაწყოს მეშვეობით. უკანასკნელი შეიცავს თერმომეტრს ლითონურ ჰილზში, რომლის ბოლოშიც ჩასმულია მინის ფიალა 3 მმ-იანი ნახვრეტით. წვეთას ტემპერატურა განსაზღვრავს შემზეთი მასალის მუშაობის უნარის ტემპერატურულ ზღვარს. მიღებულია, მუშაობის უნარის ზღვრად მიჩნეულ იქნეს წვეთას ტემპერატურაზე $10-20^{\circ}\text{C}$ -ით ნაკლები ტემპერატურული დონე.

3) ტენმედევობა ე. ი. საწყისი მასსიათებლების შენარჩუნება წყალთან კონტაქტის შემთხვევაში (პლასტიკური შემზეთი მასალების უმრავლესობა ხასიათდებიან ტენმედევობის მაღალი მაჩვენებლით, გამონაკლისია მხოლოდ კონსტალინები).

პლასტიკურ შემზეთ მასალებს ახასიათებთ დადებითი თვისებების მთელი კომპლექსი. ძირითადად ანტიფრიქციულ თვისებებთან ერთად პლასტიკური შემზეთი მასალები ხასიათდებიან კარგი მამჭიდროებელი თვისებებით - მათი მეშვეობით ხდება ხახუნის კვანძში ღრეჩობის ამოვსება, მათ აქვთ ვერტიკალურ კედელზე თავის შეკავების უნარი, მაშინაც კი, როცა ფენის სისქე საკმაოდ დიდია; ადვილად ეფარებიან და იწმინდებიან ზედაპირებიდან. ამ თვისების გამო ფრიად მოხერხებულია მათი გამოყენება მანქანათა ხანგრძლივი კონსერვაციისათვის.

პლასტიკური შემზეთი მასალების სიბლანტე მცირედ არის დამოკიდებული მათი გათბობა-გახურების ტემპერატურაზე. ფრიად მნიშვნელოვან თვისებად ითვლება ის, რომ სრიალის წინააღმდეგობა მცირედ არის დამოკიდებული სრიალის სიჩქარეზე (ამ თვისებით

პლასტიკური შემზეთი მასალები მკვეთრად განსხვავდება თხევადი ზეთებისაგან).

რეკომენდებულია, რომ პლასტიკური შემზეთი მასალები გამოყენებული იქნას იქ, სადაც ხახუნის პროცესში დიდი რაოდენობით სითბო არ გამოიყოფა და სადაც მისი გატანა ხახუნის ზონიდან არ არის გათვალისწინებული შემზეთი მასალების მეშვეობით. ასეთ კვანძებს მიეკუთვნება ნელმავალი სრიალის საკისრები, გორვის საკისრები და სხვა მსგავსი კვანძები.

ამრიგად, პლასტიკური შემზეთი მასალები, ხასიათდებიან რა კარგი ანტიფრიქციული, საკონსერვაციო თუ საჰერმეტიზაციო თვისებებით, დანიშნულების მიხედვით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს:

- ღია ტრიბოლოგიურ სისტემებში;
- ძნელად საჰერმეტიზაციო ხახუნის კვანძებში;
- ტრიბოლოგიურ სისტემებში, სადაც განსაკუთრებული მოთხოვნებია საიმედო ჰერმეტიზაციისადმი (მაგალითად, საქსოვ დაზგებში – ქსოვილის გაფუჭების თავიდან აცილებისათვის, მშრალ ფრიქციულ გადაცემებში, როცა გადაცემაში ხახუნის კოეფიციენტის შემცირება დაუშვებელია და ა. შ.);
- ძნელად მისადგომ ტრიბოლოგიურ სისტემებში, სადაც გათვალისწინებულია მისი ხანგრძლივი მუშაობა ზეთის შეცვლის გარეშე (ერთჯერადი შეზეთვის კვანძები);
- მექანიზმებში, რომლებიც მუშაობენ ფართო ტემპერატურულ და საექსპლუატაციო რეჟიმებში;
- მექანიზმებსა და კვანძებში, სადაც საჭიროა დეტალების ხანგრძლივი კონსერვაცია.

პლასტიკური შემზეთი მასალებიდან ყველაზე უფრო გავრცელებული ჯგუფია სოლიდოლები. მათი გამოყენების რაციონალური ზღვარია 60-80⁰C. სოლიდოლების ერთ-ერთი უმთავრესი უპირატესობა მათი ტენმედგობაა. კონსტალინები მიეკუთვნება ძნელდნობად შემზეთ მასალებს და გამოიყენება კვანძებში, სადაც ტემპერატურა 100-150⁰C-მდეა, ზოგ შემთხვევაში კი 200⁰C-მდე. ნაკლია – კონსტალინები წყალში იხსნებიან, რის გამოც დაუშვებელია მათი წყალთან კონტაქტი.

ზემთ მოყვანილი შემზეთი მასალების თვისებათა კომპლექსს შეიცავენ ნატრიუმ-კალიუმიანი შემზეთები, რომლებიც ხასიათდებიან სოლიდოლებზე უფრო მაღალი ტემპერატურული მედეგობით (100⁰C-მდე და უფრო მეტი) და, იმავე დროს, საკმაო ტენმედგობით.

საერთო დანიშნულების შემზეთი მასალების გარდა არსებობს სპეციალური დანიშნულების ზეთები: საგლინავი დგანების, ტექსტილის მანქანების, რკინიგზის მანქანა-მოწყობილობების, დამცავი, დაბალი და მაღალტემპერატურული და სხვ.

საერთო დანიშნულების მანქანებში ძირითადად ნავთობისაგან მიღებული შემზეთი მასალები გამოიყენება. თუმცა ბოლო პერიოდში უფრო და უფრო მეტი გავრცელება მოიპოვა ხელოვნური გზით შექმნილმა თხევადმა სინთეტიკურმა ზეთებმა. არსებობს ახალი მყარი შემზეთი მასალების ფართოდ გავრცელების საკმაო პერსპექტივა.

შემზეთი მასალების აღნიშნული სახეები და ძირითადი მაჩვენებლები სტანდარტიზებული იყო და მოცემულია ყოფილი სსრკ-ს სახელმწიფო სტანდარტში – ГОСТ 23.002-78.

6.3. შეზეთვის სახეები

ტრიბოსისტემის შეუღლებული დეტალების მუშაობის რეჟიმი, შემზეთი მასალების თვისებები და საექსპლუატაციო პირობები განაპირობებენ მოხაზუნე ზედაპირების ურთიერთქმედების ხასიათს ხაზუნის პროცესში. მოხაზუნე ზედაპირების განმხოლოების პარამეტრების მიხედვით განასხვავებენ შეზეთვის შემდეგ სახეებს: ჰიდროდინამიკურს, ჰიდროსტატიკურს, აირდინამიკურს, აირსტატიკურს, ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკურს, სასაზღვროს და შერეულს, ხოლო შემზეთი მასალის ფიზიკური მდგომარეობის მიხედვით – აირულს, თხევადს და მყარი მასალებით შეზეთვისას.

აირული შეზეთვა ისეთი სახის შეზეთვაა, როცა მოხაზუნე ზედაპირების განმხოლოება ხორციელდება ისეთი შემზეთი მასალით, რომელიც აირულს მდგომარეობაშია. ასეთი სახის შეზეთვა მექანიკურ მანქანებში იშვიათად გამოიყენება.

თხევადი შეზეთვის დროს მოხაზუნე ზედაპირების განმხოლოება ხდება თხევადი შემზეთი მასალებით. ასეთი სახის შეზეთვის განხორციელება ეკონომიკურად ფრიად გამართლებულია და პრაქტიკაში ცდილობენ მის ფართოდ გამოყენებას. თხევადი შეზეთვა საკმაოდ ხშირად გამოიყენება მანქანათა უმრავლესობის ტრიბოსისტემებში.

მყარი მასალებით შეზეთვის დროს მოხაზუნე ზედაპირების განმხოლოება ხდება მყარი შემზეთი მასალების მეშვეობითაც. დღეს ასეთი სახის შეზეთვა სამანქანათმშენებლო პრაქტიკაში საკმაოდ პერსპექტიულად არის მიჩნეული.

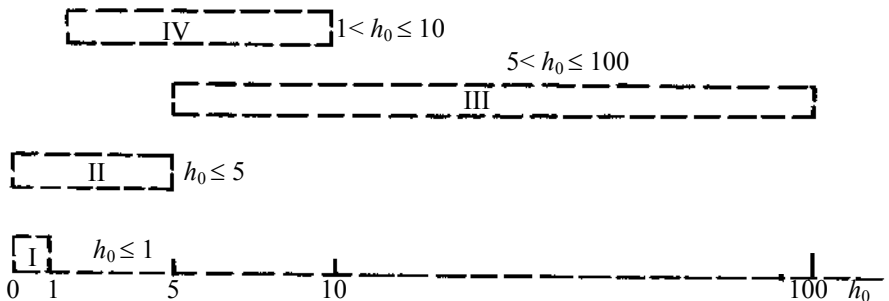
ჰიდროდინამიკური შეზეთვა თხევადი შეზეთვის ერთ-ერთი სახეა და იგი განპირობებულია თხევადი შემზეთი მასალის დაწნევით

მდგომარეობაში ყოფნით, რომელიც წარმოიქმნება მოხაზუნე ზედაპირების ურთიერთგადაადგილების შედეგად. ამასთან, წარმოქმნილი ზეთის ფენის სისქე და პარამეტრები განსაზღვრავენ შეზეთვისა და ხახუნის სახეს (თხევადი, პილროდინამიკური შეზეთვისის შექმნისა და კონსტრუირების საფუძვლები განიხილება ქვემოთ). შემზეთი მასალის ფენის ფარდობითი სისქე (h_0) ხახუნის სახეთა კლასიფიცირების უმთავრესი კრიტერიუმია და ზოგადად ასე გამოისახება:

$$h_0 = \frac{h}{R_{Z1} + R_{Z2}}, \quad (6.2)$$

სადაც h არის ზეთის ფენის მინიმალური სისქე; R_{Z1} , R_{Z2} – შესაბამისად, პირველი და მეორე მოხაზუნე ზედაპირების ცენტრალური ღერძის მიმართ უსწორმასწორობათა საშუალო გადახრა.

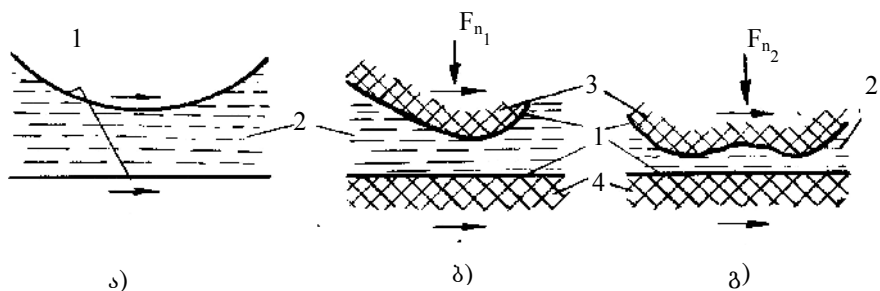
თხევადი შეზეთვისის განხორციელებას, რომელიც პრაქტიკაში თხევადი ხახუნის პროცესად იწოდება, შეესაბამება $5 \leq h_0 \leq 100$ პირობა (ხახუნისა და შეზეთვისის სახეთა კლასიფიკაცია h_0 -ის მიხედვით მოცემულია 6.4 ნახაზზე, ხოლო 6.5-ზე მოცემულია მოხაზუნე ზედაპირების კონტაქტების მოდელები).



ნახ. 6.4. შეზეთვისის სახეთა კლასიფიკაცია h_0 კრიტერიუმის მიხედვით:

I – სასაზღვრო; II – შერეული; III – თხევადი;

IV – ელასტიკურ-პილროდინამიკური თხევადი



ნახ. 6.5. შეშუთი ფენის მოდელები თხევადი შეშუთვის დროს:

ა—გამარტივებული; ბ—ზეთის ფენის თხევადი შეშუთვის დროს; გ—ზეთის ფენა ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკური შეშუთვის დროს; 1—დამცავი ანუ სასაზღვრო ფენა; 2—შეშუთი მასალა; 3—დრეკადი სხეული; 4—მყარი სხეული; F_{n1} — მცირე სიდიდის ნორმალური დატვირთვა; F_{n2} — დიდი ნორმალური დატვირთვა

ჰიდროსტატიკური შეშუთვა ასევე თხევადი შეშუთვაა, რომლის დროსაც ჰიდროდინამიკურისგან განსხვავებით, სადაც ზეთის წნევის წარმოქმნის წყარო არ არის მოხაზუნე ზედაპირების ურთიერთგადაადგილება. წნევა ზეთის ფენაში წარმოიქმნება გარეშე დანადგარის მეშვეობით.

აირდინამიკური და აირსტატიკური შეშუთვები ჩვეულებრივ პირობებში მექანიკურ მანქანებში იშვიათად გამოიყენება. ამის გამო აღნიშნული შეშუთვის სახეები მოცემულ ნაშრომში არ განიხილება.

პლასტიკურ-ჰიდროდინამიკური შეშუთვის თეორეული საფუძვლები კლასიკური ჰიდროდინამიკური თეორიისაგან განსხვავებით ითვალისწინებს მოხაზუნე ზედაპირების დრეკად დეფორმაციებს. იგი განსაკუთრებით ანგარიშგასაწევაა, როცა თხევადი ხაზუნი ზორციელებს დიდი დატვირთვებისა და მრუდე ზედაპირების (მაგალითად, ცილინდრულების) შემთხვევაში.

თვით შემზეთი მასალის ფენა ასეთი შეზეთვის დროს ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკურია და იგი წარმოიქმნება საკონტაქტო ზონაში დიდი წნევების შედეგად, რაც, თავის მხრივ, იწვევს ზეთის სიბლანტის მნიშვნელოვნად გადიდებას.

ასეთი სახის შეზეთვის დროს *h*0 კრიტერიუმი იცვლება ზღვრებში 1...10.

სასაზღვრო შეზეთვა ისეთი სახის შეზეთვაა, როცა კვანძში ხახუნის ძალა და, შესაბამისად, ცვეთა განპირობებულია მოხახუნე დეტალების და შემზეთი საშუალებების ზედაპირული აქტივობის თვისებების ერთობლიობით. აღნიშნულის გამო ზეთის სიბლანტე, რომელიც სითხის მოცულობითი თვისებაა, პრაქტიკულად არ მოქმედებს სასაზღვრო ხახუნის წინააღმდეგობაზე. ერთ-ერთ ძირითადი ტრიბოტექნიკური თვისებაა ზეთის ფენის სისქის მცირე სიდიდე სასაზღვრო ხახუნის შემთხვევაში მოხახუნე ზედაპირების სიმქისის პარამეტრებთან შედარებით.

მის გამო კრიტერიუმი *h*0 სასაზღვრო შეზეთვის და, შესაბამისად, სასაზღვრო ხახუნის პირობებისათვის ერთზე ნაკლები უნდა იყოს.

შერეული შეზეთვა დამახასიათებელია უმრავლესი ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის. ამ დროს ტრიბოლოგიურ სისტემაში ერთდროულად არის განხორციელებული როგორც სასაზღვრო, ისე თხევადი შეზეთვა ე. ი. კვანძში ნაწილობრივ სასაზღვრო ხახუნია, ნაწილობრივ თხევადი, ანუ მუშა პროცესში ვერ ხერხდება მოხახუნე ზედაპირების მთლიანი გამხოლოება. ასეთ შემთხვევაში ცალკეული ბორცვების ურთიერთკონტაქტის გამო იზრდება ზეთის ფენის ზიღვის უნარი. ამ კომპლექსურ თვისებათა გამო ასეთი შეზეთვა, და შესაბამისად

ხახუნი იწოდება შერეულად. ამასთან, h_0 კრიტერიუმი შერეული შეზეთვისათვის უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $h_0 \leq 5$.

რეალური ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის დამახასიათებელია, რომ მუშაობის რეჟიმის ძირითადი პარამეტრების (სიჩქარის, რადიალური წნევის, ტემპერატურის) თანდათანობით შეცვლასთან დაკავშირებით ხდება ერთი სახის შეზეთვის მეორეში ასევე თანდათანობით გადასვლა. ამასთან, კვანძის ოპტიმალური მუშაობის ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორად რჩება შემზეთი მასალის უმთავრესი თვისება – სიბლანტე. მასალის ეს თვისება წარმოჩინდება მისი ფორმის ცვლილების დროს და იგი ზოგადად ახასიათებს შემზეთი მასალის შიგა ხახუნს.

თხევადი შეზეთვის პირობებში ხახუნის ძალის გამოთვლისათვის გამოიყენება გამოსახულება

$$F_f = \frac{\eta SV}{h}, \quad (6.3)$$

სადაც F_f არის ხახუნის ძალა, ნ; η – შემზეთი მასალის დინამიკური სიბლანტე, პა/წმ; S – მოხახუნე ზედაპირების ნომინალური ფართობი, მ²; V – მოხახუნე ზედაპირების ფარდობითი გადაადგილების სიჩქარე, მ/წმ; h – შემზეთი მასალის ფენის სისქე, მ.

ტრიბოლოგიური სისტემის შეზეთვისას ხახუნის სახე განისაზღვრება როგორც შემზეთი საშუალებების რაოდენობითა და თვისებებით (სიბლანტით), ისე კვანძის მუშაობის რეჟიმით და კონსტრუქციული პარამეტრებით – მოხახუნე ზედაპირების ფარდობითი სიჩქარით, დატვირთვით, შეუღლებული დეტალების ღრწოს სიდიდით, გეომეტრიული ზომებით. ჩამოთვლილი პარამეტრების თანაფარდობა

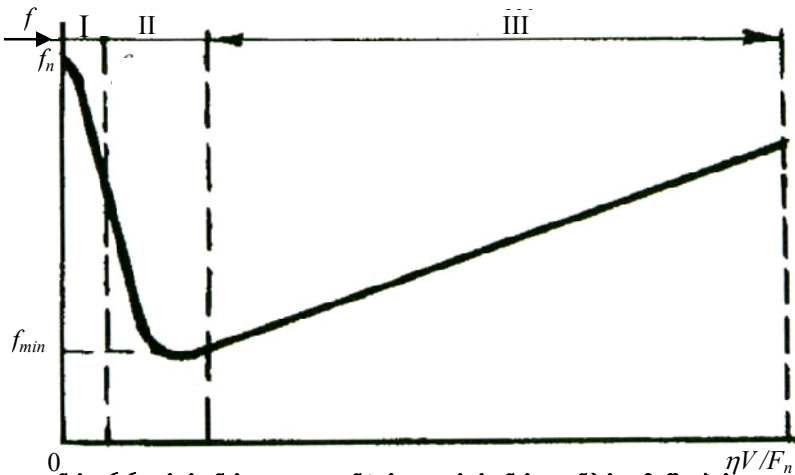
რეალურ პირობებში განაპირობებს ხახუნის სახეს - სასაზღვროს, თხევადს თუ შერეულს.

რიცხობრივად კვანძის მუშაობის რეჟიმს კარგად ახასიათებს ფარდობა $\frac{\eta V}{F_n}$, სადაც F_n არის ნორმალური დატვირთვა საყრდენ ხახუნის კვანძზე.

საინჟინრო პრაქტიკაში ტრიბოლოგიური სისტემის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებლად მისი თხევადი შეზეთვის დროს მიჩნეულია გერსი-შტრიბეკის დიაგრამა. უკანასკნელი წარმოადგენს ხახუნის

კოეფიციენტის $\frac{\eta V}{F_n}$ პარამეტრებთან დამოკიდებულებას (ნახ.6.6).

დიაგრამიდან ჩანს, რომ ხახუნის კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება $\frac{\eta V}{F_n}$ პარამეტრის ნულოვან მნიშვნელობას, რაც, თავის მხრივ, შეესაბამება ნულოვან ფარდობით სრიალს ანუ უძრაობის ხახუნს.



ნახ. 6.6. ხახუნის კოეფიციენტისა და ხახუნის კვანძის მუშაობის რეჟიმისა და შემზეთი მასალის მახასიათებლის დამოკიდებულება

მცირე ფარდობითი სიჩქარის რეჟიმში, ე.ი. როდესაც ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მაქსიმალურია, მოხახუნე ზედაპირზე ადსორბირდება საკმაოდ მდგრადი შემზეთი მასალის უმცირესი სისქის ფენა. ხახუნის კვანძის შეზეთვის ასეთ პირობებს შეესაბამება სასაზღვრო შეზეთვა (ნახ. 6.6), როდესაც ხახუნის კოეფიციენტი ლითონური მასალებისათვის იცვლება ზღვრებში 0,1... 0,15. ხახუნის კოეფიციენტის შედარებით დიდი მნიშვნელობები სასაზღვრო ხახუნის პირობებში განპირობებულია მოხახუნე ზედაპირების ბორცვების მექანიკური ურთიერთქმედებით.

ასეთ რეჟიმებში მუშაობს უმრავლესი მექანიკური მოწყობილობის სრიალის საკისრები და კბილანის კბილების ცალკეული ელემენტები.

ფარდობითი სრიალის სიჩქარის უფრო მაღალი მნიშვნელობისათვის ხდება შემზეთი მასალის ფენის სისქის გაზრდა, რის შედეგად მცირდება მოხახუნე ზედაპირების ბორცვების მექანიკური ურთიერთქმედება. ამასთან, ვინაიდან შემცირებულია ხახუნის ძალის ადჰეზიური მდგენელი, ორივე ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება იწვევს ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელოვნად შემცირებას. შექმნილი პირობები შეესაბამება შერეული შეზეთვის (ხახუნის) სახეს და გერსი-შტრიბეკის დიაგრამაზე გამოისახება II ზონით (ნახ. 6.6). ამ სახის შერეული შეზეთვის სახე ასევე დამახასიათებელია მრავალი მანქანის სრიალის საყრდენისა და კბილანური გადაცემებისათვის.

იმავე რეჟიმებისა და პარამეტრების დროს, როცა შემდგომ ვზრდით ფარდობითი სრიალის მნიშვნელობას, ხდება შემზეთი მასალის ფენით მოხახუნე ზედაპირების ერთმანეთისაგან მთლიანი განმხოლოება. ბუნებრივია, ამ დროს ფენის სისქე უნდა აღემატებოდეს

მოხაზუნე ზედაპირების ბორცვების სიმაღლეს. შეზეთვის ასეთ პირობებში ხაზუნის ხასიათი მთლიანად განპირობებულია თხევადი შემზეთი მასალის მოცულობითი თვისებებით, რაც იმას ნიშნავს, რომ მოხაზუნე ზედაპირების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობა დამოკიდებულია შემზეთი მასალის ცალკეული ფენების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობაზე. გერსი-შტრამბეკის დიაგრამაზე ასეთი სახის შეზეთვისა შეესაბამება III ზონა (ნახ. 6.6). ასეთი შეზეთვის პირობებში ხაზუნის კოეფიციენტის უმცირესი მნიშვნელობა მიიღება შემზეთი მასალის უმცირესი სიბლანტის შემთხვევაში. ამასთან, უნდა გვახსოვდეს, რომ თხევადი შეზეთვის (ხაზუნის) უზრუნველყოფისათვის კონკრეტული პარამეტრების შემთხვევაში შემზეთ მასალას საჭიროა ჰქონდეს გარკვეული სიბლანტე. III ზონაში ტემპერატურის მომატება იწვევს რა სიბლანტის შემცირებას, ამცირებს ხაზუნის კოეფიციენტს. მაგრამ შემცირება გრძელდება გარკვეულ პერიოდამდე. ტემპერატურის შემდგომმა გადიდებამ შესაძლებელია თხევადი ხაზუნის სახე (III ზონა) გადაიყვანოს შერეული შეზეთვისაზე (I ზონა), რაც იწვევს ხაზუნის კოეფიციენტის არა შემცირებას, არამედ მის მნიშვნელოვნად გადიდებას.

ზოგადად, თხევადი შეზეთვის სახე მიჩნეულია მდგრად რეჟიმად. ტემპერატურის გაზრდა საკონტაქტო ზონის ფარგლებში იწვევს სიბლანტის შემცირებას, ხოლო იგი – ხაზუნის კოეფიციენტის შემცირებას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს ტემპერატურის ისევ შემცირებას და, მაშასადამე, რეჟიმის ისევ აღდგენას.

რაც შეეხება შეზეთვის შერეულ და სასაზღვრო სახეებს, ისინი არამდგრად რეჟიმებადაა მიჩნეული. ამ შემთხვევაში ტემპერატურის გაზრდა ამცირებს რა სიბლანტეს, იწვევს $\frac{\eta V}{F_n}$ პარამეტრის შემცირებას.

უკანასკნელის გამო კიდევ უფრო იზრდება ხახუნის კოეფიციენტი და, მაშასადამე, ტემპერატურაც და იწყება ახალი აღმავალი ციკლი, რომელსაც მივყავართ მუშაობის არამდგრად რეჟიმებად.

ამრიგად, თხევადი შეზეთვა განპირობებულია შემზეთი მასალის შიგა ხახუნით და ამით უზრუნველყოფილია ხახუნის კოეფიციენტის უმცირესი მნიშვნელობები - 0,005...0,05. ასეთი სახის შეზეთვის განხორციელება შესაბამისი პარამეტრების დაცვის შემთხვევაში მრავალი სახის მანქანაშია შესაძლებელი. ბუნებრივია, მანქანა-მოწყობილობის საიმედოობისა და ხანგამძლეობის მაჩვენებელთა ამაღლების გზაზე ტრიბოლოგიურ სისტემებში თხევადი შეზეთვის განხორციელება უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. თხევადი შეზეთვის – ჰიდროდინამიკურის, ჰიდროსტატიკურის თუ ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკურის დანერგვა მანქანებში მნიშვნელოვნად ამცირებს ენერგეტიკულ დანაკარგებს ხახუნის ძალის დაძლევაზე და აუმჯობესებს საპასუხისმგებლო დეტალების მუშაობის პირობებს.

VII თავი

თხევადი შიშვითვა და მისი ჰიდროდინამიკური თეორია

7.1. ჰიდროდინამიკური შეზღუდვის (ხახუნის) საფუძვლები

ზემოთ აღნიშნული იყო, რომ ტრიბოლოგიური სისტემის ეფექტური მნიშვნელობა მნიშვნელოვან-წილადაა დამოკიდებული თხევადი შემზეთი მასალის რაციონალურ გამოყენებაზე. საყრდენ კვანძებში ინტენსიური ცვეთის და დიდი ენერგეტიკული დანაკარგების თავიდან აცილებისათვის საჭიროა საკისრის სატაცისა და სადების ზედაპირები განმზოლოებულნი იქნენ ერთმანეთისაგან შემზეთი მასალის გარკვეული სისქის ფენით. მაგრამ იმისათვის, რომ მოხახუნე ზედაპირებს შორის არსებობდეს ერთიანი ზეთის ფენა, იგი უნდა იმყოფებოდეს წნევის ქვეშ. მაშასადამე, იმისათვის, რომ დატვირთული დეტალების ღრეჩოში წარმოიშვას და შენარჩუნდეს გარკვეული სიბლანტის მქონე თხევადი ზეთის ფენა, საჭიროა - ღრეჩოში მიწოდებულ იქნეს ზეთი ისეთი წნევით, რომელიც უზრუნველყოფს მოხახუნე ზედაპირების განმზოლებას, ან შეიქმნას ისეთი კონსტრუქციულ-საექსპლუატაციო ვითარება, რომელიც თავად წარმოქმნის ზეთის ზიდვისუნარს ფენას, ე. ი. წნევას ზეთის ფენაში.

პირველი მიმართულება, რომელიც ითვალისწინებს მოხახუნე ზედაპირებს შორის არსებულ ღრეჩოში ზეთის წნევით მიწოდებას, საჭიროებს რთულ დანადგარებს – ტუმბოებსა და სათანადო მილსადენების გამოყენებას, რაც პრაქტიკაში ხშირად კონსტრუქციულად და ეკონომიკურად გაუმართლებელია.

მეორე მიმართულება, რომელიც უმრავლეს შემთხვევაში უფრო მისაღებია, ითვალისწინებს ზეთის წნევითი ჰიდროდინამიკური ფენის

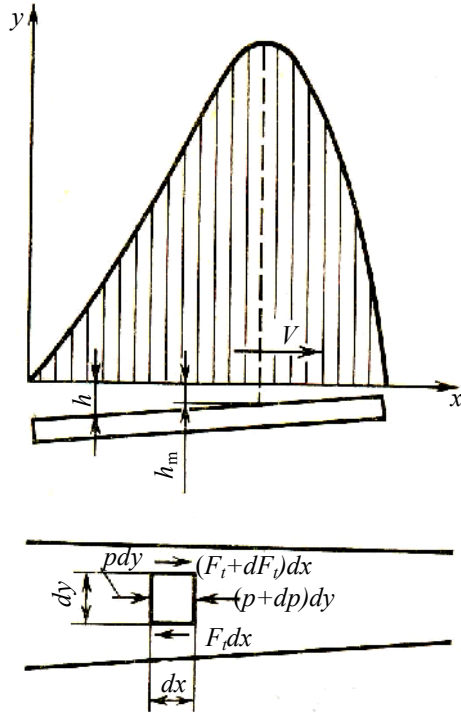
თავისთავად წარმოქმნას. უკანასკნელის განხორციელების მექანიზმი ასე შეიძლება იქნეს წარმოდგენილი:

ერთ შემთხვევაში საყრდენი დეტალები წარმოდგენილია, როგორც ბრტყელი ზედაპირები (ნახ. 7.1). ამასთან, გაკეთებულია შემდეგი დაშვებები:

- ზედაპირების სივრძე (ხაზოვანი ზომა ნახაზის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში) უსასრულოდ დიდია;
- ერთი ზედაპირი გადაადგილდება v სიჩქარით წრფივად, ხოლო მეორე რამდენადმე დახრილია პირველის მიმართ და უძრავია.

პირველი ზედაპირის ნახაზზე ნაჩვენებები მიმართულებით მოძრაობისას შემზეთი მასალის ნაკადი შედის სოლის ფორმის ღრეჩოში ფართო მხრიდან და გამოედინება ვიწრო მხრიდან. ვინაიდან თხევადი შემზეთი მასალა, ზეთი პრაქტიკულად უკუმშველია, ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან აუცილებელია ასეთ ღრეჩოში წარმოიშვას შიგა წნევა, რომელიც ჰიდროდინამიკური იქნება. იგი მყარი სხეულის მსგავსად ეცდება “გახლიჩოს”, გასწიოს ერთმანეთის მიმართ ზედაპირები. შედეგად ერთ-ერთი ზედაპირი, რომელიც კონსტრუქციულად ამის პოტენციურ შესაძლებლობას ატარებს, აცურდება ზეთის ფენაზე და მოხდება ზედაპირების სრული განმხლოება – შესრულდება პირობა თხევადი, ჰიდროდინამიკური შეზეთვისა და, შესაბამისად, ჰიდროდინამიკური ხახუნის განხორციელებისა.

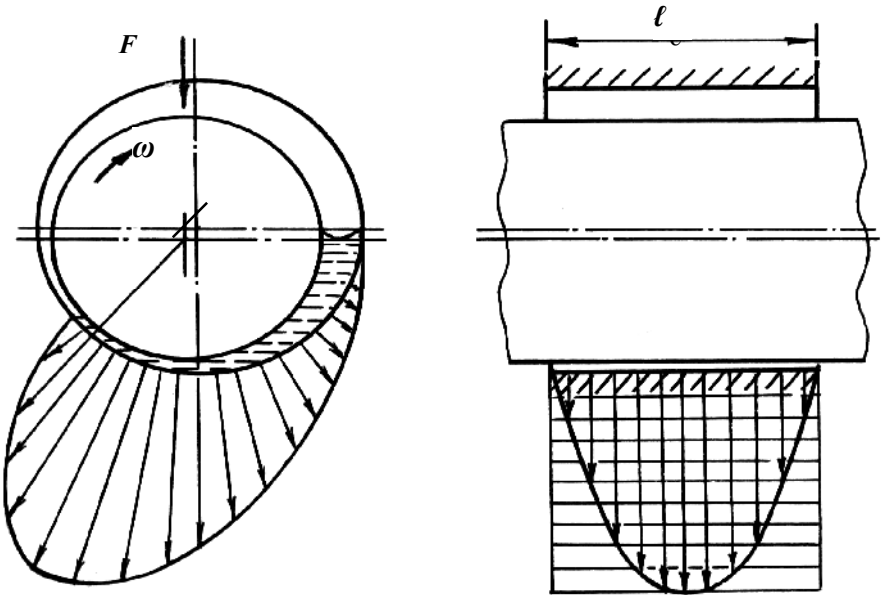
ამრიგად, განხილულ შემთხვევაში ზედაპირის ამომგდები ძალა ძირითადად განპირობებულია მისი ფარდობითი სიჩქარით.



ნახ. 7.1. ბრტყელ ზედაპირებს შორის არსებული ზეთის ფენაში წნევის განაწილება მათი ფარდობითი მოძრაობის დროს

მეორე შემთხვევაში საყრდენ დეტალეზად წარმოდგენილია ცილინდრული ზედაპირები (ნახ. 7.1). საკისარში რადიალური დატვირთვის გამო მბრუნავი ლილვი საკისრის ღერძის მიმართ იკავებს ექსცენტრიულ მდგომარეობას. ლილვი ბრუნვის დროს თან წარიტაცებს გარკვეული რაოდენობის ზეთს და შეიტანს სოლის ფორმის ღრეჩოში, რომელიც იქმნება ლილვისა და სადებს შორის. ამ დროს სატაცი მოქმედებს, როგორც ტუმბო, რომელიც განუწყვეტლივ ტუმბავს ზეთს კვანძში არსებულ ღრეჩოში. ღრეჩო კი ლილვის მბრუნვის მიმართულებით თანდათან

ვიწროვდება, რის გამოც ზეთის სოლში წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი სიდიდის ჰიდროდინამიკური წნევა, რაც უზრუნველყოფს ზიდვისუნარიანი ზეთის ფენის შექმნას, რომლის წნევის განაწილების ტიპური ეპიურები რადიალური და გრძივი მიმართულებით მოცემულია 7.2 ნახ-ზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს, წნევის განაწილება არც ერთი მიმართულებით არ არის თანაბარი და მისი კანონების ცოდნა მნიშვნელოვანი საქმეა როგორც თეორიულ, ისე პრაქტიკულ საქმიანობაში. საკისრის გრძივი მიმართულებით წნევის ეპიურა იცვლება პარაბოლური ტიპის მრუდით, რომლის ნულოვანი წერტილები საკისრის ტორსულ ზედაპირებზე მოდის, ხოლო მაქსიმალური – საკისრის შუა ადგილზე. მრუდის ასეთი ხასიათი განპირობებულია ტორსული ზედაპირიდან ზეთის განდინებით.



ნახ. 7.2. ჰიდროდინამიკური წნევის ეპიურები სრიალის საკისარში:

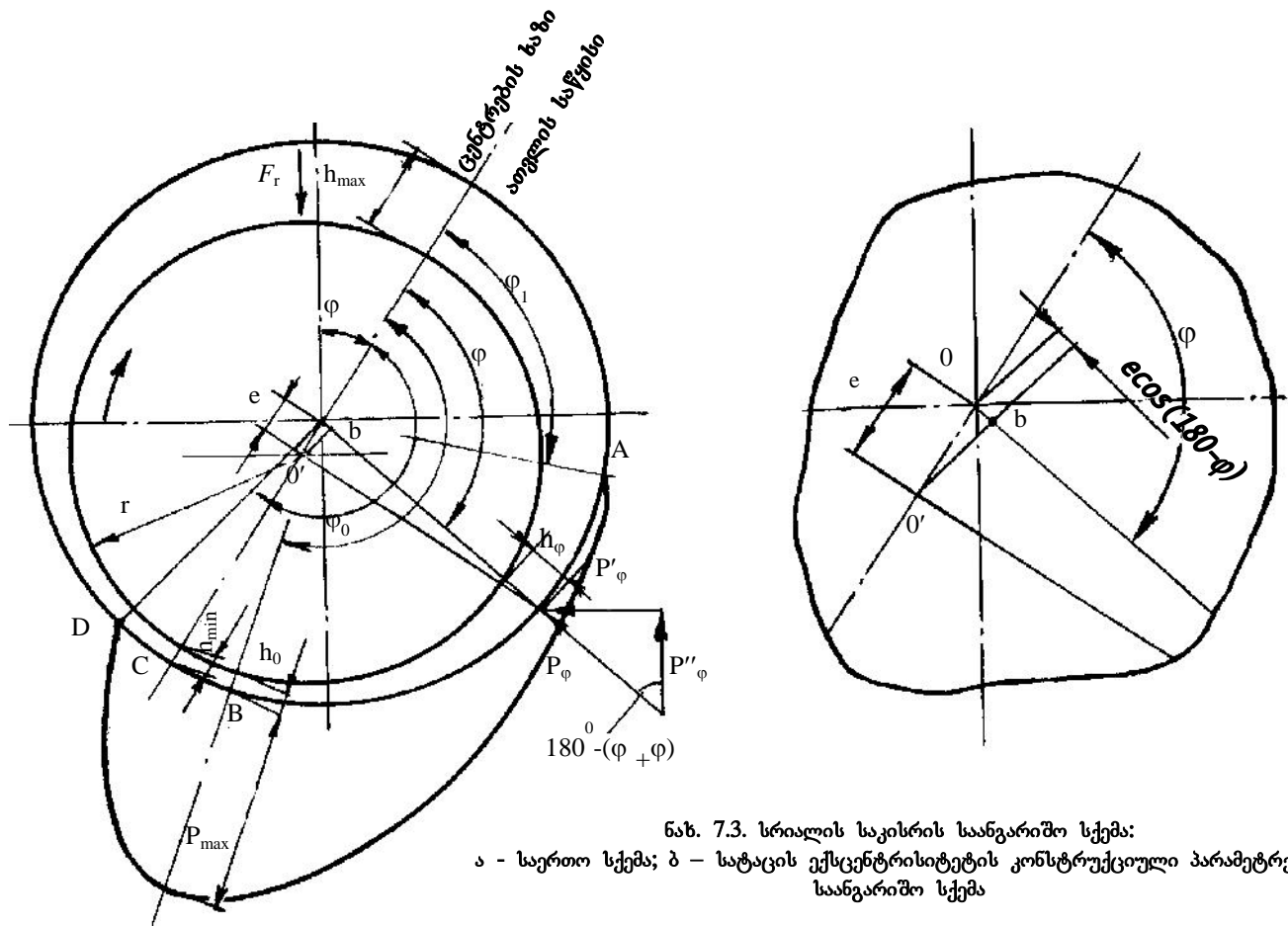
ა - რადიალური მიმართულებით; ბ - გრძივი მიმართულებით

7.2. გეომეტრიული პარამეტრები

საკისარში ლილვის უძრავი მდებარეობის დროს სატაცი დევს სადებზე. ლილვის ბრუნვის შემთხვევაში რადიალური დატვირთვის გარეშე იგი თითქმის ცენტრალურ მდებარეობას იჭერს, ხოლო დატვირთვის შემთხვევაში წნევითი ზეთის ფენის გავლენა, რომლის ჯამური ზემოქმედება გარკვეულ კუთხეს შეადგენს ძალის მოქმედების მიმართულებასთან, იწვევს ლილვის სატაცის გვერდით გადაადგილებას. მცირე რადიალური დატვირთვის დროს გვერდითი გადაადგილება ძალის მოქმედების მიმართულებით გადაადგილებასთან შედარებით დიდი სიდიდეა და პირიქით, დიდი დატვირთვის შემთხვევაში – მცირე.

თხევადი შეზეთვის შემთხვევაში შემზეთი მასალის ფენის გავრცელების ზონები საყრდენ კვანძში, რომელიც ცილინდრული დეტალებისაგან შედგება, ასე წარმოიდგინება: ზეთის ჰიდროდინამიკური ფენის გავრცელების ზონები ბევრად არის დამოკიდებული კვანძში მიწოდებული ზეთის რაოდენობაზე, შემზეთი მასალის მიწოდების ადგილზე, შემზეთი არხების არსებობასა და მდებარეობაზე. ზოგად, ტიპურ შემთხვევაში ჰიდროდინამიკური ფენის საწყის წერტილად მიიჩნევენ ადგილს, სადაც რადიალური ღრეჩო დიდი სიდიდისაა და იგი ახლოა ჰორიზონტალურ ღერძთან (ნახ. 7.3, წერტილი A). თუ საყრდენი კვანძი შეიცავს შეზეთვის არხს, ჰიდროდინამიკური შეზეთვის ფენა სათავეს ამ არხიდან იღებს.

წნევის უდიდესი მნიშვნელობა ზეთის ფენაში მდებარეობს რომელიმე B წერტილში, რომელიც მოთავსებულია დატვირთვისა და ცენტრების შემაერთებელ ხაზებს შორის.



ნახ. 7.3. სრიალის საკისრის საანგარიშო სქემა:
 ა - საერთო სქემა; ბ - სატაცის ექსცენტრისიტეტის კონსტრუქციული პარამეტრების საანგარიშო სქემა

ჰიდროდინამიკური ფენის საბოლოო წერტილად მიიჩნევა რომელიმე D წერტილი, რომელიც ლილვის ბრუნვის მიმართულებით C მინიმალური ღრეჩოს წერტილის შემდეგ მდებარეობს (ნახ. 7.3). მაგრამ, ამასთან, მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტებით დამტკიცებულია, რომ ზეთის ფენა, მინიმალური ღრეჩოს წერტილიდან დაწყებული, წყვეტას განიცდის. ეს კი რიგ ავტორებს აძლევს საფუძველს დაასკვნან, რომ ზეთის ფენა C წერტილში თავდება.

შეზეთვის ჰიდროდინამიკურ თეორიაში უფრო ზუსტ მოსაზრებად მიჩნეულია, რომ $p=0$ და $\frac{dp}{d\xi}=0$ D წერტილში. ამასთან, D და B წერტილები დაახლოებით სიმეტრიულად არიან განლაგებული C წერტილიდან (C წერტილში ზეთის ფენის სისქე მინიმალურია – $h = h_{\min}$)
და ე. ი. $DC=CB$.

7.3. ზეთის ფენის ზიღვის უნარი

ზეთის ფენის ზიღვის უნარის განსაზღვრა ჰიდროდინამიკური თეორიის უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. პირველ რიგში განვიხილოთ ეს ამოცანა ზეთის ბრტყელი ნაკადის მაგალითზე, როცა ზეთის ტორსული განდინება მხედველობაში არ მიიღება. აღნიშნული მაგალითი ბრტყელი ზედაპირების სახით, როცა ერთ-ერთი მათგანი დახრილია მეორის მიმართ, კარგად ეთანადება ტიპური კონსტრუქციის საკისარში წარმოშობილ შემზეთი მასალის „სოლს“. ამ შემთხვევაში ზეთის ფენის ეპიურის საწყისი და საბოლოო წერტილები, ბუნებრივია, ნულის ტოლი იქნება, ხოლო წნევის ცვლილება სოლის გასწვრივ – $\frac{dp}{dx}$ აღიწერება განტოლებით, რომელმაც რეონოლდსის სახელწოდება მიიღო.

რეინოლდსის განტოლების მისაღებად ზეთის ფენაში განვიხილოთ შემზეთი მასალის ელემენტარული ნაწილი საზობრივი ზომებით $dx \times dy \times 1$ (ნახ 7.1), სადაც x მოძრაობის მიმართულებად მიიჩნევა, ხოლო y – შემზეთი ფენის სისქის მიმართულებად.

იმის გამო, რომ ლილვის საკისარში ბრუნვის დროს ხდება ზეთის ფენების ურთიერთგადაადგილება სატაცის ბრუნვის მიმართულებით, საკისრის სოლის ფორმის ღრეჩოში ზეთის ბლანტი თვისებების გამო წარმოიშობიან ძვრის ძალები, რომლებიც ლამინარული დინების დროს განისაზღვრება ნიუტონის კანონით. ბლანტი ძვრის ძალა ერთეულ ფართობზე განისაზღვრება გამოსახულებით

$$F_t = \gamma \frac{dV_x}{dy}, \quad (7.1)$$

სადაც F_t არის ბლანტი ძვრის ძალა; V_x – ფარდობითი სიჩქარე x მიმართულებით; γ - ზეთის დინამიკური სიბლანტე.

ელემენტარული ნაწილის წონასწორობის პირობიდან (დაგვემიღებთ x ღერძზე) $dp \cdot dy = dF_t \cdot dx$, აქედან

$$\frac{dp}{dx} = \frac{dF_t}{dy}. \quad (7.2)$$

(7.1)-ისა და (7.2)-ის გათვალისწინებით

$$\frac{d^2V_x}{dy^2} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{dp}{dx}. \quad (7.3)$$

ზეთის გამდინარების სიჩქარე მიიღება (7.3) გამოსახულების ორმაგი ინტეგრირებით და შემდეგი სასაზღვრო პირობების ჩასმით. უძრავ ზედაპირზე $y=0$, $V_x=0$ ხოლო მოძრავ ზედაპირზე $y=h$, $V_x=V$ (სადაც h ღრეჩოს სიღიღეა x კოორდინატის შესაბამის ნებისმიერ კვეთაში). მაშინ

$$V_x = V \frac{y}{h} + \frac{\gamma}{2} \frac{dp}{dx} (y-h). \quad (7.4)$$

ერთი ერთეულის სიგანის და h სიმაღლის ღრეჩოში 1 წმ-ში გაედინება ზეთი შემდეგი მოცულობით:

$$q_x = \int_0^h V_x dy = \frac{hV}{2} - \frac{h^3}{12\gamma} \cdot \frac{dp}{dx}. \quad (7.5)$$

ზეთის ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან შესაძლებელია ერთმანეთს გაგუტოლოთ ზეთის q_x მოცულობები, რომლებიც გაედინებიან ერთ წამში h და h_m . აქ h_m ღრეჩოს სიღიღეა ისეთი კვეთისათვის, სადაც წნევის სიდიდე ფენაში მაქსიმალურია ე.ი. სადაც $p=p_{max}$ და $\frac{dp}{dx}=0$ სიდიდის ღრეჩოებში

$$q_x = \frac{hV}{2} - \frac{h^3}{12\gamma} \cdot \frac{dp}{dx} = \frac{h_m V}{2}. \quad (7.6)$$

აქედან, ელემენტარული გარდაქმნებით,

$$\frac{dp}{dx} = 6\gamma V \frac{h-h_m}{h^3}. \quad (7.7)$$

(7.7) განტოლება მიღებული იქნა რეინოლდსის მიერ და იგი მის სახელს ატარებს.

ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულების (7.1), (7.4) საფუძველზე, კერძოდ, როცა განსაზღვრულია ზეთის განდინების სიჩქარე რომელიმე x კოორდინატისათვის, ნიუტონის კანონით და ელემენტარული გარდაქმნებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ერთეულოვან ზედაპირზე ბლანტი ძვრის ძალა, ხოლო მისი მეშვეობით – ხახუნის პროცესის ძირითადი პარამეტრები:

$$F_t = \eta \left| \frac{dV_t}{dy} \right|_{y=h} = \eta \frac{V}{h} + \frac{h}{2} \frac{dp}{dx} \quad (7.8)$$

ახლა განვიხილოთ ძირითადი ვარიანტი, ე.ი. როცა კვანძი ცილინდრული დეტალებისაგან შედგება.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, წნევა ზეთის ფენაში უზრუნველყოფს ზეთის ნაკადის სიჩქარის გაზრდას და სატაცის აცურებას საკისრის სადებიდან, რითაც იზრდება ზეთის განდინების განიკვეთი. ამ ფაქტორებისა და რადიალური დატვირთვების ერთობლივი ზემოქმედების შედეგად მყარდება სხეულის (სატაცის) წონასწორობის მდგომარეობა, როცა წნევის განაწილება ზეთის ფენაში უზრუნველყოფს ზეთის გადინებას ღრეჩოში იმავე მოცულობით ღროის ერთეულში, როგორც შემოდინებას ლილვის მეშვეობით ღრეჩოს განიერ ნაწილში. ამასთან სატაცზე მოქმედი ნებისმიერი ჰიდროდინამიკური წნევის P მიმართულება თანხვედრია ზედაპირის ნორმალის ანუ სატაცის რადიუსის.

თუ P წნევას დავშლით P ჰორიზონტალურ და P ვერტიკალურ შემდგენებად, აღმოჩნდება, რომ უკანასკნელებს ძალუძთ გარეშე რადიალური F_z დატვირთვის გაწონასწორება. ხოლო რაც შეეხება ჰორიზონტალურ შემდგენებს, ისინი იწვევენ სატაცის საკისარსში ჰორიზონტალურ გადაადგილებას (ნახ. 7.3).

საბოლოოდ შემზეთი მასალის წნევითი ზემოქმედების შედეგად ლილვისა და საკისრის ღერების შემაერთებელი ხაზი გარეშე ძალის მოქმედების მიმართულებიდან გადაიხრება რაღაც კუთხით.

ბუნებრივია, შემზეთი მასალის წნევის განაწილების ეპიურების ხასიათი ცილინდრული და ბრტყელი ზედაპირების შემთხვევაში ერთმანეთისაგან განსხვავებულია, რაც ზედაპირების სხვადასხვაობით არის განპირობებული.

საკისრის თხევადი შეზეთვის პირობებში ზიდვის უნარის, ანუ ზეთის ფენის ზიდვის უნარის განსაზღვრისათვის შემოვიღოთ შემდეგი დაშვებები*:

* ქვემოთ მოყვანილი დაშვებები, ასევე იგულისხმებოდა რეინოლდსის განტოლების გამოყენების შესაბამისი პირობების დაცვის შემთხვევაში.

ა) ზეთის ნაკადი ჰიდროდინამიკური ძალების წარმოშობის ზონებში მოძრაობს ლამინარულად;

ბ) ზეთის ნაწილაკების შეჭიდების ძალები სატაცთან და საკისრის სადებთან ისეთი სიდიდისაა, რომ ზედაპირის უშუალო მოსაზღვრე ზეთის ნაწილაკების სიჩქარე ზედაპირების მიმართ ნულის ტოლია;

გ) ზეთის მასისათვის, რომლითაც შევსებულია ღრეჩო, მხედველობაში არ მიიღება ზეთის ფენის ნაწილაკთა სიმძიმის, ინერციის და კაპილარული ძალები;

დ) გარეშე დატვირთვის ქვეშ მყოფი ზეთი არ იკუმშება.

განხილვის პროცესისათვის შემოვიღოთ შემდეგი სახის აღნიშვნები: დიამეტრული ღრეჩო - $=D-d$, სადაც d საკისრის სადების დიამეტრია;

d - ლილვის სატაცის დიამეტრია; რადიალური ღრეჩო - $u = \frac{\Delta}{2}$,

ფარდობითი ღრეჩო - $E = \frac{\Delta}{d} = \frac{u}{r}$, სადაც r სატაცის რადიუსია;

აბსოლუტური ექსცენტრისიტეტი - $e = -h_{min}$; სადაც h_{min} ზეთის სისქის მინიმალური სისქეა; ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი (ახსიათებს სატაცის მდებარეობას საკისარში) - $t = \frac{e}{u}$.

e და t მნიშვნელობათა გათვალისწინებით ზეთის ფენის მინიმალური მნიშვნელობა

$$h_{min} = -e = (1 - t) \quad (7.9)$$

ტიპური საკისრის გეომეტრიული გაანგარიშებანი თხევადი შეზეთვის პირობებში გარკვეულ სირთულესთანაა დაკავშირებული, მაგრამ ყოველივე საკმაოდ მარტივდება, თუ დაუშვებთ, რომ სატაცის ექსცენტრისიტეტი საკისრის მიმართ მცირე სიდიდეა შეუღლების ღრეჩოსთან შედარებით. ასეთი დაშვება სავსებით მისაღებია სატაცის საშუალო და სწრაფი

ბრუნთა სიხშირის, საშუალო რადიალური დატვირთვებისა და ტრიბოლოგიური სისტემის ზეთით საკმარის რაოდენობით უზრუნველყოფის დროს.

ცენტრების შემაერთებელი ღერძიდან რაიმე φ კუთხეზე ზეთის ფენის სისქის განსაზღვრისათვის განვიხილოთ ნახაზი 7.3.

იმის გათვალისწინებით, რომ $ob = e \cos(180^\circ - \varphi)$ და ექსცენტრისიტეტი e მცირე სიდიდეა,

$$\frac{D}{2} = ob + o'a + h_c = e \cos(180^\circ - \varphi) + r + h_c, \quad (7.10)$$

სადაც r სატაცის რადიუსია, h_c - ცენტრალური კუთხე.

შესაბამისი ჩასმებითა და გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ, რომ

$$h_c = u - e \cos \varphi = (1 + \cos \varphi) \quad (7.11)$$

ხოლო ზეთის ფენის სისქე ღრეჩოს იმ კვეთისათვის, როცა $p = p_{max}$ და $\varphi = \varphi_0$

$$h_0 = (1 + \cos \varphi_0). \quad (7.12)$$

ცილინდრული ფორმის საკისრებისათვის რეინოლდსის განტოლება მიზანშეწონილია პოლარულ კოორდინატებში იქნეს განხილული. განტოლება (7.7) გადავწეროთ შემდეგი გამოსახულებების გათვალისწინებით: $dx = r d\varphi$; $h = h_c$; $V = \dot{S} \cdot r$. აქ \dot{S} სატაცის კუთხური სიჩქარეა.

$$dp = 6\gamma \frac{\dot{S}}{r^2} \cdot \frac{(1 + \cos \varphi) - (1 + \cos \varphi_0)}{(1 + \cos \varphi)^3} d\varphi = 6\gamma \frac{\dot{S}}{r^2} \cdot \frac{\cos \varphi - \cos \varphi_0}{(1 + \cos \varphi)^3} d\varphi. \quad (7.13)$$

წნევა რაიმე φ კუთხეზე განისაზღვრება (7.13) ინტეგრირებით φ_1 კუთხიდან φ_2 კუთხემდე, ე.ი. სასაზღვრო პირობებისათვის (φ_1 , φ_2)

$$P_{\zeta} = \int_{\zeta_1}^{\zeta} dp = \frac{t y \bar{S}}{\mathbb{E}^2} \int_{\zeta_1}^{\zeta} \frac{t (\cos \zeta - \cos \zeta_0)}{(1 + t \cos \zeta)^3} d\zeta . \quad (7.14)$$

p_{ζ} წნევის ვერტიკალური შემდგენი იქნება (ნახ. 7.3)

$$p_{\zeta}'' = p_{\zeta} \cos[180^\circ - (\zeta_a + \zeta)] = p_{\zeta} [-\cos(\zeta_a + \zeta)] . \quad (7.15)$$

მაშინ ელემენტარული სივანის ($\Delta\zeta$ ცენტრალური კუთხით) ფართობის ზიდვის უნარი

$$\Delta F_r = p_{\zeta}'' l r \Delta\zeta = p_{\zeta}'' \frac{ld}{2} \Delta\zeta , \quad (7.16)$$

სადაც d და l საკისრის შესაბამისად დიამეტრი და სიგრძეა.

ვერტიკალური შემდგენების შეჯამება ჰიდროდინამიკური წნევის მოქმედების (φ_1 , φ_2) ზღვრებში და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმა განტოლებებში (7. 15) და (7. 16) მოგვცემს ჰიდროდინამიკური ზეთის ზიდვის უნარს:

$$\begin{aligned} F_r &= \frac{ld}{2} \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} P_{\zeta} [-\cos(\zeta_a + \zeta)] d\zeta = \frac{3y \cdot \bar{S} \cdot \ell \cdot d}{\mathbb{E}^2} \int_{\zeta_1}^{\zeta_1} \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{t (\cos \zeta - \cos \zeta_0)}{1 + t \cos \zeta} [-\cos(\zeta_a + \zeta)] d\zeta = \\ &= \frac{y \cdot \bar{S}}{\mathbb{E}^2} \ell d S_0 \end{aligned} \quad (7.17)$$

სადაც

$$S_0 = 3 \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{t (\cos \zeta - \cos \zeta_0) dy}{1 + t \cos \zeta} [-\cos(\zeta_a + \zeta)] d\zeta , \quad (7.18)$$

S_0 არის სატაცის საკისარში მდებარეობის უგანზომილებო ფუნქცია მოცემული სასაზღვრო პირობებისათვის და იწოდება საკისრის დატვირთვის კოეფიციენტად. S_0 -ს სამეცნიერო და საინჟინრო

პრაქტიკაში ზომერფელდის რიცხვს უწოდებენ (ზოგ ქვეყანაში ჰუმბელის რიცხვსაც).

მეორეს მხრივ, ზომერფელდის რიცხვი (7.17)-ის გათვალისწინებით შეიძლება ასე იქნეს წარმოდგენილი:

$$S_0 = \frac{pE^2}{yS}, \quad (7.19)$$

სადაც p – წნევაა, რომელიც განისაზღვრება, როგორც ნორმალური F_r ძალასა და საკისრის დიამეტრალური კვეთის ფართობის – $d \times l$ ფარდობა. ამასთან, თუ ზომერფელდის რიცხვი – $S_0 < 1$ -ზე, რიგი მკვლევრების რეკომენდაციით ხახუნის კოეფიციენტი $f \approx \frac{y \cdot V \cdot l}{F_r}$, ხოლო თუ $S_0 > 1$, მაშინ $f \approx \left(\frac{y \cdot V \cdot l}{F_r} \right)^{\frac{1}{2}}$.

$\frac{y \cdot V \cdot l}{F_r}$ პარამეტრი წარმოადგენს თხევადი შეხეთვის დროს ხახუნის კომპლექსურ მახასიათებელს და, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გერსი-შტრიბეკის დიაგრამაზე გამოიყენება არგუმენტად.

ყველა ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში და შემდგომ პარამეტრში იგულისხმება SI სისტემის ერთეულებში: y -პა.წმ; p -პა; F_r -ნ; d, l -მ; S -წმ⁻¹.

რეალური საკისრებისათვის ზეთის ფენის ზიდვის უნარი (რადიალური ტვირთამწეობა) განსაზღვრული უნდა იქნეს ტორსული მხრიდან ზეთის გაღინების გათვალისწინებით, რაც ადრე ხორციელდებოდა ექსპერიმენტულად მიღებული წნევის საკისრის სიგრძეზე განაწილების კანონის საფუძველზე. ასეთი გზით მიღებული ძრუდი კარგად ეთანადება პარაბოლას (ნახ. 7.2, ბ). დღეს ამ ამოცანის

გაღწვევისათვის განიხილება სივრცითი ამოცანა საბოლოო სხვაობათა მეთოდისა და ემ-ს გამოყენებით.

თხევადი შეზეთვის დროს საკისრის დატვირთვის კოეფიციენტის (ზომერფელდის რიცხვის) მნიშვნელობა ექსცენტრისიტეტისა და $\frac{l}{d}$ ფარდობის შესაბამისად მოცემულია 7.1 ცხრილში.

დატვირთვის კოეფიციენტის განსაზღვრა შედარებით ნაკლები სიზუსტით შესაძლებელია აგრეთვე გამარტივებული ემპირიული დამოკიდებულებით:

$$S_0 = \frac{m}{1-t} - m, \quad (7.20)$$

სადაც $m \approx 0,66$, როცა $\frac{l}{d} = 0,8$; $m \approx 0,75$, როცა $\frac{l}{d} = 0,9$; $m \approx 0,85$,

როცა $\frac{l}{d} = 1,0$; $m \approx 1,0$, როცა $\frac{l}{d} = 1,2$; $m \approx 1,1$, როცა $\frac{l}{d} = 1,5$.

შუალედური სიდიდეების პოვნა შესაძლებელია ინტერპოლაციით.

აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ $\frac{l}{d}$ ფარდობის უფრო მცირე მნიშვნელობაზე ფორმულა ნაკლებად ზუსტ შედეგს იძლევა.

ჰიდროდინამიკური თეორიის დამოკიდებულებების ანალიზისა და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შესაძლებელია ზოგიერთი საერთო დასკვნის გაკეთება.

ერთის მხრივ, რაც უფრო მცირეა h_{min} , მით უფრო დიდია ზეთის ფენის ზიღვის უნარი F_r . მეორის მხრივ, h_{min} -ის მნიშვნელობა უნდა უზრუნველყოფდეს იმ გარემოებას, რომ შეუღლებული ზედაპირების ბორცვები არ ეხებოდნენ ერთმანეთს მათი ურთიერთგადაადგილების დროს. სხვა სიტყვებით, ზეთის ფენის სისქე მისი უმცირესი განიკვეთის ადგილზე უნდა იყოს სატაცისა და

საკისრის სადების ზედაპირების სიმქისის უსწორმასწორობების (მიკრობორცვების) სიმაღლეთა ჯამზე ($R_{z1} + R_{z2}$) მეტი. აღნიშნული გარემოება უზრუნველყოფს მოხაზუნე ზედაპირების ექსპლუატაციას პრაქტიკული ცვეთის გარეშე. ამ პირობის შესრულებისათვის რეალურ პირობებში საჭირო ხდება დეტალების სიზუსტისა და კვანძში დრეკადი დეფორმაციების (ლილვის ღუნვაზე) გათვალისწინება მარაგის კოეფიციენტის მეშვეობით. მაშინ

$$h_{min} = S(R_{z1} + R_{z2}), \quad (7.21)$$

სადაც S მარაგის კოეფიციენტია და 2. მცირე სიჩქარეების პირობებში, როცა ფარდობითი სიჩქარე V 0,5 მ/წმ, იღებენ მარაგის კოეფიციენტის მცირე მნიშვნელობებს.

თუ მოხაზუნე ზედაპირები მზადდება წმინდა ჩარხით ან შიგნარხით, სიმქისის პარამეტრი იღება $R_z 6,3 \dots R_z 1,6$ (სიმქისის 7...8 კლასი); ხეხვის დროს - $R_z 3,2 \dots R_z 0,4$ (სიმქისის 8...10 კლასი); გაკრიალების დროს - $R_z 0,8 \dots R_z 0,05$ (სიმქისის 10...13 კლასი).

ფარდობითი ღრეჩო საკისრის კვანძებში იღება ზღვრებში

$$\xi = 0,0003 \dots 0,005. \quad (7.22)$$

ღრეჩოს დიდი მნიშვნელობები შეესაბამება დიდ ფარდობით სიჩქარეებს, მცირე რადიალურ დატვირთვებს, გრძელ საკისრებს და დიდი დრეკადობის მოდულის მქონე საკისრის სადებების გამოყენებას (პოლიმერული სადებების გამოყენების შემთხვევაში სარგებლობენ სპეციალური რეკომენდაციებით და გაჭეკვის თავიდან აცილების მიზნით იღებენ ღრეჩოს უფრო დიდ მნიშვნელობებს).

ცნობილია აგრეთვე მუშა ტემპერატურული რეჟიმის პირობებში ფარდობითი ღრეჩოს განსაზღვრის სარეკომენდაციო გამოსახულება [19]:

$$E = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot V^{0,25}, \quad (7.23)$$

სადაც V სატაცის წრიული სიჩქარეა, მ/წმ.

საწყის ტემპერატურულ პირობებისათვის კონსტრუქციულად ირჩევენ - ის გადიდებულ მნიშვნელობებს.

რეგულირებად საკისრებში კონსტრუქციულად აღწევენ იმას, რომ ღრეჩოს სიდიდეები განსხვავდებიან ცივ და დამყარებულ რეჟიმებში.

საკისრის კვანძის ღრეჩოს ტემპერატურული ცვლილებები, რომლებიც გამოწვეულია როგორც ლილვისა და საკისრის სადების ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურულ კოეფიციენტებს შორის განსხვავებით, ისე კვანძის კონსტრუქციული თავისებურებებით (გარე და შიგა დეტალის აბსოლუტურ გაფართოებებს შორის სხვაობით. ღრეჩოს სიდიდის ცვლილება გამოწვეული პირველი მათგანით შეიძლება იქნას გამოსახული

$$\Delta' = 2at(r_1 - r_2). \quad (7.24)$$

სადაც ღრეჩოს მნიშვნელობის ცვლილებაა ტემპერატურული სხვაობით გამოწვეული; a - საკისრის სადების ან ანტიფრიქციული ფენის სისქე; r_1 - სადების ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი; r_2 - ლილვის ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი.

ზემოთ მოყვანილი გამოსახულებების ანალიზისა და საერთოდ საკისრების მუშაობის მეცნიერული კვლევის საფუძველზე დადგენილია, რომ ზეთის ფენის ზიდვის უნარი F_z იზრდება ზეთის სიბლანტისა და წრიული სიჩქარის გაზრდასთან ერთად და მცირდება საკისრის ღრეჩოს გაზრდის დროს. ე.ი. შეიძლება გაკეთდეს მნიშვნელოვანი დასკვნა - შეიძლება ისე გავზარდოთ საკისრის რადიალური დატვირთვის უნარი, რომ

არ გავადიდოთ მისი კონსტრუქციული ზომები და არ გამოვიყენოთ უფრო ძვირფასი მასალები მოხაზუნე დეტალების დასამზადებლად. კერძოდ, გამოვიყენოთ მეტი სიბლანტის მქონე თხევადი ზეთები და შევარჩიოთ ნაკლები სიდიდის ღრეჩოები. მაგრამ მეორეს მხრივ, ეს ღონისძიებანი იწვევენ სხვა უარყოფით მოვლენებს. მაგალითად, მეტი სიბლანტის მქონე ზეთის გამოყენება ზრდის ხაზუნის კოეფიციენტს ხაზუნის კვანძში, ე.ი.-ხაზუნის მომენტს და, მამასადამე, სხვა უარყოფით მოვლენებთან ერთად იწვევს ტემპერატურული რეჟიმის გაუარესებას და საჭირო რეჟიმის შენარჩუნებისათვის აუცილებელი ხდება ხელოვნური გაცივების გამოყენება.

ამრიგად, ხელოვნური გაცივების გარეშე სიბლანტის გაზრდა და ღრეჩოს შემცირება მისაღებია მხოლოდ გარკვეულ ზღვრებში. ამ ზღვრის მიღმა გვაქვს უკუეფექტი, რაც განპირობებულია ტემპერატურული რეჟიმის გაუარესებით, რომელიც იწვევს საკისრის მუშა ზონებში ზეთის სიბლანტის და, შესაბამისად, ზეთის ფენის ზიღვის უნარის შემცირებას.

სრიალის საკისრის გაანგარიშება თხევადი შეზეთვის პირობებში ზოგჯერ დაიყვანება მოცემულ ექსპლუატაციურ პირობებში მაქსიმალური ღრეჩოს განსაზღვრაზე. სხვა შემთხვევაში საკისრის ღრეჩოსა და ზეთის სიბლანტის შერჩევის შემდეგ გაანგარიშება შემოწმებით ხასიათს ატარებს. კერძოდ, საკისრის ღრეჩოსა და ზეთის სიბლანტის დადგენის შემდეგ განისაზღვრება Δ კოეფიციენტი, ხოლო მისი მეშვეობით 7.1 ცხრილიდან ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი t . შემდგომ ანალიზურად ადვილად გამოითვლება ზეთის მინიმალური ფენის სისქე, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას – მოხაზუნე ზედაპირების მიკრობორცვები ხაზუნის პროცესში ერთმანეთს არ უნდა ეხებოდნენ. შემოსწენებული პარამეტრების განსაზღვრის შემდეგ შესაძლებელი ხდება ისეთი ძირითადი

ექსპლუატაციური პარამეტრების განსაზღვრა, როგორცაა ხახუნის მომენტი, ტემპერატურა მუშა ზონაში და ა. შ.

7.4. ხახუნის პარამეტრები

როგორც უკვე აღნიშნული იყო, ხახუნის კოეფიციენტი, შესაბამისად, ხახუნის ძალა და მომენტი სრულყოფილი თხევადი შეზეთვის პროცესში მთლიანად განპირობებულია სითხის ბლანტი ხახუნით, ე.ი. ხახუნის ისეთი პროცესით, როცა იგი ზეთის ფენების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობაა.

განვსაზღვროთ ტრიბოტექნიკის ეს ძირითადი პარამეტრები თხევადი შეზეთვის დროს. სიმარტივისათვის ვერ განვიხილოთ ამოცანა, როცა სატაცის ექსცენტრისიტეტი საკისარში მცირეა და, მაშასადამე, ღრწო საკისრის მთელ განივკვეთში შეიძლება მუდმივად ჩაითვალოს. ასეთი მდგომარეობა შეესაბამება საკისრის ექსპლუატაციის იმ პირობებს, როცა საკისარი მუშაობს მაღალი წრიული სიჩქარეებით და მცირე რადიალური დატვირთვებით. ამასთან, იგულისხმება, რომ საკისრის ღრწო მთლიანად სავსეა ზეთით.

A ფართობზე მოსული ზეთის ფენის ძერის ძალა (ხახუნის ძალა) განისაზღვრება ნიუტონის კანონით

$$F_f = F_t = \gamma A \frac{dV}{dy}, \quad (7.25)$$

სადაც F_t – ძერის ძალაა; F_f – ხახუნის ძალა; A – ზეთის ფენის ფართობი საანგარიშო კვეთისათვის ($= \pi r l$);

$\frac{dV}{dy}$ – სიჩქარის გრადიენტი ზეთის ფენის სისქის მიმართულებით:

$$\frac{dV}{dy} = \frac{V}{\delta} = \frac{\omega r}{\psi r} = \frac{\omega}{\psi}.$$

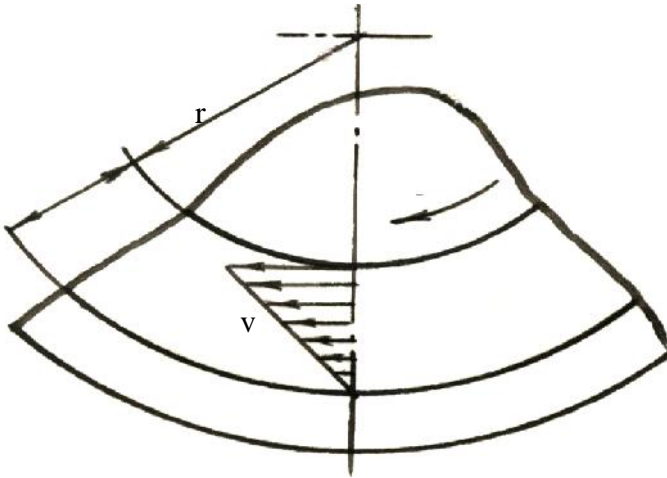
(7.26)

მაშინ A და $\frac{dV}{dy}$ მნიშვნელობათა გათვალისწინებით ხახუნის ძალა

$$F_t = \pi d l \frac{y \bar{S}}{E}. \quad (7.27)$$

შესაბამისად, ხახუნის კოეფიციენტი

$$f = \frac{F_t}{F_r} = \frac{f y \bar{S}}{E p}. \quad (7.28)$$



ნახ. 7.4. ზეთის ფენების გადაადგილების სიჩქარეთა სქემა საკისარში

საშუალო სიდიდის დატვირთვის პირობებში მოყვანილი გამოსახულებით განსაზღვრული პარამეტრები – ხახუნის ძალა და კოეფიციენტი შემცირებული სიდიდისაა და ვერ აკმაყოფილებს სიზუსტის მოთხოვნებს. ეს აიხსნება იმით, რომ აღნიშნულ პირობებში სიჩქარის გრადიენტი დატვირთული და დაუტვირთავი ზონებისათვის მნიშვნელოვნად

განსხვავდება ერთმანეთისაგან. კერძოდ, რადიალური დატვირთვის ისეთ პირობებში, როცა ექსცენტრისიტეტი არ შეიძლება მიჩნეული იქნეს ხულის ტოლად, ე.ი. როცა ღრწო მცირდება დატვირთულ ზონაში და წარმოიშობა ჰიდროდინამიკური წნევა. უკანასკნელი მნიშვნელოვნად ცვლის სიჩქარის გრადიენტის სურათს. ამიტომ საჭირო ხდება ხახუნის კოეფიციენტის კორექტირება, რომელიც დაახლოებით მაინც გაითვალისწინებს რეალურ პირობებს. მაშინ ემპირიული ფორმულა განზომილებათა ტექნიკურ სისტემაში (კგმ, მ, წმ) იღებს სახეს [19]:

$$f = \frac{f}{\xi} \cdot \frac{y\bar{S}}{p} + 0,55\xi' \quad , \quad (7.29)$$

სადაც $\xi' = \left(\frac{d}{2}\right)^{\frac{1}{5}}$ კოეფიციენტია, რომელიც შემოჰყავთ მოკლე საკისრების შემთხვევაში ე.ი. როცა $\frac{l}{d} < 1$, ხოლო თუ $\frac{l}{d} \geq 1$, მაშინ $\xi' = 1$.

პრაქტიკული გაანგარიშებისთვის რეკომენდირებული ხახუნის კოეფიციენტის საანგარიშო ფორმულა შეიძლება ასეთი სახით იქნეს წარმოდგენილი [19]:

$$f = 3,36 \cdot 10^{-5} \frac{d}{\Delta} \cdot \frac{y^n}{p} + 5,5 \cdot 10^{-5} \frac{\Delta}{d} \xi' \quad , \quad (7.30)$$

სადაც d და l პარამეტრების განზომილება მოცემულია სმ-ში; Δ – მკმ-ში; y – სანტიპაუზებში.

როცა წინასწარ დადგენილია ჰიდროდინამიკური წნევის განაწილების კანონი, ხახუნის მომენტის განსაზღვრის დაზუსტებული ფორმულა მიიღება სატაცის ზედაპირზე ზეთის ძვრის ელემენტარული ძალების ინტეგრირებით:

$$T = F_f \cdot \frac{d}{2} = \frac{\gamma \bar{S}}{\bar{E}} \cdot \frac{d^2 l}{2} C_T, \quad (7.31)$$

სადაც T ხაზუნის ძალის მომენტი, ნ.მ; C_T – ბრუნვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი და გამოითვლება შემდეგი ემპირიული დამოკიდებულებით:

$$C_T = \frac{f}{\sqrt{1-t^2}} + 0,438 t S_0 \sqrt{1-t^2}. \quad (7.32)$$

C_T კოეფიციენტის მნიშვნელობები $\frac{l}{d}$ -სა და t -ის მიხედვით მოცემულია ტექნიკურ ლიტერატურაში ცხრილების სახითაც.

პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის განზომილებათა ტექნიკურ სისტემაში (სადაც γ სანტიპუზებშია, d და l -სმ-შია) ხაზუნის მომენტის ფორმულა ასე გამოიყურება:

$$T = 5,35 \cdot 10^{-10} \frac{\gamma n d^2 l}{\Psi} C_T. \quad (7.33)$$

შესაბამისად დასაზუსტებელია ხაზუნის კოეფიციენტი

$$f = \frac{2T}{d \cdot F_r} = \frac{\gamma \bar{S} C_T}{\bar{E} p}. \quad (7.34)$$

იმის გათვალისწინებით, რომ $S_0 = \frac{p \bar{E}^2}{\gamma \bar{S}}$,

$$f = \frac{\bar{E} C_T}{S_0}. \quad (7.35)$$

7.5. თბური გაანგარიშების საფუძვლები წნევით შეზეთვის დროს

ტრიბოსისტემის წნევითი შეზეთვის დროს თბური გაანგარიშების ამოცანა მუშა ტემპერატურის განსაზღვრასთან ერთად გულისხმობს ზეთის იმ მოცულობის დადგენას, რომელიც გაედინება კვანძში, რათა შენარჩუნებულ იქნეს დასაშვები ტემპერატურა ხაზუნის ზონაში.

კლასიკური ტემპერატურული გაანგარიშების მსგავსად, მეთოდი ეფუძნება თბური ბალანსის განტოლებას, სადაც, ერთის მხრივ, გამოყოფილი სითბოს ნაკადი საკისარში

$$\Phi = F_f V = f F_r \dot{S} \quad r = T \dot{S} , \quad (7.36)$$

ხოლო მეორეს მხრივ, ხახუნის ზონიდან არინებული (გატანილი) სითბოს რაოდენობა ნაწილდება ორ შემდგენზე:

- სითბოს ნაკადი, რომელსაც გადასცემს საკისარი და ლილვი,
- სითბოს ნაკადი, რომელიც გადაიტანება შემზეთი მასალის მიერ.

წნევით შეზეთვის პირობებში ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის პირველი შემდგენი უმნიშვნელოა და უძრავლეს შემთხვევაში მხედველობაში არ მიიღება, ამიტომ მოცემულ პარაგრაფში იგი არ განიხილება. შესაბამისად, სრიალის საკისრების წნევითი შეზეთვისას თბური გაანგარიშების უძრავლეს შემთხვევებში საკმარისადაა მიჩნეული მხოლოდ მეორე შემდგენის გათვალისწინება (შემთხვევა, როცა გათვალისწინებულია სითბოს გადაცემა საკისრისა და ლილვის მეშვეობით განიხილება ქვემოთ სრიალის საკისრების სასაზღვრო და მშრალი ხახუნის პირობებში მუშაობის გაანგარიშების დროს). ე.ი. თბური წონასწორობის პირობა დამყარებული რეჟიმის დროს სრიალის საკისრებისათვის ასე გამოიყურება:

$$\Phi = \Phi_1 , \quad (7.37)$$

სადაც Φ_1 შემზეთი მასალის მიერ ხახუნის ზონიდან არინებული სითბოს ნაკადია და იგი ტოლია

$$\Phi_1 = CQ \dots (t_2 - t_1) , \quad (7.38)$$

სადაც Q შემზეთი მასალის რაოდენობაა, რომელიც გაედინება საკისრის ღრეჩოში, მ³/წმ; ... – შემზეთი მასალის სიმკვრივე, იღება ზღვრებში

870...890 კგ/მ³; C – ზეთის ხვედრითი სითბოტევადობა, იღება
ზღვრებში – $(1,7...2,1) \cdot 10^3 \frac{\text{ჯოული}}{\text{კგ. კელვინი}}$; t_2, t_1 – შემაგალი და

გამომავალი შემზეთი მასალის ტემპერატურები, $^{\circ}\text{C}$.

t_2 -ს დადგენის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს ის გარემოება, რომ იგი განსხვავდება ხახუნის ზონაში ზეთის ტემპერატურისაგან (t_2). ამასთან, უკანასკნელი არ უნდა აღემატებოდეს $60...75^{\circ}\text{C}$. წინააღმდეგ შემთხვევაში ხდება შემზეთი საშუალებების მაჩვენებლების მკვეთრი გაუარესება, რაც, თავის მხრივ, აუარესებს ხახუნის პარამეტრებს, ეს კი ზრდის ტემპერატურას და აღმავალი ციკლი კვლავ მეორდება კვანძის მწყობრიდან გამოსვლამდე.

სითბოს იმ რაოდენობის დადგენისათვის, რომელიც აირინება ტრიბოლოგიური სისტემიდან, საჭიროა განისაზღვროს შემზეთი მასალის რაოდენობა, რომელიც გაედინება დატვირთული, მოძრაობაში მყოფი სრიალის საკისრის ტორსული ზედაპირიდან. ამ ამოცანის გადაწყვეტისათვის არსებობს არაერთი ემპირიული ფორმულა, მაგრამ ყველა მათგანი მოუხერხებელი და შედარებით რთულია, რის გამოც საინჟინრო გაანგარიშებისას ნაკლებად გამოიყენება.

ამ ამოცანის თეორიული გადაწყვეტა ემყარება ბლანტი სითხის სამგანზომილებიანი ნაკადის ტორსული გადინების ჰიდროდინამიკურ განტოლებებს. ამოცანის გამარტივება – სივრცულის დაყვანა ბრტყელ ამოცანამდე არ ხერხდება იმ მიზეზით, რომ საკისრის უსასრულო სიგრძის შემთხვევაში სითხის გადინება ლერძული მიმართულებით უნდა შეწყდეს, რაც მიუღებელია ჩვენთვის. აღნიშნულის გამო სამგანზომილებიანი ამოცანის გადაწყვეტისათვის სარგებლობენ მიახლოებითი მეთოდებით –

შემზეთი მასალის ხარჯის უგანზომილებო, სრული კოეფიციენტი განისაზღვრება აპროქსიმირებული (მიანლოებული) ფორმულით

$$q = \frac{2Q}{\pi S l d^2}, \quad (7.39)$$

სადაც Q შემზეთი მასალის გადინების ხარჯია, ლ/წმ;

დანარჩენი წევრების განზომილება იგივეა, რაც ზემოთ იყო განმარტებული, ღმ-ში. მაშინ შემზეთი მასალის ხარჯი განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$Q = 0,5 \pi S l d^2 q, \quad (7.40)$$

შემზეთი მასალის ხარჯის უგანზომილებო, სრული კოეფიციენტი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც სამი განზომილების ჯამი

$$q = q_1 + q_2 + q_3, \quad (7.41)$$

სადაც q_1 შემზეთი მასალის დატვირთული ზონის ტორსული ზედაპირებიდან განდინების კოეფიციენტი. q_1 -ის მნიშვნელობები კონსტრუქციული პარამეტრების მიხედვით დადგენილია მ. კოროვჩინსკის მიერ და მოცემულია 7.2 ცხრილში (პრაქტიკული გაანგარიშების დროს თუ აღმოჩნდა, რომ $q_1 > q$, ეს იმას ნიშნავს, რომ არახელსაყრელი პირობებია ჰიდროდინამიკური შეზეთვისათვის და მდგომარეობის გამოსასწორებლად საჭიროა ან $-$ ის, ან $\frac{l}{d}$ ფარდობის, ანდა ორივე პარამეტრის შემცირება); q_2 – შემზეთი მასალის დაუტვირთავი ზონიდან განდინების კოეფიციენტი, იგი გამოითვლება ფორმულით:

$$q_2 = S_0 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \frac{p_e}{p}, \quad (7.42)$$

სადაც p_e შემზეთი მასალის წნევაა, რომელიც მიეწოდება შემზეთ არხს ტუმბოდან, მპა; p – საშუალო ხვედრითი წნევა, მპა;

S – უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში (ცხრილი 7.3).

q_3 არის შემზეთი არხების ზომებისა და მათი განლაგების კოეფიციენტი. ორი დახურული არხის ჩვეულებრივი განლაგების დროს (ნახ. 7.5)

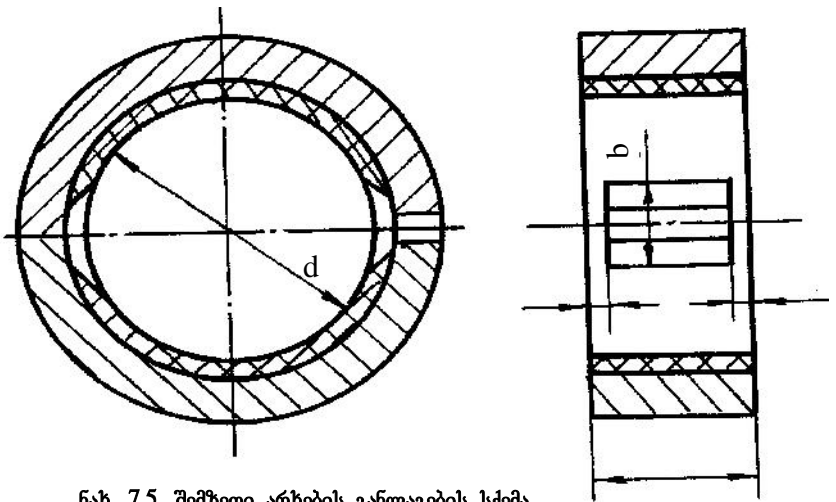
$$q_3 = [S_0 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \frac{b}{d} \left(\frac{l}{a} - 2 \right) \frac{p_2}{p}], \quad (7.43)$$

სადაც $[$ კოეფიციენტი და $-$ ის მიხედვით აიღება ცხრილებიდან (ცხრილი 7.3).

a და b ზომები მოცემულია 8.5 ნახ-ზე და შეირჩევა სატაცის დიამეტრის მიხედვით, მ:

$$a \approx 0,1.l, \quad (7.44)$$

$$b \approx (0,20 \dots 0,25)d. \quad (7.45)$$



ნახ. 7.5. შემზეთი არხების განლაგების სქემა

დატვირთვის კოეფიციენტი (ზომურფუელის რიცხვი) S_0

$\frac{l}{d}$	t													
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,925	0,95	0,975	0,99
	დატვირთვის კოეფიციენტი S_0													
0,3	0,05	0,08	0,13	0,20	0,26	0,38	0,48	0,70	1,22	2,07	3,35	5,73	15,15	50,52
0,4	0,09	0,41	0,22	0,34	0,43	0,57	0,78	1,08	1,78	3,20	5,06	8,39	21,00	65,26
0,5	0,13	0,21	0,32	0,49	0,62	0,82	1,10	1,57	2,43	4,26	6,62	10,7	25,62	75,86
0,6	0,18	0,28	0,43	0,66	0,82	1,07	1,42	2,00	3,04	5,21	7,96	12,6	29,17	83,21
0,7	0,23	0,36	0,54	0,82	1,01	1,31	1,72	2,40	3,58	6,03	9,07	14,1	31,88	88,90
0,8	0,29	0,44	0,65	0,97	1,20	1,54	1,95	2,75	4,05	6,72	9,99	15,4	33,99	92,89
0,9	0,34	0,52	0,75	1,12	1,37	1,74	2,26	3,07	4,46	7,29	10,8	16,4	35,66	96,35
1,0	0,39	0,59	0,85	1,25	1,53	1,93	2,47	3,37	4,81	7,77	11,4	17,2	37,00	98,95
1,1	0,44	0,66	0,95	1,38	1,67	2,10	2,66	3,58	5,11	8,19	11,9	17,9	38,12	101,90
1,2	0,49	0,72	1,03	1,49	1,80	2,25	2,83	3,79	5,36	8,53	12,4	18,4	39,04	102,90
1,3	0,53	0,78	1,11	1,59	1,91	2,38	2,99	3,97	5,59	8,83	12,7	18,9	39,81	104,42
1,5	0,61	0,89	1,25	1,76	2,10	2,60	3,24	4,27	5,95	9,30	13,34	19,7	41,07	106,84
2	0,76	1,09	1,48	2,07	2,45	2,98	3,67	4,78	6,55	10,09	14,34	20,97	43,11	110,79

ცხრილი 7.2.

შემზეთი მასალის და დატვირთული ზონის ტორსული ზედაპირიდან
გადინების კოეფიციენტი q_1

$\frac{l}{d}$	t													
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,70	0,75	0,80	0, 85	0,90	0,925	0,95	0,975	0,99
კონცენტრული საკისარი														
0,4	0,115	0,162	0,209	0,258	0,282	0,306	0,334	0,348	0,366	0,378	0,380	0,376	0,365	0,314
0,5	0,113	0,158	0,203	0,249	0,271	0,292	0,318	0,330	0,343	0,351	0,348	0,340	0,317	0,268
0,6	0,110	0,152	0,196	0,238	0,259	0,278	0,302	0,310	0,320	0,323	0,318	0,306	0,280	0,230
0,7	0,107	0,148	0,189	0,228	0,247	0,264	0,283	0,291	0,297	0,297	0,289	0,275	0,248	0,200
0,8	0,104	0,144	0,181	0,217	0,234	0,249	0,267	0,272	0,275	0,273	0,263	0,248	0,222	0,177
0,9	0,100	0,138	0,174	0,206	0,222	0,235	0,250	0,254	0,255	0,250	0,240	0,225	0,199	0,158
1,0	0,097	0,133	0,166	0,196	0,209	0,221	0,235	0,236	0,237	0,230	0,220	0,205	0,181	0,142
1,1	0,094	0,128	0,158	0,186	0,198	0,208	0,220	0,221	0,220	0,212	0,203	0,188	0,165	0,129
1,2	0,090	0,122	0,150	0,176	0,181	0,196	0,207	0,206	0,205	0,197	0,187	0,174	0,151	0,119
1,3	0,087	0,117	0,143	0,167	0,176	0,185	0,194	0,193	0,191	0,183	0,174	0,160	0,140	0,110
1,5	0,080	0,108	0,130	0,150	0,158	0,164	0,172	0,171	0,168	0,160	0,152	0,140	0,122	0,095
ნახევარი საკისარი (180 ⁰ -იანი)														
0,4	0,114	0,141	0,174	0,206	0,220	0,232	0,240	0,247	0,242	0,235	0,223	0,207	0,174	0,135
0,5	0,109	0,135	0,166	0,194	0,206	0,217	0,222	0,224	0,218	0,206	0,194	0,178	0,145	0,110
0,6	0,105	0,129	0,156	0,182	0,192	0,200	0,203	0,203	0,196	0,184	0,170	0,153	0,123	0,093
0,7	0,100	0,122	0,147	0,169	0,178	0,185	0,186	0,185	0,176	0,163	0,150	0,134	0,107	0,089
0,8	0,095	0,115	0,138	0,158	0,165	0,170	0,172	0,168	0,158	0,146	0,133	0,118	0,099	0,070
0,9	0,090	0,107	0,129	0,146	0,153	0,157	0,156	0,153	0,143	0,131	0,119	0,106	0,084	0,062
1,0	0,085	0,102	0,121	0,136	0,141	0,145	0,143	0,138	0,130	0,119	0,108	0,096	0,075	0,056
1,1	0,081	0,096	0,113	0,127	0,131	0,139	0,132	0,128	0,119	0,109	0,098	0,087	0,068	0,050
1,2	0,076	0,091	0,106	0,118	0,122	0,124	0,122	0,119	0,110	0,100	0,090	0,080	0,063	0,046
1,3	0,072	0,086	0,100	0,111	0,114	0,117	0,114	0,110	0,102	0,092	0,081	0,074	0,058	0,043
1,5	0,065	0,076	0,088	0,098	0,101	0,101	0,099	0,095	0,088	0,080	0,072	0,064	0,050	0,037

ცხრილი 7.2. გავრძელება

$\frac{l}{d}$	t													
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,265	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,925	0,95	0,975	0,99
120 ⁰ -იანი საკისარი														
0,4	0,078	0,094	0,106	0,115	0,122	0,127	0,131	0,132	0,129	0,122	0,115	0,104	0,079	0,049
0,5	0,072	0,087	0,098	0,106	0,111	0,115	0,117	0,117	0,113	0,105	0,098	0,087	0,064	0,039
0,6	0,067	0,080	0,089	0,096	0,100	0,103	0,104	0,103	0,098	0,090	0,084	0,074	0,054	0,033
0,7	0,062	0,074	0,082	0,087	0,090	0,093	0,093	0,092	0,086	0,079	0,073	0,064	0,046	0,028
0,8	0,057	0,068	0,075	0,079	0,082	0,084	0,084	0,082	0,077	0,070	0,064	0,056	0,041	0,025
0,9	0,053	0,062	0,069	0,072	0,074	0,076	0,075	0,074	0,069	0,062	0,057	0,050	0,036	0,022
1,0	0,048	0,058	0,063	0,066	0,068	0,069	0,069	0,067	0,063	0,057	0,052	0,045	0,032	0,020
1,1	0,045	0,053	0,058	0,061	0,062	0,063	0,063	0,061	0,057	0,052	0,047	0,041	0,030	0,018
1,2	0,042	0,050	0,054	0,056	0,058	0,058	0,058	0,056	0,052	0,047	0,043	0,038	0,027	0,016
1,3	0,039	0,046	0,050	0,052	0,053	0,054	0,054	0,052	0,048	0,043	0,040	0,035	0,025	0,015
1,5	0,034	0,040	0,044	0,046	0,046	0,047	0,047	0,044	0,042	0,038	0,034	0,030	0,022	0,013

S და [კოეფიციენტების მნიშვნელობები

t	S კოეფიციენტი საკისრის შემოხვევის კუთხის მიხედვით			[კოეფიციენტი საკისარში ორი გრძივი არხის შემოხვევაში
	360 ⁰	180 ⁰	120 ⁰	
0,3	0,132	0,194	0,246	0,097
0,4	0,153	0,227	0,285	0,107
0,5	0,175	0,273	0,329	0,116
0,6	0,200	0,323	0,380	0,125
0,65	0,213	0,352	0,408	0,129
0,70	0,226	0,384	0,437	0,131
0,75	0,240	0,417	0,468	0,132
0,80	0,256	0,454	0,501	0,132
0,85	0,273	0,489	0,536	0,128
0,90	0,289	0,535	0,573	0,121
0,925	0,299	0,563	0,592	0,113
0,95	0,308	0,582	0,612	0,108
0,075	0,318	0,609	0,632	0,097
0,99	0,323	0,625	0,645	0,090

საბოლოოდ (7.36), (7.37) და (7.38) ფორმულების გათვალისწინებით განისაზღვრება გამოძვალი შემზეთი მასალის ტემპერატურა

$$t_2 = \frac{\Phi + CQ \dots t_1}{CQ \dots}, \tag{7.46}$$

ხოლო ტემპერატურა ხახუნის ზონაში დგინდება იმის გათვალისწინებით, რომ იგი $0...30^{\circ}\text{C}$ -ით აღემატება გამოშავალი შემზეთი მასალის ტემპერატურას, როცა უკანასკნელი შესაბამისად იცვლება $20...45^{\circ}\text{C}$ -მდე ზღვრებში, ე.ი.

$$t_{\text{ж}} = t_2 + (0...30)^{\circ}\text{C} . \quad (7.47)$$

იმ შემთხვევაში, როცა საკისრისათვის შერჩეულია t_2 , შემზეთი მასალის ხარჯი (7.37) და (7.38) ფორმულების გათვალისწინებით განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებიდან, $\text{მ}^3/\text{წმ}$:

$$Q = \frac{\Phi}{C \dots (t_2 - t_1)} . \quad (7.48)$$

მაგალითი [19]: შეფასდეს სრიალის საკისრის მუშაობის უნარი და ხახუნის პარამეტრები, როცა მოცემულია:

$d=0,15\text{მ}$, $l=0,18\text{მ}$, $n=600\text{წმ}^{-1}$, $F_r=60\text{კნ}$, ლილვის სატაცს აქვს ზედაპირული წრთობა, სადები 10-5 შენადნობია და სატაცის ზედაპირული სიმქისის მახასიათებელს წარმოადგენს: $R_{z1}=0,8...1,6\text{მკმ}$, ხოლო სადების- $R_{z2}=1,6...3,2\text{მკმ}$.

ლილვის ბრუნვათა კუთხური სიჩქარე

$$\xi = \frac{f n}{30} = \frac{3,14 \cdot 600}{30} = 62,8\text{წმ}^{-1} .$$

ფარდობითი სრიალის წრიული სიჩქარე

$$V = \frac{\xi d}{2} = \frac{62,8 \cdot 0,15}{2} = 4,72\text{მ}/\text{წმ} .$$

საშუალო ხვედრითი წნევა

$$p = \frac{F_r}{dl} = \frac{60000}{0,15 \cdot 0,12} = 2,2 \cdot 10^6 \text{პა} = 2,2 \text{მპა} .$$

pV პარამეტრის მნიშვნელობა

$$pV=2,2 \cdot 10^6 \cdot 4,72 = 10,3 \text{ მპა. მ/წმ.}$$

მიღებული p -სა და pV -ს მნიშვნელობები შეეუფარდოთ დასაშვებ სიდიდეებს. აღებული მასალებისა და პირობებისათვის ისინი დასაშვებია.

შეკარჩიოთ სრიალის საკისრის ფარდობითი ღრეჩო ზემოთ მოყვანილი ერთ-ერთი დამოკიდებულებიდან. მაგალითად, (7.23) გამოსახულებით

$$= 0,8 \cdot 10^3 \cdot V^{0,25} = 0,8 \cdot 10^3 \cdot 4,72^{0,25} \approx 0,0012.$$

შესაბამისად, დიამეტრული ღრეჩო

$$\Delta = \epsilon d = 0,0012 \cdot 0,15 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ მ (180 მკმ).}$$

წინასწარ დაეუშვათ საკისრის მუშა ტემპერატურა 50°C (ზუსტდება ტემპერატურული გაანგარიშების შემდეგ) და შეკარჩიოთ ზეთი – ინდუსტრიული – -A-32 კინემატიკური სიბლანტით $= 20 \text{ მმ}^2/\text{წმ} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ მ}^2/\text{წმ}$. შესაბამისად, დინამიკური სიბლანტე

$$\gamma = \gamma = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 890 = 0,018 \text{ პა.წმ.}$$

მაშინ საკისრის დატვირთვის კოეფიციენტი (ზომერფელდის რიცხვი)

$$S_0 = \frac{p \epsilon^2}{\gamma S} = \frac{2,2 \cdot 10^6 \cdot 0,0012^2}{0,018 \cdot 62,8} = 2,83.$$

7.1 ცხრილიდან ვპოულობთ ფარდობით ექსცენტრისიტეტს, როცა $\frac{l}{d} = 1,2$ და $S_0 = 2,83$ - $t \approx 0,75$.

ზეთის ფენის მინიმალური სისქე

$$h_{min} = u(1-t) = \frac{0,18}{2}(1-0,75) = 0,0225 \text{ მმ} = 22,5 \text{ მკმ.}$$

უსაფრთხოების კოეფიციენტი ზეთის ფენის სისქის მიხედვით

$$S = \frac{h_{min}}{R_{z1} + R_{z2}} = \frac{22,5}{1,6 + 3,2} = 4,7 > 2.$$

ხახუნის მომენტი სატაცზე (7.31) გამოსახულების მიხედვით

$$T = \frac{\gamma \bar{S}}{E} \cdot \frac{d^2 l}{2} C_T = \frac{0,018 \cdot 62,8}{0,0012} \cdot \frac{0,15^2 \cdot 0,18}{2} \cdot 5,36 \approx 106,8,$$

სადაც

$$C_T = \frac{f}{\sqrt{1-t^2}} + 0,438 t S_c \sqrt{1-t^2} = \frac{3,14}{\sqrt{1-0,75^2}} + 0,438 \cdot 0,75 \cdot 2,83 \sqrt{1-0,75^2} = 5,36.$$

ხახუნის ძალა

$$F_f = \frac{2T}{d} = \frac{2 \cdot 10}{0,15} = 133 \text{ გ},$$

ხახუნის კოეფიციენტი

$$f = \frac{F_f}{F_r} = \frac{133}{60000} = 0,0022.$$

ახლა განვსაზღვროთ შეზეთვის სისტემაში ზეთის ხარჯისა და წნევის სიდიდე.

ამისათვის ვიპოვოთ სრიალის საკისარში გამოყოფილი სითბოს ნაკადი

$$= F_f V = 133 \cdot 4,72 = 628 \text{ ვტ.}$$

შემზეთი მასალის ხარჯი, (7.48) გამოსახულების შესაბამისად,

$$Q = \frac{\Phi}{C_{...} (t_2 - t_1)} = \frac{628}{1,9 \cdot 10^3 \cdot 880 \cdot 10} = 0,376 \cdot 10^{-4} \text{ მ}^3 / \text{წმ} = 0,0376$$

ლ/წმ,

სადაც C არის ზეთის ზედრითი სითბოტევადობა, ავიღოთ

$1,9 \cdot 10^3 \frac{\text{ჯოული}}{\text{კგ კელვინი}}$; ... – ზეთის სიმკვრივე, ავიღოთ 880 კგ/მ^3 ; $t_2 - t_1$ –

ტემპერატურათა სხვაობა, დავუშვათ, რომ 10°C -ის ტოლია.

მაშინ (7.39) დამოკიდებულებიდან საკისრის ზეთის ხარჯვის სრული კოეფიციენტი

$$q = \frac{2Q}{\pi S l d^2} = \frac{2 \cdot 37,6 \cdot 10^{-6}}{0,0012 \cdot 62,8 \cdot 0,18 \cdot 0,15^2} = 0,246.$$

7.2 ცხრილიდან, როცა $t = 0,75$, $\frac{l}{d} = 1,2$, გვაქვს $q = 0,207$.

q_2 და q_3 კოეფიციენტებისათვის 7.3 ცხრილიდან ამოვიწეროთ $S = 0,240$ და $l = 0,132$, მაშინ

$$q_2 = S S_0 \left(\frac{d}{l}\right)^2 \frac{P_e}{p} = 0,24 \cdot 2,83 \cdot \left(\frac{0,15}{0,18}\right)^2 \cdot \frac{P_e}{p} = 0,47 \frac{P_e}{p},$$

ხოლო

$$q_3 = \left[S_0 \left(\frac{d}{l}\right)^2 \frac{b}{d} \left(\frac{l}{a} - 2\right) \frac{P_e}{p} \right] = 0,132 \cdot 2,83 \cdot \left(\frac{0,15}{0,18}\right)^2 \frac{0,03}{0,15} \left(\frac{0,18}{0,018} - 2\right) \frac{P_e}{p} = 0,415 \frac{P_e}{p},$$

სადაც შემზეთი არხის ზომები

$$b = 0,2d = 0,2 \cdot 0,15 = 0,03 \text{ მ},$$

$$a = 0,1l = 0,1 \cdot 0,18 = 0,018 \text{ მ}.$$

(7.41)-ის საფუძველზე

$$0,246 = 0,207 + \frac{P_e}{p} (0,471 + 0,415),$$

$$\frac{P_e}{p} = 0,044.$$

შემზეთ სისტემაში საჭირო წნევა იქნება

$$p_e = 0,044p = 0,044 \cdot 2,2 = 0,097 \text{ მპა}.$$

VIII თავი

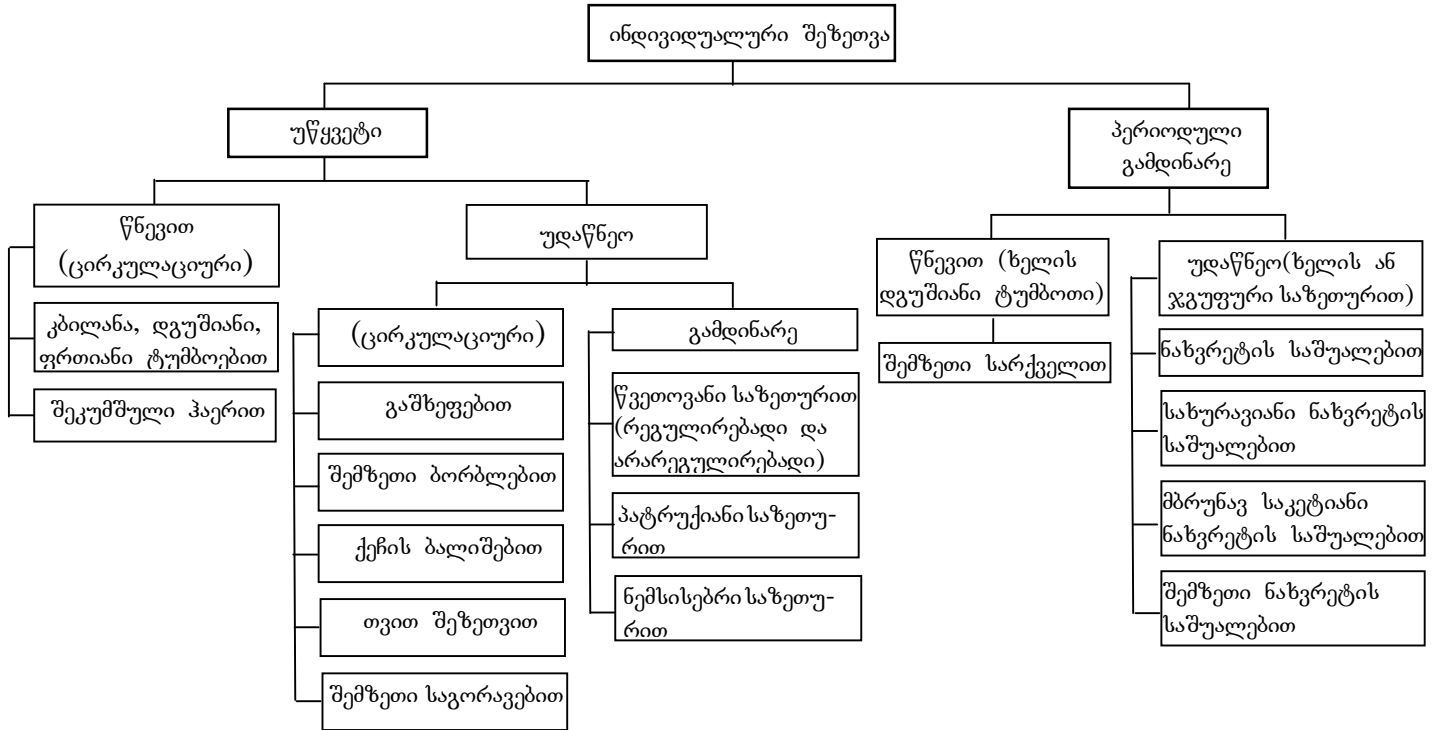
შეზღვევის სისტემაში და მართვაში

შეზღვევის სისტემის ფუნქციას შესაბამისი ტექნიკურ-მატერიალური საშუალებების მეშვეობით შემზეთი მასალის მიწოდების უზრუნველყოფა უშუალოდ ხაზუნის ზონაში. ამასთან, იგი შედგება: შემზეთი მასალის დანიშნულების ადგილზე მიმწოდებელი მოწყობილობისაგან, შემზეთი მასალის რეზერვუარისაგან, შემზეთი მასალის ხაზუნის ზოლიდან გამოყვანილი მოწყობილობისაგან, სამაცივრო სისტემებისაგან, შემზეთი მასალის გამწმენდი დანადგარისაგან, შემზეთი მასალის საწნევის ნაკადის რეგულირებისა და სისტემების სხვა საზომ-საკონტროლო და მართვის ხელსაწყო საშუალებებისაგან.

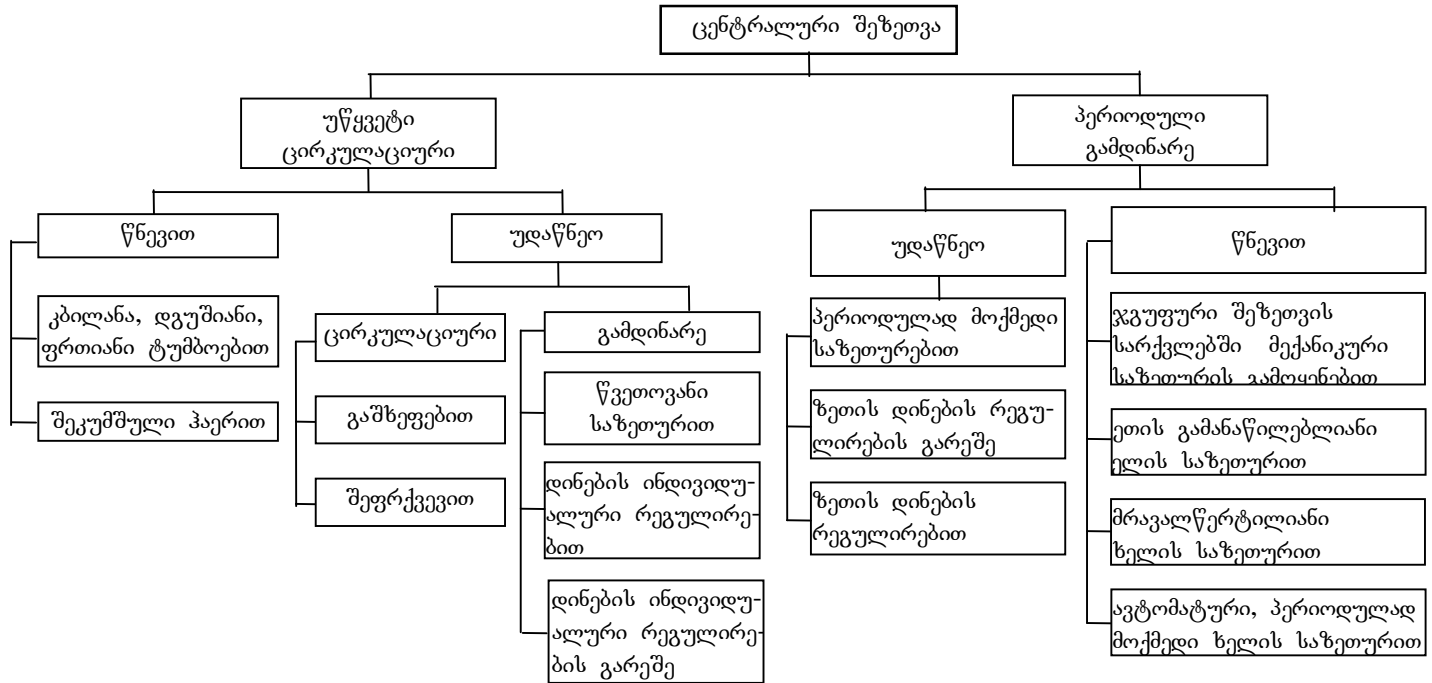
კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით: იმის მიხედვით, თუ როგორ ტრიბოლოგიურ სისტემასთან გვაქვს საქმე, შეზღვევის რა მეთოდები, რა შემზეთი მასალები და რა რაოდენობით გამოიყენება, შესაძლებელია შემზეთი სისტემის რიგ ელემენტებზე უარის თქმა. შესაბამისად, შემზეთი სისტემები შეიძლება განხორციელდეს როგორც უმარტივესი მატერიალური შესაძლებლობით, ისე რთული ცენტრალური სისტემებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ ათეულობით ხაზუნის კვანძების ერთდროულ შეზღვევას და შემზეთი მასალის ტონობით გამოყენებას.

თანამედროვე მანქანათმშენებლობაში, როგორც უკვე აღნიშნული იყო, შემზეთი მასალად ძირითადად იყენებენ მინერალურ და ნავთობის გადამუშავების შედეგად მიღებულ ზეთებს. გამოიყენება აგრეთვე ხელოვნური, სინთეტიკური ზეთები. არის შემთხვევები, როცა შემზეთი მასალად იყენებენ სხვადასხვა მუშა სითხეებს და წყალს.

განასხვავებენ შეზღვევის ინდივიდუალურ და ცენტრალურ სისტემებს (ნახ. 8.1, 8.2). სისტემა ინდივიდუალურია, თუ იგი ემსახურება



ნახ.8.1. შეზეთვის ინდივიდუალური სისტემები [21]



ნახ. 8.2. შეზეთვის ცენტრალური სისტემები[21]

ერთ ტრიბოლოგიურ სისტემას და ცენტრალურია, თუ ემსახურება ერთდროულად რამდენიმე ტრიბოლოგიურ სისტემას.

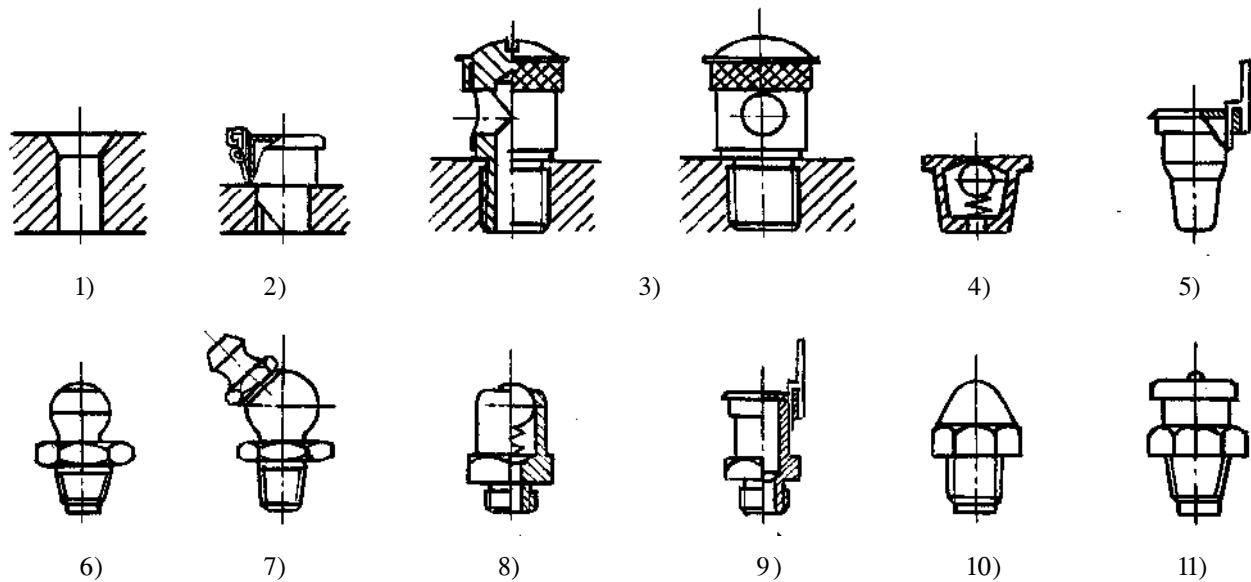
შეზეთვის პერიოდულობის მიხედვით განასხვავებენ განუწყვეტელი (ცირკულარული მოქმედების, წნევით და უდაწნეოდ) და პერიოდული (ასევე წნევით და უდაწნეოდ) მოქმედების ტრიბოლოგიურ სისტემებს. არსებობს და საინჟინრო პრაქტიკაში საკმაოდ ფართოდაა გამოყენებული აგრეთვე ერთჯერადი შეზეთვის მეთოდი (კვანძი იზეთება მხოლოდ ერთხელ ექსპლუატაციის დასაწყისში. არ შეიძლება ამ მეთოდის გაიგივება შეუზეთავ ხახუნთან, რომელიც შეიძლება იყოს მშრალი).

შემზეთი მასალა ხახუნის ზონაში შეიძლება მიწოდებულ იქნეს უდაწნეოდ და წნევითი შემზეთი სისტემების საშუალებით.

განვიხილოთ შეზეთვის ძირითადი მეთოდები.

8.1. ინდივიდუალური შეზეთვა

პერიოდული უდაწნეოდ შეზეთვა შეზეთვის უმარტივესი მეთოდია. ყველაზე ხშირად იგი ხორციელდება ხელით და ჯერ კიდევ საკმაოდ ფართოდ არის გამოყენებული მანქანებში. მეთოდის ძირითადი არსი ასეთია: ხახუნის კვანძის სპეციალურ ნახვრეტებში ხელით ან დგუშიანი, ანდა მემბრანული საზეთურით შეჰყავთ შემზეთი მასალა (ნახვრეტებისა და მათი სარქველების კონსტრუქციული სახეები მოცემულია 8.3 ნახ-ზე).

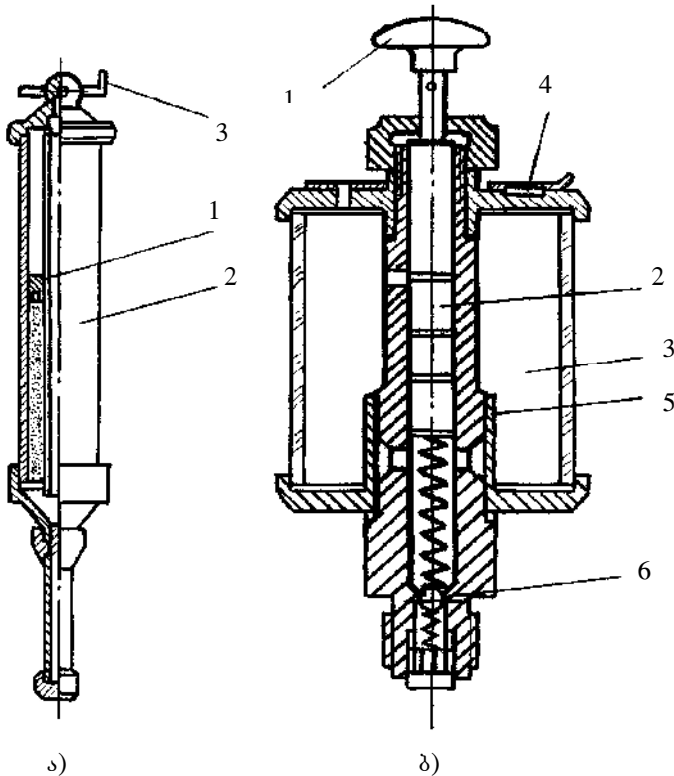


ნახ. 8.3. საზეთი ნახერეები და სარქვლები

1,2,3 - საზეთი ნახერეები, (2 - ჩამოსაცმელი საზურავით, 3 - ჩახრახნილი ბუნიკით);
 4,5 - ჩასაწნეხი სარქვლები; 6-11 - ჩასახრახნი სარქვლები და საზეთურები

პერიოდული წნევით შეზღვევა. ამ სახის შეზღვევა ხორციელდება ხელის საზეთურების მეშვეობით სპეციალურ ნახვრეტებში ზეთის წნევით შეყვანით. ეს მეთოდი ზემოთ აღნიშნულისაგან განსხვავებით უზრუნველყოფს ხახუნის ზონების უფრო მეტი ფართობის დაფარვას ზეთით, შესაბამისად, ხახუნის პროცესის უფრო ხელსაყრელ პირობებში წარმართვას.

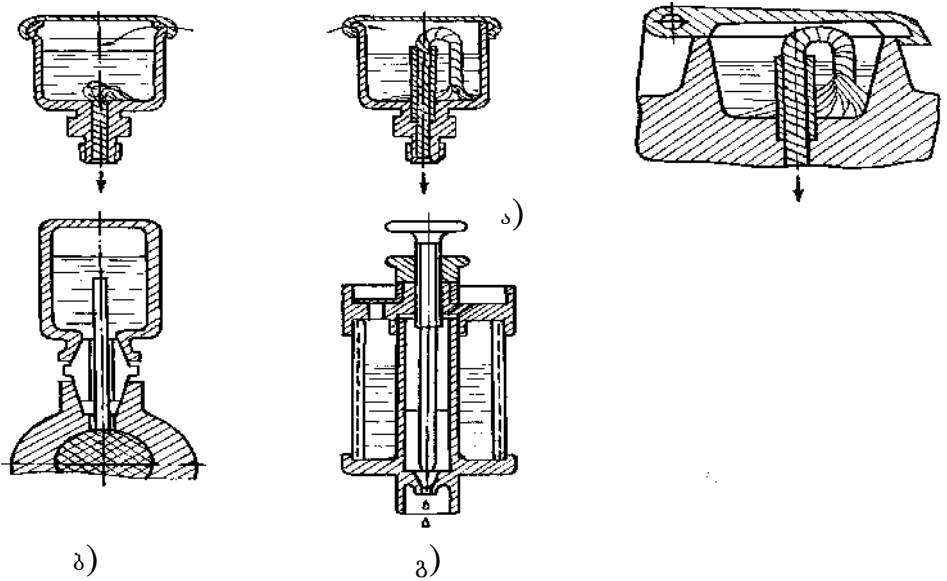
ხელის საზეთურების კონსტრუქციები მოცემულია 8.4 ნახ-ზე.



ნახ. 8.4. ხელის საზეთურები

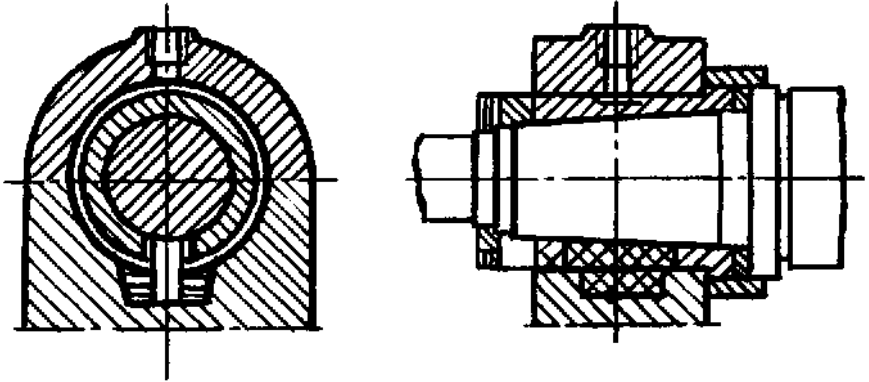
წნეხ-საზეთური: 1 - დგუში; 2 - კორპუსი; 3 - სახელური;
 წნევით პერიოდულად მომუშავე: 1 - კნობი; 2 - პლუნჯერი; 3 - ავზი;
 4- ნახვრეტი ზეთის ჩასასხმელად; 5 - ბადისებრი ფილტრი;
 6 - ბურთულიანი სარქველი

გამდინარე უდაწნელ შეზეთვა. ასეთი მეოდით სარგებლობის დროს იყენებენ შესაზეთი კვანძის და ზეთის რეზერვუარის დონეთა სზვაობას. აღნიშნული მეთოდის განსზვაებულ ჯგუფს შეადგენს ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები, რომლებშიც გამოყენებულია პატრუქიანი წვეთოვანი და ნემსისებრი საზეთურები (ნაზ. 8.5), სადაც ერთ შემთხვევაში გამოყენებულია პატრუქის კაპილარული თვისებები, ხოლო მეორე შემთხვევაში ტრიბოლოგიური სისტემის შეზღუდული შეზეთვა მიღწეულია საზეთურის მცირე განივკვეთით, რომლის სიდიდე შესაძლებელია რეგულირებადი იყოს. შეზეთვის ასეთ სისტემებში ზეთის მიწოდებას ზოგჯერ ტივტივებით არეგულირებენ, და ბოლოს, ამ საზის შეზეთვის სისტემის ცალკე ჯგუფია ე.წ. „ბალიშები“ – ქჩჩის, მაუდის, შალის მასალებისაგან, რომლებიც იკვებება



ნაზ. 8.5. საზეთურები: პატრუქიანი (ა), ნემსისებრი (ბ), წვეთოვანი (გ)

მანქანაში სპეციალურად მოწყობილი ნაკვეთურებიდან და რომლებიც მუდმივ კონტაქტშია მბრუნავ მოხასუნე ზედაპირთან (ნახ. 8.6). ამასთან, კონტაქტი უმეტესად ხორციელდება მასალათა საკუთარი დრეკადობის ხარჯზე.



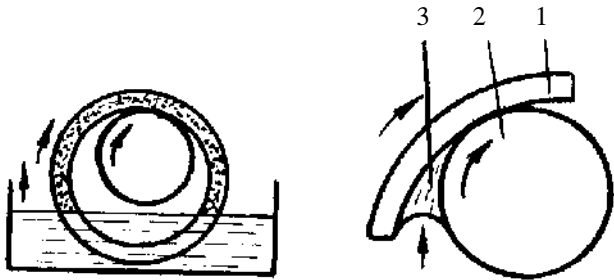
ნახ. 8.6. სპეციალური „ბალიშით“ აღჭურვილი სრიალის საკისარი

უწყვეტი ცირკულაციური უდაწნო შეხედევა. განასხვავებენ ამ მეთოდით შეხეთვის ორ სახეს. პირველი ხორციელდება შუალედური სხეულის მეშვეობით, მეორე — უშუალოდ მოხასუნე, დასაზეთი დეტალის მეშვეობით. შეხეთვის პირველი სახე შეიძლება განხორციელდეს მხოლოდ ჰორიზონტალური სრიალის საკისრებისათვის ლილვზე ნებისმიერი განივკვეთის რგოლის ჩამოცმით ან დამაგრებით (ნახ. 8.7). მცირე სიხშირით მბრუნავი ლილვების შემთხვევაში რგოლის მაგივრად იყენებენ მცირეზიან ჯაჭვებს. ყველა შემთხვევაში მბრუნავი რგოლის ქვედა ნაწილი ჩაძირულია ზეთში. ბრუნვის შედეგად თხევადი ზეთი განედინება ლილვზე და ბოლოს უბრუნდება ზეთის რეზერვუარს. ასეთი მეთოდით, როცა გამოყენებულია ლილვზე თავისუფლად ჩამოცმული

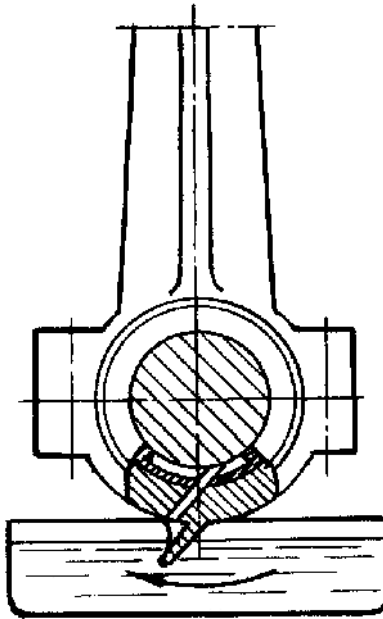
რგოლი, შესაძლებელია ლილვის ეფექტური შეზეთვა ლილვის წრიული სიჩქარის ფართო დიაპაზონისათვის 0,5...32 მ/წმ.

ასეთი მეთოდით შეზეთვის ერთი სახე, როგორც აღვნიშნეთ, ხორციელდება ლილვთან ერთად მბრუნავი დეტალის მეშვეობით და ის უძრავლეს შემთხვევაში გამოიყენება რელუქტორებში კბილანების და შიგაწვის ძრავებში მუხლა ლილვის კვანძის შესაზეთად (ნახ.8.8). კბილანური გადაცემის შეზეთვის პროცესის განსახორციელებლად კბილანური წყვილიდან ერთ-ერთი მათგანი, უფრო ხშირად კბილათვალი, ნაწილობრივ (მცირე ნაწილით) ჩაძირულია ზეთში. კბილანის ბრუნვის შედეგად ზეთი გადადის მეორე კბილანაზე და ზეთავს მას. იმავე დანიშნულებით ზოგჯერ იყენებენ უქმი სვლის, პარაზიტულ კბილანებსაც. ასეთი წესით შეზეთვის განხორციელება რეკომენდებულია კბილანების 15მ/წმ წრიულ სიჩქარემდე. უფრო მაღალი სიჩქარეების დროს მისი გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი დიდი ენერგეტიკული დანაკარგების გამო.

ზემოთ აღწერილ ყველა შემთხვევაში დასშულ ჰურჭელში (რელუქტორში, კარტერში) მოძრავი დეტალის მეშვეობით ხდება ზეთის ინტენსიური გაშხეფება და შიგა სივრცე ივსება ზეთის ღრუბლით. შედეგად უზრუნველყოფილია მთელი კვანძის ერთგვაროვანი შეზეთვა.

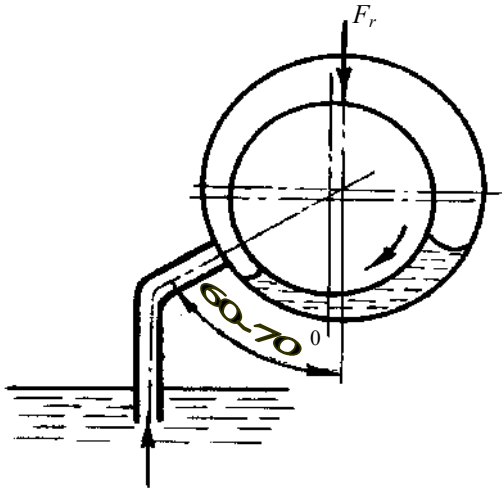


ნახ. 8.7. შემზეთი რგოლის მოქმედების სქემა [21]:
1 - რგოლი; 2 - ლილვი; 3 - ზეთი



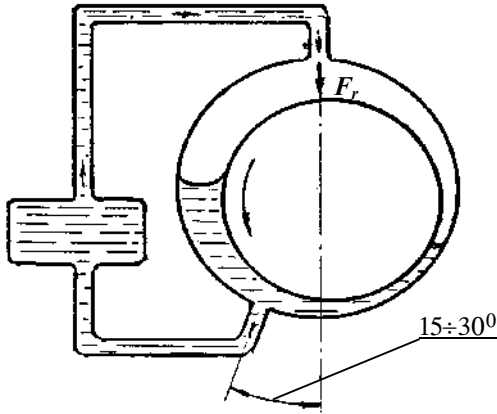
ნახ. 8.8. ცენტრალური შეზეთვა ზეთის გაშეფით
(მუხლა ლილვის ნიჩბის მეშვეობით)

თვითშეზეთვა. მოცემული კონსტრუქცია (ნახ. 8.9) გამოიყენება სრიალის საკისრების სატაცების შესაზეთად, როდესაც ღრეჩოს სიდიდე არ აღემატება 10 მკმ-ს, ხოლო წრიული სიჩქარე არანაკლებ 3 მ/წმ-ია. აღნიშნულ პირობებში შესაბამის ზონებში წარმოიქმნება გაუნშობა, რის შედეგადაც რეზერვუარიდან შეიწოვება ზეთი. პრინციპული გადაწყვეტა ასეთი მეთოდით საკისრების შეზეთვისას მოცემულია ნახაზზე. ამასთან, აღწერილი კონსტრუქციული გადაწყვეტა გამოსადეგია მხოლოდ განსაზღვრული სიბლანტის ზეთების გამოყენების დროს – დიდი სიბლანტის მქონე ზეთების შემთხვევაში იგი არ ფუნქციონირებს.



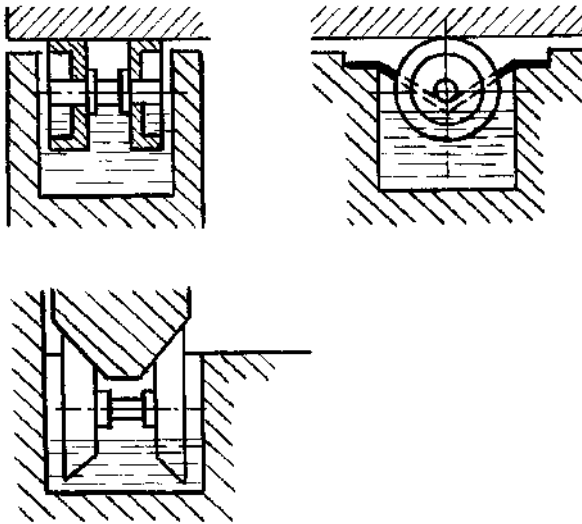
ნახ. 8.9. თვითშეზეთვის სქემა [37]

სტუ-ს სამშენებლო მანქანებისა და მექანიკური მოწყობილობის კათედრაზე შემუშავებულია ტრიბოლოგიური სისტემების ინდივიდუალური თვითშეზეთვის ახალი მეთოდი ჰიდროდინამიკური შეზეთვის პირობებში. უკანასკნელის არსი ასეთია: ჰიდროდინამიკური წნევების ზონაში (დაბალი წნევების ადგილებში) საკისარს უკეთდება ერთი ან რამდენიმე მცირე დიამეტრის ნახვრეტი, რომლებიც პრაქტიკულად არ მოქმედებენ ზეთის ფენის ზიდვის უნარზე. ამ გზით ზეთის განსაზღვრული რაოდენობა მიეწოდება შემზეთ სისტემას, რომელიც შეიცავს რეზერვუარს – გამაცივებელს – სალექს. შემდეგ სისტემაში არსებული წნევის ხარჯზე ზეთი ისევ უბრუნდება ხაზუნის კვანძს არასაკონტაქტო ზონაში (ნახ. 8.10). სისტემა მოითხოვს კონტროლს და საჭიროების შემთხვევაში შევსებას. აღწერილი კონსტრუქცია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ცენტრალური შეზეთვის პირობებშიც.



ნახ. 8.10. საკისრის თვითშეზღვევის სქემა ჰიდროდინამიკური შეზღვევის პირობებში

შეზღვევა საგორავით ხშირად გამოიყენება საფრეზავი და სარანდავი მაგიდების მიმმართველების დასაზეთად (ნახ.8.11). საგორავი ერთი მხრივ ჩადირულია ზეთში, ხოლო მეორე მხრივ კონტაქტშია მოხაზუნე ზელაპირთან, რის შედეგადაც საგორავს ზეთი გადააქვს ამ უკანასკნელზე.



ნახ. 8.11. სარანდავი ჩარხების მიმმართველების შეზღვევის სქემა საგორავების მეშვეობით [35]

უწყვეტი წნევით შეზღვევა. მოცემული მეთოდის შემთხვევაში ზეთი ხაზუნის ზონას მიეწოდება წნევით მცირე სიმძლავრისა და მწარმოებლურობის კბილანური, დგუშიანი ან ფრთიანი ტუმბოს მეშვეობით. ამასთან, შესაზეთი ზონების რაოდენობა შეზღუდულია – მცირეა. შესაზეთი ობიექტის ლოკალურობის გამო შეზეთვის სისტემას არ აკომპლექტებენ გამაცივებელი და გამწმენდი საშუალებებით.

8.2. ცენტრალური შეზეთვა

შეზეთვის ცენტრალური მეთოდისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ ზეთი ერთი ადგილიდან მიეწოდება ხაზუნის კვანძების მნიშვნელოვან რაოდენობას. შესაბამისად, ცენტრალიზებულია ზეთის გაწმენდის, გაცივების, კონტროლის, შეცვლის და სხვა პროცესები.

შეზეთვის ცენტრალური მეთოდის გამოყენების დროს ძირითადად მეორდება შეზეთვის ინდივიდუალური კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები. ცენტრალური მეთოდი გამოირჩევა და, ამასთან, განსხვავდება ინდივიდუალურისაგან მხოლოდ შესაზეთი ობიექტების სიმრავლით.

უდაწნეო შეზეთვის დროს, ისევე როგორც ინდივიდუალური უდაწნეო შეზეთვისას, ზეთის მიწოდება ხდება გრავიტაციული ძალების მეშვეობით და, ბუნებრივია, შეზეთვის სისტემის ყველა მოწყობილობა ხაზუნის კვანძის (შეზეთვის ზონის) ზემოთ უნდა მდებარეობდეს. ყველა ცენტრალიზებული შეზეთვის სისტემის აუცილებელი დეტალია ზეთის საერთო რეზერვუარი – ავზი, რომელიც დაკავშირებულია თითოეულ ტრიბოლოგიურ სისტემასთან. სისტემის ავზი ხელით ივსება.

თუ უდაწნეო ცენტრალიზებული შეზეთვა პერიოდულია, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს პნევმატური პრინციპი. პნევმატური საზეთურის ამძრავად იყენებენ პნევმოცილინდრს.

პერიოდული წნევით შეზეთვის დროს იყენებენ როგორც მანქანურ, ისე ხელის ტუმბოებს. ამასთან, მანქანური ტუმბოების ამძრავების ჩართვა პერიოდული ჩართვის საჭიროების შემთხვევაში ხდება ელექტრომაგნიტური და პროგრამული მართვის საშუალებებით. ჩვეულებრივად, ასეთი შეზეთვათა სისტემების აუცილებელი და საპასუხისმგებლო დეტალია ზეთის გამანაწილებლები.

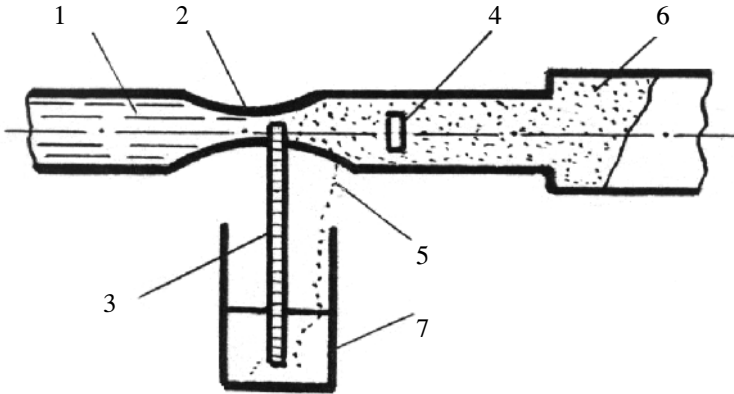
უწყვეტი წნევით შეზეთვა მანქანა-მოწყობილობის საპასუხისმგებლო კვანძების შეზეთვის ერთ-ერთი ყველაზე მასშტაბური, ფართოდ გამოყენებადი და სერიოზული მეთოდია. ასეთი მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იყოს შესაზეთი წერტილების ნებისმიერი რაოდენობისათვის. დიდი რაოდენობის შესაზეთი წერტილების შემთხვევაში იყენებენ შემზეთ წნეებს – ლუბრიკატორებს. იგი შედგება შემწოვი, დამწეხი, მანაწილებელი და საკომუნიკაციო დეტალებისაგან. ამ მოწყობილობის მეშვეობით შესაძლებელია ზეთის მიწოდება დიდ მანძილზე მაღალი წნევით ათეულ წერტილებში. ამძრავის როლი თვით ძირითად შესაზეთ მანქანას ეკისრება. ლუბრიკატორის მოძრაობა სათავეს იღებს ძირითადი მანქანის ლილვიდან სპეციალური გადაცემის მეშვეობით, რომელიც შეიძლება იყოს ღვედური, ჯაჭვური ან კბილანური (ლუბრიკატორი შეიძლება აღჭურვილი იყოს საკუთარი ამძრავითაც). ამასთან, ლუბრიკატორები ზოგჯერ ხელის ამძრავითაც არის აღჭურვილი. ამ უკანასკნელით სარგებლობენ ძირითადი მანქანის გაშვების პროცესში.

ცენტრალიზებული შეზეთვის დიდი სისტემებისათვის, როგორც წესი, იყენებენ სპეციალურ ბაკს, საიდანაც ზეთი მიეწოდება ტრიბოლოგიურ სისტემებს და შემკრებ ჭურჭელს, სადაც ჩამოედინება ნამუშევარი ზეთი. ამასთან, სისტემას აკომპლექტებენ ზეთის გამწმენდი ცენტრიფუგებით, მაცივრებით, საზომ-საკონტროლო ხელსაწყოებით (მანომეტრებით, ხარჯმზომებით, თერმომეტრებით და ა. შ.), მართვის საშუალებებით.

ცენტრალური შეზეთვა შეიძლება განხორციელდეს ზეთის ღრუბლის შემქმნელი სპეციალური მოწყობილობით. ტექნიკაში ღრუბლის შემქმნის კლასიკური მეთოდია გარკვეულ წნევას (0,2...0,6 მპა-მდე) მიღწეული ჰაერის ნაკადის გამოყენება. მოწყობილობა, რომელიც შეასრულებს ზემოხსენებულ ფუნქციას, ხშირად გამფრქვევად იწოდება და მისი უმარტივესი კონსტრუქცია მოცემულია 8.12 ნახ-ზე. მისი მოქმედების არსი მდგომარეობს შემდეგში: ჰაერის გარკვეული სიჩქარის მქონე ნაკადი მიღში წარმოშობს გაიშვიათებას. შედეგად ხდება ზეთის ამოწოვა ბაკიდან, რომელსაც ჰაერის ნაკადი თან წარიტაცებს. იგი დაეჯახება ამრეკლ ფარს. უკანასკნელიდან მსხვილი წვეთები უკან ბრუნდება ბაკში, ხოლო მცირე ნაწილაკები ჰაერთან ერთად გარს შემოუვლიან ფარს, ქმნიან ზეთის ღრუბელს და მილგაყვანილობით მიეწოდებიან შესაზეთ წერტილებს. ასეთი მეთოდით შემქმნილი ზეთის ნაწილაკების ზომებია რამდენიმე მიკრომეტრი, ხოლო მიწოდების სიჩქარე – 2 მ/წმ. მიზნის მიღწევის შემდეგ ჰაერის ატმოსფეროში გაშვებამდე ხდება ჰაერის გაწმენდა ზეთის დარჩენილი წვეთებისაგან.

ზეთის ღრუბლის მიღების ერთ-ერთი მეთოდია აგრეთვე მაღალი წნევის ქვეშ (≈ 10 მპა) მყოფი ზეთის მასის ატმოსფეროში გაფრქვევა ჰაერის ნაკადის გარეშე, რომელიც ასევე უზრუნველყოფს

ზეთის უმცირეს ნაწილაკებად დაშლას, დისპერსიას (ლათინური სიტყვიდან დისპერსიო – გაფანტული), ე. ი. ღრუბლის შექმნას.



ნახ. 8.12. შეზეთვა ზეთის ღრუბლით:

1 – შეკუმშული ჰაერი; 2 – საქშენი; 3 – ზეთის შემწოვი მილი; 4 – ამრეკლი ფარი; 5 – ზეთის წებები, რომლებიც ჩაედინება ამრეკლიდან ავზში; 6 – დისპერსირებული ზეთი (ზეთის ღრუბელი); 7 – ზეთის ავზი

8.3. სპეციფიკური მანქანა-მოწყობილობის შეზეთვის სისტემები

შიგაწვის ძრავების შეზეთვის სისტემები. შიგაწვის ძრავების შესაზეთად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შეზეთვის შემდეგი სისტემები: გაშხეფით შეზეთვა, ცირკულაციურ-იძულებითი, შეზეთვა ე. წ. ზეთის „მშრალი კარტერით“ და შეზეთვა სათბობთან ერთად ნარევით.

შეზეთვის გაშხეფის სისტემა ეფუძნება ზემოთ უკვე მოხსენებულს და აღარ გავიმეორებთ შეზეთვის აღწერის პროცესს. აღნიშნავთ მხოლოდ, რომ ასეთი სისტემა უზრუნველყოფს საკისრების, მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის, მცოცის, ცილინდრის შეზეთვას და ნამუშევარი ზეთის ისევ კარტერში დაბრუნებას.

ცირკულაციურ-იძულებითი სისტემის გამოყენების დროს ზეთი შეიწოვება მრუდმხარას სივრციდან და მიიყვანება ძრავას ყველა საჭირო წერტილში (ამასთან, ზეთის წნევა აიღება 0,4 მპა). შემდეგ ზეთი ჩამოედინება კარტერში, საიდანაც ისევ მიეწოდება სისტემას. ასეთი სისტემით შეზეთვის დროს ზეთი მიეწოდება მთავარ და მცოცის საკისრებს, დგუმის კვანძს, დგუმის ტაბიკს და განაწილების სისტემას.

შეზეთვის სისტემა „მშრალი კარტერით“ თავისი მოქმედების პრინციპით ფრიად ახლოს დგას ცირკულაციურ-იძულებითთან. განსხვავება მდგომარეობს მხოლოდ იმაში, რომ ზეთის მიწოდება შესაზეთ წერტილებზე არ ხდება უშუალოდ კარტერიდან, იგი ტუმბოთი მიეწოდება კვანძებს აგრეგატის გარეთ მოწყობილი სპეციალური ბაკიდან. თუმცა ნამუშევარი ზეთი აქაც კარტერში ჩაედინება და აქედან სხვა ტუმბოთი მიეწოდება სპეციალურ ბაკს.

შეზეთვა სათბობთან ერთად ითვალისწინებს კვანძის ისეთ კონსტრუქციულ გადაწყვეტას, როცა მანქანა-აგრეგატი არ აღიჭურვება შეზეთვის სპეციალური სისტემით. ასეთ შემთხვევაში ზეთს უმატებენ სათბობს, მაგ., ბენზინს, პროპორციით 1:25 ან 1:50 და იგი კარბიურატორის მეშვეობით შეჰყავთ ორტაქტიან ძრავაში. ასეთი შეზეთვის სისტემის საეთო პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: წვის არის გაფართოების დროს ბენზინი ნაწილობრივ ორთქლდება. შედეგად ცილინდრის კედლებზე და მასთან შეუღლებულ დეტალებზე ხდება ზეთის უმცირესი ნაწილაკების კონდენსირება და ამით ხახუნის ზონების შეზეთვა.

ჰაერის კომპრესორების შეზეთვა. ჰატარა ჰაერის კომპრესორები შეიზეთება წვეთოვანი საზეთურებით, უფრო ხშირად კი გაშხეფით, რომელიც, თავის მხრივ, წარმოშობს ზეთის ღრუბელს. დიდი კომპრესორების შესაზეთად თითქმის ყოველთვის გამოიყენება შეზეთვის

ცენტრალიზებული სისტემა მრავალდგუშიანი ლუბრიკატორებით. ამასთან, ცილინდრები შეიზეთება გაფრქვევით შემწოვი სარქველის გზით. სახუნის კვანძის „ცილინდრი-დგუშის“ შეზეთვის პირობების გასაუმჯობესებლად ზოგჯერ გამოიყენება დგუშის სპეციალური რგოლები, რომლებიც დამზადებულია თვითშემზეთი მასალის – ელექტროგრაფიტისაგან და უზრუნველყოფს სახუნის კვანძის ნორმალურ მუშაობას საკმაოდ მაღალი ტემპერატურის (250°C) პირობებში და გამორიცხავს ამ ტემპერატურაზე წარმოქმნილი ნარეგების თვითაფეთქების საშიშროებას.

სამაცივრო კომპრესორების შეზეთვა. სამაცივრო კომპრესორების შეზეთვის მეთოდები არ ხასიათდება რაიმე პრინციპული ორიგინალობით. გამოიყენება შეზეთვის როგორც ცენტრალიზებული, ისე ინდივიდუალური მეთოდები: ზეთის გაფრქვევა, თვითშემზეთი რგოლები. სპეციფიკურია მხოლოდ საპრობლემო საკითხები: ა) არსებობს ზეთის გამაცივებელ აგენტში გახსნის პოტენციური შესაძლებლობა; ბ) შემზეთი მასალა დაბალ ტემპერატურაზე იცვლის თავის ერთ-ერთ ძირითად მაჩვენებელს (სიბლანტეს).

სხვადასხვა დანიშნულების მანქანა-მოწყობილობის ტრიბოსისტემების შესაზეთად გამოყენებული მეთოდები არ გამოირჩევა პრინციპული სიახლეებით. ყველა სხვადასხვა მოქმედების პრინციპისა და დანიშნულების ჯგუფის მანქანებში ფართოდ გამოიყენება ინდივიდუალური და ცენტრალური შეზეთვის სქემები, რომლებიც ხორციელდება როგორც უწყვეტი, პერიოდული, ცირკულაციური, უდაწნეო, წნევით, თხევადი, კონსისტენციური და მყარი შეზეთვით.

ამასთან, ერთი მოცემული ჯგუფის მანქანა-მოწყობილობის ხაზუნის კვანძების შეზეთვის სისტემები შეიძლება ხასიათდებოდნენ რიგი თავისებურებებით.

მაგალითად: სამშენებლო, საგზაო და ამწე-სატრანაპორტო მანქანა-მოწყობილობების ტრიბოსისტემებისათვის დამახასიათებელია რომ:

- საზეთი მასალების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები პასუხობდნენ საჭირო მოთხოვნებს ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში – (40...120⁰C).

- შემზეთი სისტემა და საზეთი მასალები უზრუნველყოფდნენ ნორმალურ ფუნქციონირებას ინტენსიურ აბრაზიულ გარემოში მუშაობის დროს.

- შემზეთი სისტემის ნორმალური ფუნქციონირება უზრუნველყოფილი იყოს სავსე მუშაობის პირობებში.

IX თავი

სრიალის საკისრების გაანგარიშების მეთოდობა სასაზღვრო და მშრალი ხასუნის დროს

9.1. სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის კრიტერიუმები

სრიალის საკისრების მუშაობის უნარი მნიშვნელოვანწილად არის განპირობებული ხვედრითი წნევით p , სრიალის სიჩქარით V და ე. წ. ხასუნის პირობითი სიმძლავრით pV . მაგრამ, როგორც უკვე აღნიშნული იყო, სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის განსაზღვრა მოხსენიებულ პარამეტრების მიხედვით მხოლოდ ზოგადად აფასებს საკისრების მუშაობის რეჟიმს. ამ მეთოდით საკისრების გაანგარიშებას ზოგჯერ მიყვავართ მნიშვნელოვანი მასშტაბის შეცდომებთან. ამასთან, არ მოგვეპოვება საიმედო რეკომენდაციები p , V და pV სიდიდეებზე.

სრიალის საკისრების სადებები უმრავლეს შემთხვევაში ლილვის მასალასთან შედარებით დაბალი მექანიკური მახასიათებლებით ხასიათდებიან, ამიტომ საკისრის საიმედოობის უზრუნველყოფისათვის კონსტრუქცია გაანგარიშებული უნდა იქნეს კონტაქტურ სიმტკიცეზე. პრაქტიკამ დაადასტურა სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის ამგვარი შეფასების მართებულობა. სრიალის საკისრების სადებების მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი (განსაკუთრებით დაბალი სრიალის სიჩქარისა და პერიოდული მუშაობის პირობებში) ხშირად აღმოჩნდება ხოლმე სადებებში დაღლილობის შედეგად გაჩენილი ბზარები, მასალის მოთელვის კერები და შესაბამისი ბუნების მასალებისათვის ცივდენადობის მოვლენები.

სრიალის საკისრების სადებების სიმტკიცის შეფასების დროს ამოცანა დაიყვანება სიმტკიცის ძირითად განტოლებაზე:

$$\sigma_{Hmax} \leq \sigma_p, \quad (9.1)$$

სადაც σ_{Hmax} მაქსიმალური კონტაქტური დაბგაა შეუღლების მუშა ზონაში მოცემული დატვირთვის პირობებში; σ_p – სადების მასალისათვის დასაშვები კონტაქტური დაბგა დატვირთვის მოცემული პირობებისათვის.

სრიალის საკისრების სადებების სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს იგულისხმება, რომ სადებების მასალები, მათ შორის ანტიფრიქციული პოლიმერებიც, განსახილველ დატვირთვათა დიაპაზონში ემორჩილებიან დრეკადობის თეორიის კანონებს. კვლევით დადასტურებულია, რომ როდესაც ფარდობითი დეფორმაციები არ აღემატება 1,5-2,0%-ს (პრაქტიკაში ასეთი დაშვება მისაღებია), იგი არ იწვევს მნიშვნელოვანი სიდიდის შეცდომებს. მაგრამ პოლიმერული სადებების გამოყენების შემთხვევაში დრეკადობის მოდულის განსაზღვრის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს მისი ცვლილებები ტრიბოლოგიურ პროცესში დროისა და ტემპერატურის მიხედვით. საანგარიშო დრეკადობის მოდულზე მოქმედი მნიშვნელოვანი ფაქტორია აგრეთვე საკისრის კონსტრუქციული გადაწყვეტა. დასაშვები კონტაქტური დაბგების განსაზღვრის დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს კონსტრუქციული, ტექნოლოგიური და საქმპლუატაციო ხასიათის მრავალი ფაქტორი.

სრიალის საკისრების კონტაქტურ სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში: წინასწარ, კონსტრუქციული პარამეტრების (დრეჩო, საკისრის სიგრძე) ძალის მოქმედების დროისა და ტემპერატურის ფაქტორის გათვალისწინებით მუშა ზონაში განისაზღვრება მაქსიმალური კონტაქტური დაბგა. შემდეგ კონკრეტული პირობებისათვის

დგინდება დასაშვები კონტაქტური ძაბვა და ხდება საკისრის მუშაობის უნარის შეფასება.

იმ შემთხვევაში, როცა კვანძის ფუნქციონირება ლიმიტირებულია სატაცისა და საკისრის ღერძების ურთიერთგადაადგილების ფარდობითი ან აბსოლუტური დეფორმაციებით, კვანძის მუშაობის განმსაზღვრელია კონტაქტური ძაბვის ის მნიშვნელობა, რომელიც განაპირობებს დასაშვებ დეფორმაციას.

მრავალ შემთხვევაში სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის ძირითად მაჩვენებლად გვევლინება მისი თბური რეჟიმი. მუშაობის არახელსაყრელი ტემპერატურული რეჟიმი პრაქტიკაში შეიძლება გახდეს მიზეზი ისეთი არასასურველი მოვლენებისა, როგორცაა სადების პლასტიკური დეფორმირება, ინტენსიური ცვეთა, შეჭიდებისა და ჩაჭედვის ფაქტები, რაც დამახასიათებელია სრიალის საკისრებისათვის და რომელსაც ძალუმს კვანძის წყობილებიდან გამოყვანა მისი ხანმოკლე გადახურების დროსაც კი.

აღნიშნულის გამო საკისრის გაანგარიშება კონტაქტურ სიმტკიცეზე და ამით მისი ზიდვის უნარის განსაზღვრა სრულად ვერ ახასიათებს სრიალის საკისრის მუშაობის უნარს. ტემპერატურული რეჟიმის შეფასების გარეშე უზუსტთა თვით კონტაქტურ სიმტკიცეზე გაანგარიშებაც.

სრიალის საკისრის მუშაობის უნარის სრული შეფასებისათვის საჭიროა განისაზღვროს საკისრის ტემპერატურული დაძაბულობაც, რომელიც დამოკიდებულია საკისრის მუშა ზონაში მაქსიმალური მუშა ტემპერატურის მნიშვნელობაზე.

საკისრის მუშაობის უნარი უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$t_a \leq t_p, \quad (9.2)$$

სადაც t_h ტემპერატურაა მუშა ზონაში; t_p – სადების მასალისათვის ან ხახუნის კვანძისათვის დასაშვები ტემპერატურა, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს 80...85 °C-ს.

რიგ შემთხვევებში ტრიბოსისტემის მუშაობის უნარის მნიშვნელოვან მახასიათებლად მიიჩნევა მისი ცვეთამდეგობა. ეს მახასიათებელი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს მშრალი ხახუნის დროს, როცა კონსტრუქციული მოსაზრებებით დასაშვები ღრეჩოს სიდიდე მცირეა. მაგრამ ცვეთამდეგობის რაოდენობრივი შეფასება ტრიბოსისტემებში დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული ამოცანაში მრავალი პარამეტრის არსებობის გამო, ამიტომ უმრავლეს შემთხვევაში კმაყოფილდებიან ტრიბოსისტემის ცვეთამდეგობის ზოგადი შეფასებით.

ამრიგად, სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის ძირითად კრიტერიუმებად მიზანშეწონილია მიჩნეულ იქნეს:

– საკისრის ზიდვის უნარი, რომელიც ლიმიტირებულია დასაშვები კონტაქტური ძაბვებით;

– საკისრის ტემპერატურული დაძაბულობა, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს სადების მასალის ან ტრიბოლოგიური სისტემისათვის დასაშვებ მუშა ტემპერატურას.

9.2. საკისრების ზიდვის უნარი

სრიალის საკისრების ზიდვის უნარში იგულისხმება საკისრის მდეგობა, თავის თავზე მიიღოს რადიალური მიმართულების დატვირთვა ისე, რომ სადებმა მოცემული ღრეჩის პეროდში არ განიცადოს პლასტიკური დეფორმაცია, ან სატაცის საკისრის ღერძების ურთიერთგადაადგილების სიდიდემ, რომელიც გამოწვეულია ღრეჩადი

დღეგრძეობითა და ცვლილების ფაქტორით, არ გადააჭარბოს კონსტრუქციული მოსაზრებებით განსაზღვრულ ზღვარს.

კონტაქტურ სიმტკიცეზე საკისრის ზიდვის უნარის განსაზღვრა საჭიროა ვაწარმოოთ საკისრის კონსტრუქციული გადაწყვეტის შესაბამისი დამოკიდებულებებით. კერძოდ, როცა მოხაზუნე წყვილის – ლილვი-საკისრის მასალების დრეკადობის მოდულების მნიშვნელობები ერთი რივისაა (ზოგი ლითონურსადებებიანი საკისარი), გაანგარიშებები წარმოებს ერთი სახის გრაფო-ანალიზური დამოკიდებულებებით, ხოლო როცა ტრიბოლოგიურ სისტემაში გამოყენებულია დიდად განსხვავებული დრეკადობის მოდულის მქონე მასალები (მაგ., პლასტმასოვანი საკისრები) – მეორე სახის დამოკიდებულებებით.

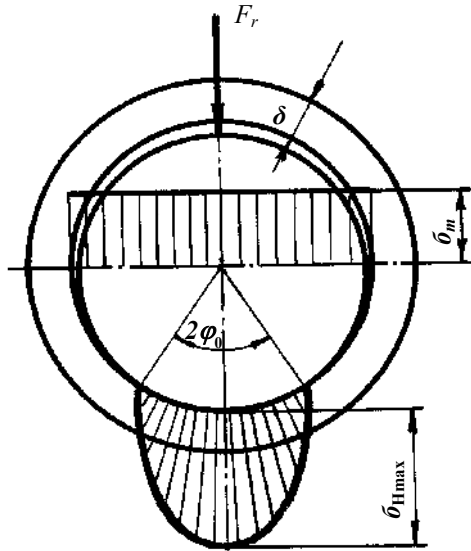
ორივე შემთხვევაში გაანგარიშებების შედეგად განისაზღვრება საკისრებისათვის ისეთი მნიშვნელოვანი პარამეტრები, როგორცაა საკონტაქტო კუთხე და მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა კვანძში.

საკისრის პირველი შემთხვევის შესაბამისი კონსტრუქციული გადაწყვეტისათვის კვანძში აღძრული კონტაქტური ძაბვა უმეტესად არ არის სრიალის მუშაობის მაღლიმიტირებელი პარამეტრი. თუმცა საერთო შეფასების დროს იგი მაინც იწვევს გარკვეულ ინტერესს. მაგალითად, ზოგჯერ ზიდვის უნარის გაანგარიშების პროცესში კონსტრუქციული თვალსაზრისით საჭირო ხდება საკონტაქტო კუთხის განსაზღვრა.

მეორე შემთხვევისათვის, როცა მოხაზუნე წყვილის დრეკადობის მოდულები ძლიერ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, მაგალითად, ისეთი საკისრებისათვის, სადაც გამოყენებულია ანტიფრიქციული პლასტმასოვანი სადებები, ზიდვის უნარის გაანგარიშება კონტაქტურ სიმტკიცეზე აუცილებელია.

9.3. სრიალის საკისრის ზიდვის უნარის განსაზღვრის განტოლებები*

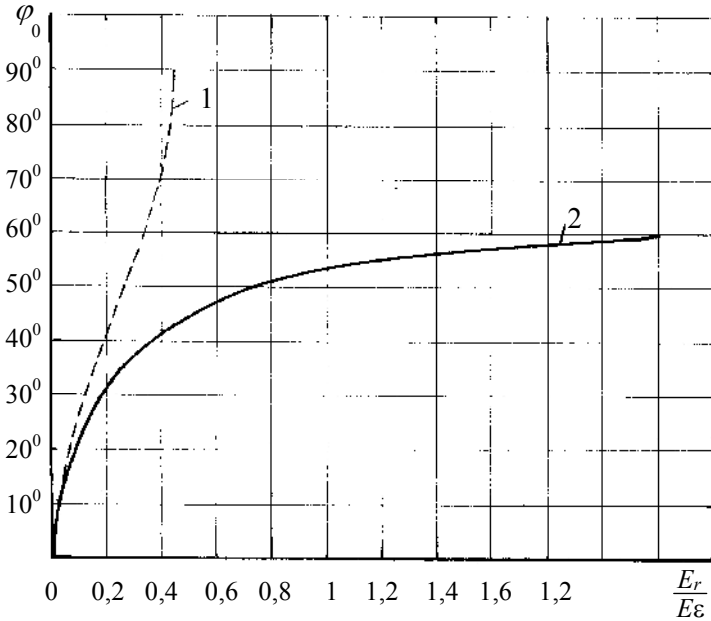
თვალსაზრისით გეომეტრიული ანალიზის საფუძველზე ცხადია, რომ საკისარზე მოქმედი დატვირთვა ვრცელდება არა საკისრის დიამეტრულ კვეთაზე, როგორც ეს იგულისხმება საშუალო ხვედრითი წნევის განსაზღვრის დროს, და რომელსაც უმეტესად იყენებენ კონსტრუქტორები სრიალის საკისრების გაანგარიშების დროს, არამედ მხოლოდ იმ ზედაპირზე, რომელიც შემოსაზღვრულია შეუღლების საკონტაქტო კუთხით – $2\varphi_0$ (ნახ.9.1). ამასთან, კონტაქტური ძაბვები საკონტაქტო ზონაში არ არის თანაბრად განაწილებული – მაქსიმალური σ_{Hmax} მნიშვნელოვანწილად აღემატება საშუალოს – σ_m .



ნახ. 9.1. სრიალის საკისრის საანგარიშო სქემა

* ქვემოთ მოყვანილი ზიდვის უნარის განსაზღვრის მეთოდთა პლასტმასოვანი საკისრებისათვის შემუშავებულია ავტორის მიერ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში [29], [34], [35], [36], [37].

მაქსიმალური კონტაქტური დაბევის განსაზღვრა ჰერცის თეორიით ლითონურ საკისრებშიც კი დიდ ცდომილებებს იძლევა საკონტაქტო ფართობის დიდი მნიშვნელობის გამო, რაც, თავის მხრივ, განპირობებულია სრიალის საკისრების შეუღლებული დეტალების რადიუსებს შორის მცირე სხვაობით (ნახ. 9.2)[30].



ნახ. 9.2. φ_0 კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \epsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება ერთნაირმოდულიანი შეუღლებული დეტალებისათვის (ლითონური საკისრებისათვის):

1 – მრული ჰერცის თეორიით; 2 – მრული ქვემოთ მოყვანილი თეორიით

ერთნაირი დრეკადობის მოდულის მქონე დეტალების შეუღლების შემთხვევაში (ლითონური საკისრები) კონტაქტური დაბევის განსაზღვრისათვის გამოიყენება დრეკადობის თეორიის შესაბამისი

კონტაქტური ამოცანების ამოხსნის შედეგები [30] (კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მეთოდოლოგია იხ. ქვემოთ).

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მიზნით განიხილება კონტაქტური ამოცანა იმ ორი სხეულის კუმშვის შესახებ, როცა ერთს აქვს წრიული ცილინდრის, ხოლო მეორეს – წრიული ცილინდრის ჭრილის ფორმა. ამასთან, ერთ-ერთი მეორის მიმართ აბსოლუტურად ხისტად არის მიჩნეული [29],[34]. აქ ხსენებულ ნაშრომებში დრეკადობის თეორიის კონტაქტური ამოცანა ეფუძნება შემდეგ დაშვებებს:

1. საკისრის ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალის სადები წარმოადგენს იდეალურ დრეკად სხეულს.

2. ხახუნის კვანძის შეუღლებაში „პოლიმერი-ფოლადი“, ფოლადის დეტალი მიჩნეულია აბსოლუტურად ხისტ სხეულად.

3. ხახუნის კვანძი განიხილება სტატიკურ მდგომარეობაში.

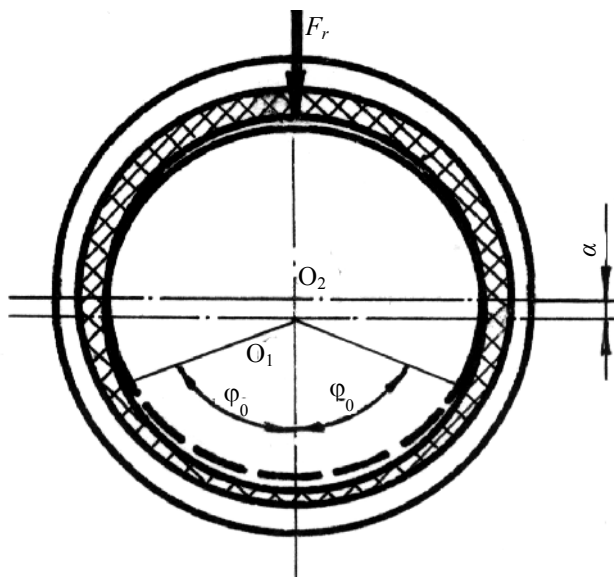
4. შეუღლებული დეტალების რადიუსები მცირედ განსხვავებული სიდიდეებია.

თითოეული დაშვების მიზანშეწონილობა და მართებულობა პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის ადვილად შეიძლება დასაბუთდეს.

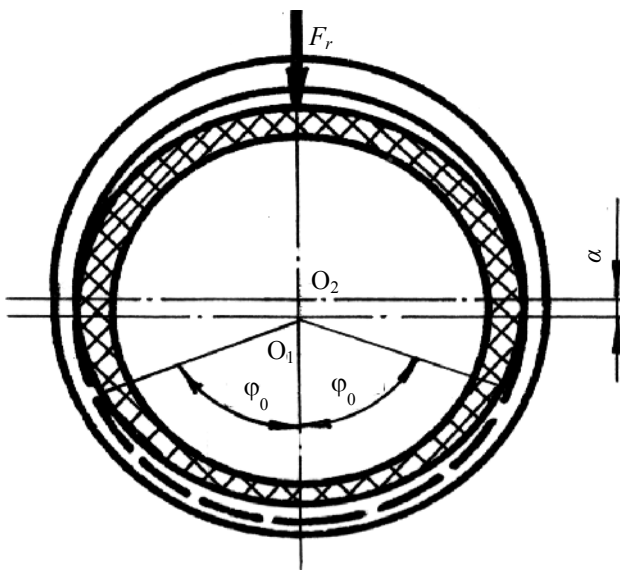
გარდა ამისა, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ პლასტმასოვანი სრიალის საკისრები საინჟინრო პრაქტიკაში რეალიზდება ორი გზით:

– „პირდაპირი წყვილის“ სახით, როცა პლასტმასების სადები ჩაწნეხილია საკისრის ლითონურ კორპუსში და შეუღლებულია ფოლადის ლილვთან (ნახ.9.3);

– „შექცეული წყვილის“ სახით, როცა პლასტმასის სადები დაწნეხილია ლილვზე და შეუღლებულია ლითონური კორპუსის ნახვრეტთან (ნახ.9.4).



ნახ. 9.3. სრიალის საკისარი „პირდაპირი წველის“ სახით



ნახ. 9.4. სრიალის საკისარი „შექცეული წველის“ სახით

შესაბამისად, საინჟინრო პრაქტიკაში გამოყენებული პლასტმასოვანი საკისრებისათვის მაქსიმალური კონტაქტური დაბევის განსაზღვრის მიზნით განხილული იქნა დრეკადობის თეორიის შემდეგი კონტაქტური ამოცანები:

1. ორი სხეულის კუმშვა, რომელთაგანაც ერთი, მაგ., ცილინდრული ფორმის სხეული, მიჩნეულია აბსოლუტურად ხისტად, ხოლო მეორე – ცილინდრის ჭრილის ფორმის მქონე სხეული – დრეკადად („პირდაპირი წყვილი“).

2. ორი სხეულის კუმშვა, რომელთაგან ერთი ცილინდრული ჭრილის ფორმის სხეული მიჩნეულია აბსოლუტურად ხისტად, ხოლო მეორე ცილინდრული ფორმის მქონე სხეული – დრეკადად („შექცეული წყვილი“).

იმ განტოლების გამოსაყვანად, რომელიც გამოსახავს ლილვისა და საკისრის კონტაქტის ზონაში დაბევის განაწილების კანონს, სარგებლობენ შეყურსული რადიალური წნევის მოქმედების შედეგად აღძრული რადიალური დაბევისა და მისი მოქმედების შედეგად გამოწვეული რადიალური დეფორმაციების დამოკიდებულებებით. კერძოდ, საკონტაქტო ზონაში მდებარე ნებისმიერი წერტილის გადაადგილება, რომელიც გამოწვეულია ცენტრისკენ მიმართულების (ცილინდრული ფორმის სხეულისათვის) ნორმალური ძალებით, გამოითვლება გამოსახულებით [24]

$$U_r = F_r \left[-2\vartheta \left(1 + \cos \varphi \ln \operatorname{tg} \frac{|\varphi|}{2} \right) + \chi \sin |\varphi| \right], \quad (9.3)$$

სადაც F_r არის რადიალური ძალა სიგრძის ერთეულზე,

$$\vartheta = \frac{1 - \mu^2}{\pi E}; \quad \chi = \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{2E};$$

E – მასალის დრეკადობის მოდული; μ – სხეულის პუასონის კოეფიციენტი; φ – მიმდინარე საკონტაქტო კუთხე სხეულების კუმშვის დროს; ϑ, χ – დრეკადობის მუდმივები.

ხოლო საკონტაქტო ზონაში მდებარე ნებისმიერი წერტილის გადაადგილება მიმართულებით „ცენტრიდან“ (ცილინდრული ჭრილის ფორმის სხეულისათვის) გამოითვლება [24] გამოსახულებით:

$$U_r = F_r \left(-2\vartheta \cos \varphi \ln \operatorname{tg} \frac{|\varphi|}{2} + \chi \sin |\varphi| \right). \quad (9.4)$$

აღნიშნული დამოკიდებულებების გამოყენებით გამოიყვანება კონტაქტური ძაბვების საკონტაქტო ზონაში განაწილების ორი ინტეგრალური განტოლება [29], [31]. ამასთან, განტოლების საბოლოო სახე „პირდაპირი წყვილისათვის“

$$\begin{aligned} & 2\vartheta \cdot r_1 \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') \cos(\varphi - \varphi') \ln \operatorname{tg} \frac{|\varphi - \varphi'|}{2} d\varphi' - \chi \cdot r_1 \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} P(\varphi') \sin |\varphi - \varphi'| d\varphi' = \\ & = (r_2 - r_1)(1 - \cos \varphi) - a \cos \varphi, \end{aligned} \quad (9.5)$$

სადაც; ხოლო „შექცეული წყვილისათვის“

$$\begin{aligned} & 2\vartheta r_2 \int_{-\varphi_0}^{\varphi} p(\varphi') \cos(\varphi - \varphi') \ln \operatorname{tg} \frac{|\varphi - \varphi'|}{2} d\varphi' - \chi r_2 \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} P(\varphi') \sin |\varphi - \varphi'| d\varphi' + \\ & + 2\vartheta \cdot r_2 \int_{-\varphi_0}^{\varphi} P(\varphi') d\varphi' = (r_2 - r_1)(1 - \cos \varphi) - a \cos \varphi, \end{aligned} \quad (9.6)$$

სადაც $-\varphi_0 < \varphi < \varphi_0$; r_1, r_2 შესაბამისად, ლილვისა და საკისრის რადიუსებია; $p(\varphi')$ – ნორმალური წნევა; φ – მიმდინარე საკონტაქტო კუთხე კუმშვის დროს; φ' – ინტეგრაციის მიმდინარე კუთხე; φ_0 –

საკონტაქტო კუთხის ნახევარი; a – სხეულების ურთიერთდაახლოების სიდიდე მათი კუმშვის დროს.

9.4. კონტაქტური ამოცანების ინტეგრალური განტოლების ამოხსნის მეთოდი

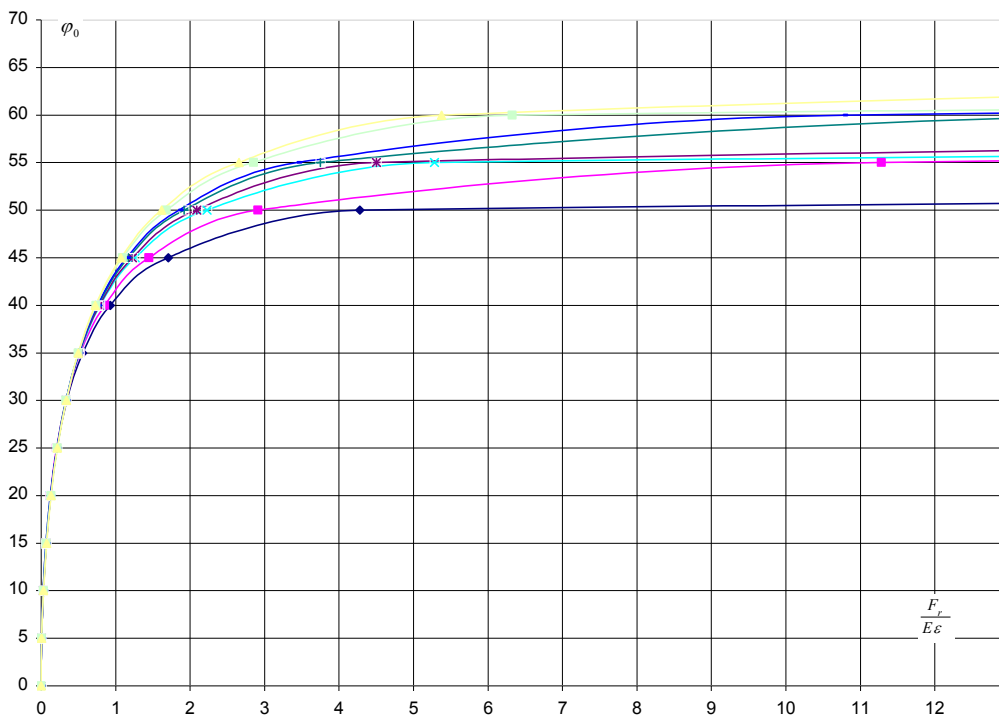
(9.5) და (9.6) ტიპის ინტეგრალური განტოლების ამოხსნა ანალიზური გზით განახორციელა ცნობილმა ქართველმა მათემატიკოსმა ი. ვეკუამ. მაგრამ იმის გამო, რომ ამოხსნის პროცესში საჭიროა ისეთი განსაზღვრული ინტეგრალების ამოხსნა, რომლებიც არ გამოისახებიან ელემენტარული ფუნქციებით, პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის უფრო მოხერხებული აღმოჩნდა ინტეგრალური განტოლებების ამოხსნის მიახლოებითი მეთოდები.

მოყვანილი (9.5), (9.6) განტოლებების ამოხსნისათვის, ი.შტაერმანის მსგავსად, ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა სასრულ სხვაობათა მეთოდი. ამ მეთოდის არსი ისაა, რომ საძებნი ფუნქცია წარმოდგინება არა როგორც უწყვეტი, არამედ წყვეტილი, საფეხურებრივი ცვლადი. ამისათვის საძებნი ფუნქციის ინტერვალი იყოფა n ნაწილად და იგულისხმება, რომ თითოეულ ქვეინტერვალში ფუნქცია ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას. საბოლოოდ ინტეგრალური განტოლების ამოხსნა დაყვანილია საძებნი ფუნქციის n მნიშვნელობის გაგებაზე, ე.ი. ფუნქციის იმ მნიშვნელობების გაგებაზე, როცა ისინი აკმაყოფილებენ ინტეგრალურ განტოლებას.

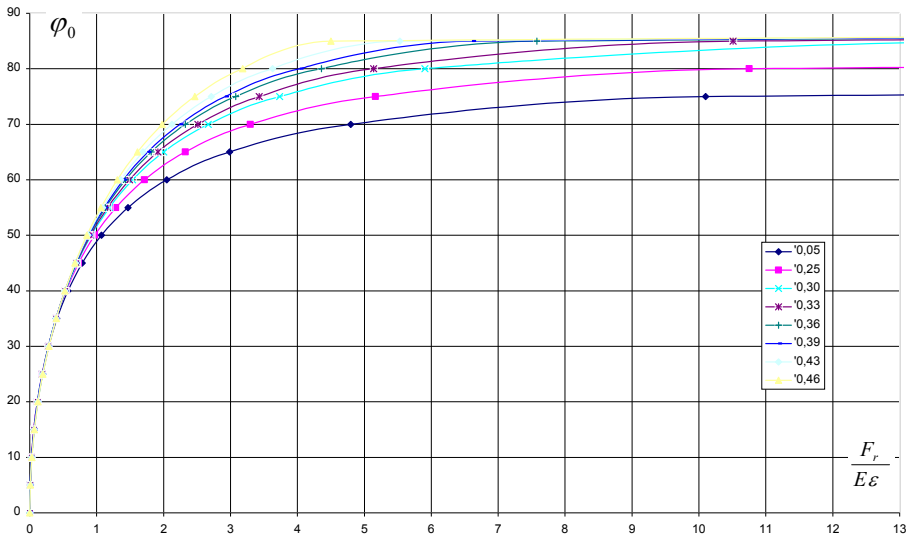
ამრიგად, მოყვანილი მეთოდის თანახმად ამოცანა დაიყვანება n უცნობიან n საზოგადოებრივ განტოლებათა სისტემის ამოხსნამდე. სისტემის ამოხსნით საძებნი ფუნქცია მიიღება საფეხურების სახით, როცა ფუნქციის ცვლილება ხდება ნახტომებით. ასეთი ფუნქციის გრაფიკის

აგებით და შემდგომ ნახტომების მომრგვალებით მიიღება მრუდი, რომელიც მიახლოებით გამოსახავს ზემოთ მოყვანილი ინტეგრალური განტოლების ამოხსნას.

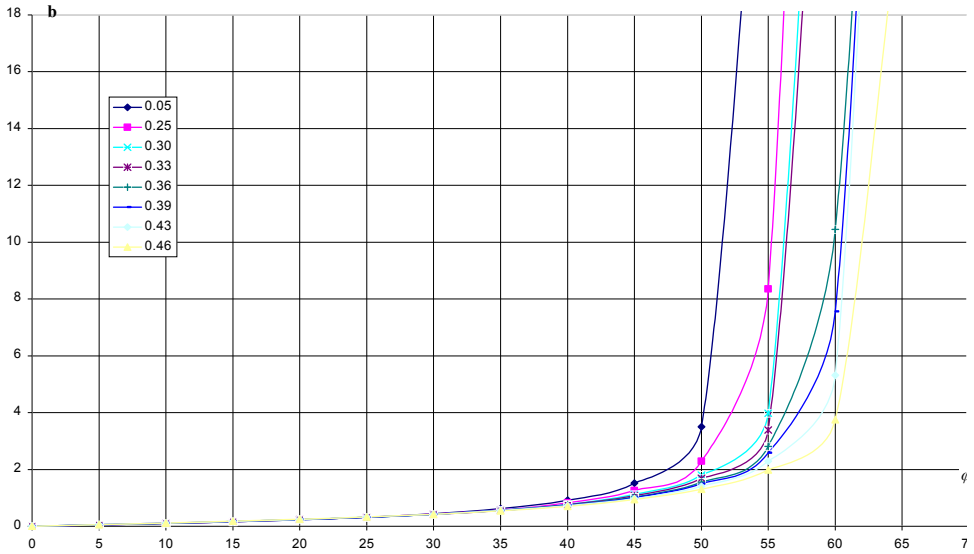
ნახაზებზე (9.5 – 9.8) მოყვანილია ამ გზით ამოხსნილი (9.5) და (9.6) ინტეგრალური განტოლებების ამოხსნის შედეგები. კერძოდ, 9.5 და 9.6 ნახაზებზე მოცემულია მრუდები, რომლებიც გამოსახავენ კომპლექსური პარამეტრის $-\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ დამოკიდებულებას საკონტაქტო კუთხესთან პუასონის კოეფიციენტების სახვდასხვა მნიშვნელობების და პლასტმასოვანი საკისრის ორი შესაძლო კონსტრუქციული ვარიანტიდან „პირდაპირი წყვილისათვის“. ხოლო 9.6 და 9.8 ნახაზებზე მოცემულია მრუდები, რომლებიც გამოსახავენ b უგანზომილებო კოეფიციენტისა და φ კუთხის ურთიერთდამოკიდებულებას „შექცეული წყვილისათვის“.



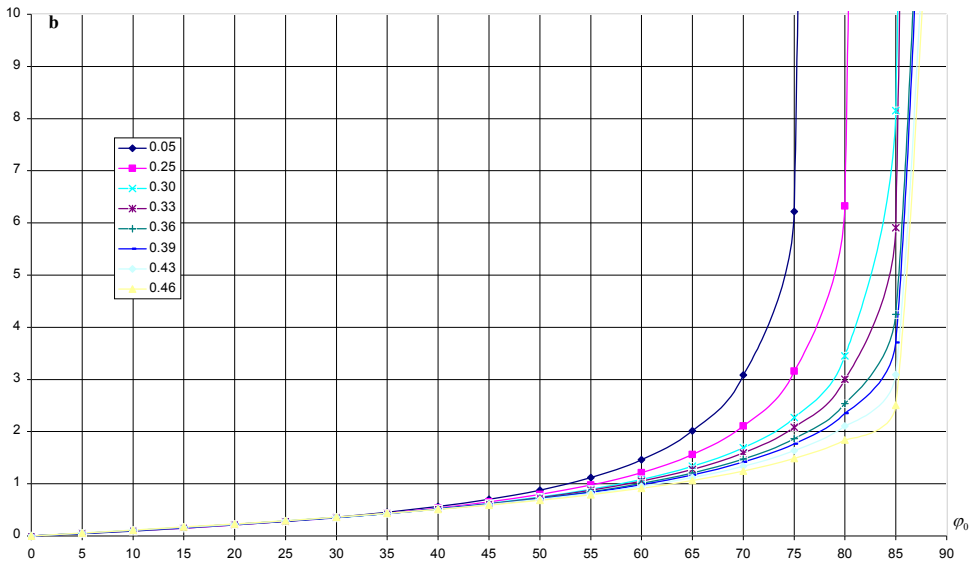
ნახ. 9.5. φ_0 – კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \epsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული დეტალების „პირდაპირი წყვილისათვის“ სხვადასხვა შუალედური კოეფიციენტებისათვის სხვადასხვა პუასონის



ნახ. 9.6. ϕ_0 – კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული დეტალების „შექცეული წველისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის



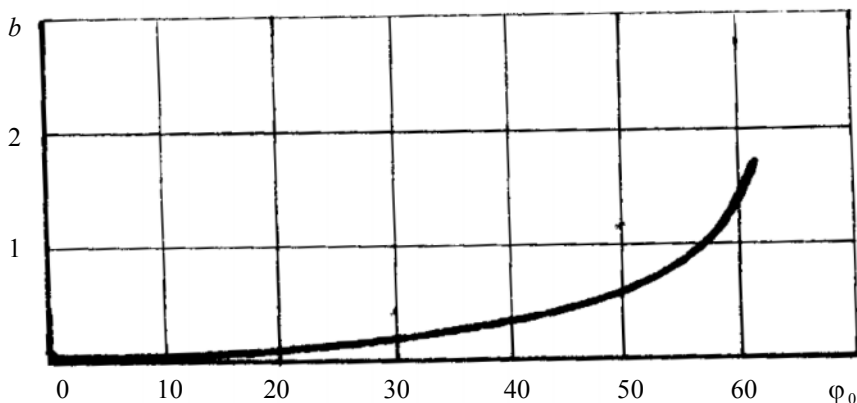
ნახ. 9.7. *b* – უგანზომილებო კოეფიციენტის და φ კუთხის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული „პირდაპირი წველისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის



ნახ. 9.8. *b* – უგანზომილებო კოეფიციენტის და $(\rho_0$ კუთხის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული „შექცეული წყვილისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის

მოცემული გრაფიკების მეშვეობით მარტივად, რაიმე ტექნიკური სიძნელის გარეშე განისაზღვრება მაქსიმალური კონტაქტური დაბჯანა შეუღლებულ საკისარს - ლილვი, სადაც გამოყენებულია პოლიმერული მასალის სადები ან სადები ისეთი მასალებისაგან, რომლის დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობა ბევრად მცირეა ფოლადის დრეკადობის მოდულთან შედარებით.

სრიალის საკისრებში, სადაც შეუღლებული ზედაპირები დამზადებულია დაახლოებით ერთნაირი მოდულის მქონე მასალებისაგან, საკონტაქტო კუთხისა და მაქსიმალური კონტაქტური დაბჯანის განსაზღვრა პლატმასოვანი საკისრის ანალოგიურად შესაძლებელია ვაწარმოოთ 9.2 და 9.9 ნახაზებზე გამოსახული გრაფიკების მეშვეობით.



ნახ. 9.9. b – უგანზომილებო კოეფიციენტის და ϕ_0 კუთხის ურთიერთდამოკიდებულება ერთნაირმოძულაინი შეუღლებული დეტალებისათვის

9.5. სრიალის საკისარში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მეთოდика

ზემოთ ნახსენები გრაფიკების მეშვეობით თითოეულ კონკრეტულ შემთხვევაში შესაძლებელია მარტივად და ოპერატიულად ვიპოვოთ მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა სრიალის საკისარში მისი ნებისმიერი კონსტრუქციული გადაწყვეტის დროს. ამისათვის კონკრეტული ამოცანის შემთხვევაში უნდა განისაზღვროს პარამეტრი $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$, სადაც F_r არის საკისრის რადიალური დატვირთვა სიგრძის ერთეულზე და განისაზღვრება საკისარზე მოსული რადიალური ძალის შეფარდებით საკისრის სიგრძესთან, ნ/მ; ε – რადიალური ღრეჩო საკისრის კვანძში; $E = r_2 - r_1; r_2$ – საკისრის რადიუსი, მ; r_1 – ლილვის რადიუსი, მ; E

– დრეკადობის საანგარიშო ნამდვილი მოდული, რომელიც პოლიმერული მასალის შემთხვევაში განისაზღვრება ტემპერატურის, დროის და კონსტრუქციული გადაწყვეტის ფაქტორების გათვალისწინებით. შესაბამისად, საანგარიშო ე. წ. „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის განსაზღვრისათვის ვსარგებლობთ გამოსახულებით:

$$E = E_0 \cdot K_{\theta} \cdot K_{\text{დრ}} \cdot K_{\text{კ}}, \quad (9.7)$$

სადაც E_0 არის პოლიმერული მასალის მყისიერი დრეკადობის მოდული ნორმალური ტემპერატურის (20°C) დროს და მოცემულია საცნობარო ლიტერატურაში, პა (ნ/მ^2), ან მპა ; K_{θ} – ტემპერატურული კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს პოლიმერული მასალის დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე და თერმოპლასტიკური მასალებისათვის

$$K_{\theta} = \frac{t_{\text{დნ}} - t_{\theta}}{t_{\text{დნ}} - 20}, \quad (9.8)$$

სადაც $t_{\text{დნ}}$ პოლიმერული მასალის დნობის ტემპერატურაა, $^{\circ}\text{C}$; t_{θ} – საკისრის საანგარიშო მუშა ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$.

$K_{\text{დრ}}$ – დროის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულებას დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე, ე. ი. ითვალისწინებს ცივი დენადობის მოვლენას და გამოითვლება ფორმულით

$$K_{\text{დრ}} = \left(\frac{t}{B}\right)^{-m}, \quad (9.9)$$

სადაც t – დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაა, სთ; B, m – მუდმივები და მოცემულია როგორც გრაფიკების, ისე ცხრილების სახით. თერმოპლასტიკური პოლიამიდებისათვის შესაბამისად იღება $4 \cdot 10^{-4}$, 0,047;

პოლიეთილენისათვის – 0,04, $1 \cdot 10^{-4}$; ფთოროპლასტ-4-ისათვის – 0,062, $3,3 \cdot 10^{-4}$; ვინილასტისათვის – 0,07, $2 \cdot 10^{-4}$.

K_3 „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი კოეფიციენტია. იგი ჩვეულებრივი, ტიპური კონსტრუქციის პოლიმერული სადებიანი სრიალის საკისრებისათვის განისაზღვრება თეორიული დებულებიდან ერთ-ერთით (ნახ.9.10). ამასთან, უპირატესობა მინიჭებული აქვს მოცულობითი პრინციპის საფუძველზე მიღებულ გამოსახულებას*:

$$K_3 = \frac{1}{1 - 2\mu}, \quad (9.10)$$

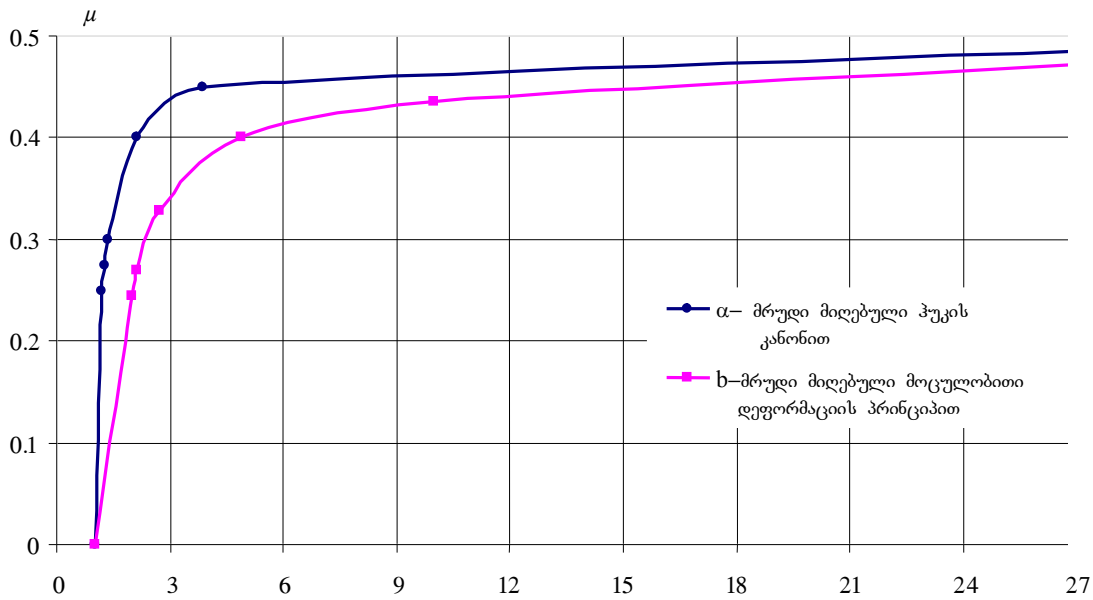
სადაც μ სადების პუასონის კოეფიციენტია.

ძალიან მოკლე ($\frac{l}{d} < 0.2 \dots 0,3$) და სქელკედლიანი სადების მქონე საკისრებისათვის ($\frac{\delta}{d} < 0,4 \dots 0,5$) E_3 სადების განსასაზღვრად რეკომენდებულია გამოსახულება*

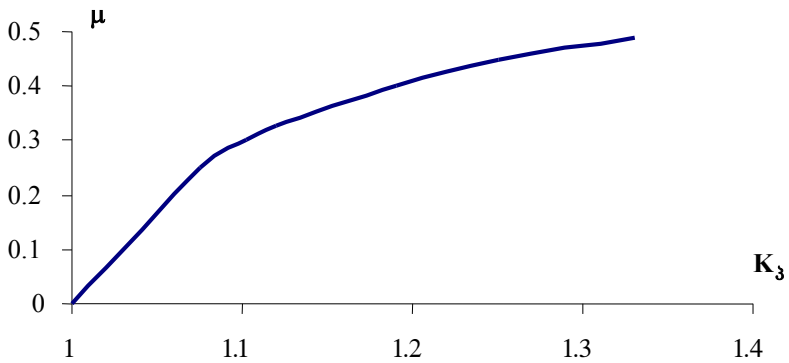
$$K_3 = \frac{1}{1 - \mu^2}. \quad (9.11)$$

K_3 -ს განსაზღვრა შესაძლებელია აგრეთვე ქვემოთ მოყვანილ ნახაზებზე ნაჩვენები შესაბამისი გრაფიკების მეშვეობით (ნახ. 9.10, 9.11).

*დადგენილია ავტორის მიერ სპეციალური კვლევის საფუძველზე სტუ-ს სამშენებლო მანქანებისა და მექანიკური მოწყობილობის კათედრაზე ასოც. პროფ. ზ. ქაშიაშვილთან ერთად [36].



ნახ. 9.10 „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი K_3 კოეფიციენტის დამოკიდებულება პუასონის μ კოეფიციენტზე (დეფორმაცია შეზღუდულია ორ სიბრტყეში)



ნახ. 9.11 „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი K_3 - კოეფიციენტის დამოკიდებულება პუასონის μ კოეფიციენტზე; (დეფორმაცია შეზღუდულია ერთ სიბრტყეში)

$\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ პარამეტრის მიხედვით განისაზღვრება φ_0 საკონტაქტო კუთხის ნახევარი (ნახ. 9.2, 9.5, 9.6), ხოლო φ_0 კუთხე სიდიდის მიხედვით – მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვის უგანზომილებო b კოეფიციენტი (ნახ. 9.7, 9.8, 9.9).

დაბოლოს, მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა (მპა) შეუღლებაში განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\sigma_{H \max} = b \frac{E \cdot \varepsilon}{r} . \quad (9.12)$$

თეორიული, კერძოდ, ზემოხსენებული გრაფიკულ-ანალიზური მასალის და მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული გამოკვლევის საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ „შექცეული წყვილების“ გამოყენების დროს სხვადასხვა რადიალურ დატვირთვებზე საკონტაქტო კუთხე 20...30%-ით მეტია „პირდაპირი წყვილის“ გამოყენებასთან შედარებით, რაც ცალკეულ შემთხვევაში იწვევს კონტაქტური ძაბვის 20%-მდე

შემცირებას და შესაბამისად, ხაზუნის კვანძების ხანგამძლეობისა და ცვეთამდეღობის მნიშვნელოვნად გაზრდას.

მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების გასაზღვრის ანალიზი აღნიშნული მეთოდის საფუძველზე თვალსაჩინოდ ადასტურებს სრიალის საკისრებში „შექცეული წყვილის“ გამოყენების უპირატესობებს.

9.6. დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდისა (პლასტმასოვანი სადებებისათვის)

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, სრიალის საკისრების გაანგარიშება დასაშვებ კონტაქტურ ძაბვებზე ლითონური სადებების გამოყენების დროს ნაკლებად აქტუალური საკითხია და უმრავლეს შემთხვევაში იგი არ არის საკისრის მუშაობის უნარის მალიმიტირებელი. ამასთან, დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდისა ლითონებისათვის შედარებით კარგად არის დამუშავებული და წარმოდგენილი ტექნიკურ ლიტერატურაში. შესაბამისად, მათი შერჩევა არ არის დაკავშირებული რაიმე სირთულესთან. აღნიშნული მიზეზების გამო დასაშვები ძაბვების შერჩევა ლითონური სადებებისათვის მოცემულ ნაშრომში არ განიხილება.

განსხვავებულ ყურადღებას ითხოვს პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების გაანგარიშების დროს დასაშვები ძაბვების შერჩევის საკითხი.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების საპროექტო გაანგარიშების დროს დასაშვები ძაბვების შერჩევის შედარებითი სირთულე განპირობებულია პლასტმასების, როგორც კონსტრუქციული მასალების სპეციფიკურობით, მათი დაძაბულ მდგომარეობაში მოქცევის ხასიათით, ზიდვის უნარის ტემპერატურაზე აშკარად გამოსატყულებელი დამოკიდებულებით, დატვირთვის შედეგად ძალოვანი დეტალების

ფორმისა და ზომების ცვლილებებით, დატვირთვის მოქმედების დროის მნიშვნელოვანი გავლენით საკისრის მუშაობის უნარზე და ა.შ.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის დამახასიათებელია ის, რომ პლასტმასის სადების გეომეტრიული ფორმის შეცვლამ დატვირთვის შედეგად შეიძლება მიგვიყვანოს ისეთ ცვლილებებთან, რომლებიც გადაჭარბებენ დეტალის ზღვრულ დასაშვებ მდგომარეობას, რომელიც, თავის მხრივ, განსაზღვრულია კვანძის ფუნქციურ-კონსტრუქციული მოთხოვნებით.

ამის გამო პლასტმასის სადებები (ხშირად სხვა დატვირთული პლასტმასის დეტალებიც) მიზანშეწონილია გაანგარიშებულ იქნეს კონსტრუქციულ-გეომეტრიულ განსაზღვრულობაზე, რომელიც განაპირობებს მის ეფექტურ ფუნქციონირებას.

სხვა სიტყვებით, სრიალის საკისრების პლასტმასის სადებების გაანგარიშება კონტაქტურ დაბეჭეზე მიზანშეწონილია გულისხმობდეს არა ცალკე აღებული მაქსიმალური მრღვევი კონტაქტური დაბვის განსაზღვრას, არამედ იმ კონტაქტური დაბვის განსაზღვრას, რომელიც იწვევს მაქსიმალურ დასაშვებ დეფორმაციას.

მაგალითად, თანამედროვე მექანიკური სისტემების სრიალის საკისრების ნორმალური ფუნქციონირება მნიშვნელოვანწილად არის დამოკიდებული ლილვისა და საკისრის ღერძების ურთიერთგადანაცვლებასა და საკისრის სადების გეომეტრიულ უცვლელობაზე ექსპლუატაციის პროცესში.

ამგვარად, დასაშვები დაბეჭების შერჩევის მეთოდისა პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის ეფუძნება იმ გარემოებას, რომ დგინდება პლასტმასის სადების ის გეომეტრიული მდგომარეობა, რომელიც მიიჩნევა ზღვრულად. შემდგომ განისაზღვრება დაბეჭა, რომელიც

შეესაბამება ამ მდგომარეობას და იგი იწოდება საწყის დასაშვებ ძაბვად. დაბოლოს, საწყისი დასაშვები ძაბვა დაზუსტებული უნდა იქნეს მაკორექტირებელი კოეფიციენტებით, რომლებიც ითვალისწინებენ კონსტრუქციულ, ტექნოლოგიურ, საექსპლუატაციო და სხვა ფაქტორების გავლენას პოლიმერული მასალების მექანიკურ მახასიათებლებზე.

პლასტმასის სადების ზღვრული მდგომარეობა განისაზღვრება კონსტრუქტორის მიერ საერთო კონსტრუქციული მოსაზრებების საფუძველზე დეფორმაციათა ზღვრების მონივნით, რომელიც ამასთანავე ძირითადად უნდა შეესაბამებოდეს დეტალის დრეკად დეფორმაციათა დიაპაზონს.

მაგალითად, კბილანური გადაცემების შემთხვევაში სრიალის საკისრის დრეჩოსა და შეუღლებული დეტალების ჯამური დეფორმაცია უნდა თავსდებოდეს იმ დაშვებათა ველში, რომელიც უზრუნველყოფს ნორმალურ კბილანურ მოდებს ექსპლუატაციის პროცესში.

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები ადასტურებენ, რომ ანტიფრიქციული თერმოპლასტების სიმტკიცის ზღვარს შეესაბამება დეტალის ზომების 6...8%-ით დეფორმირება. მეორეს მხრივ, ცნობილია, რომ იმავე მასალებისაგან დამზადებული სრიალის საკისრების სადებები დამაკმაყოფილებლად ფუნქციონირებენ იმ შემთხვევაში, როცა დატვირთვის შედეგად ფარდობითი დეფორმაცია არ აღემატება 2%-ს (რაც შეესაბამება ნარჩენი დეფორმაციის არა უმეტეს 0,3%-ს), მხოლოდ იშვიათ შემთხვევაში შეიძლება ფარდობითი დეფორმაცია გაიზარდოს 3%-მდე.

აღნიშნული შუალედი მექანიკური სისტემების პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის მიიჩნევა ე. წ. ზღვრულ მდგომარეობად, ხოლო მეორეს მხრივ, საკმაო სიზუსტის დაშვებით განიხილება, როგორც სუფთა დრეკადი დეფორმაციების დიაპაზონი.

უკანასკნელი დაშვების საფუძველზე დეფორმაციისა და ძაბვის დამოკიდებულების ინტეგრალური განტოლება ბლანტ-დრეკადი მასალებისათვის (ვოლტერის I გვარის განტოლება) გადაიქცევა ჩვეულებრივ ჰუკის კანონად, რომელიც სამართლიანია მხოლოდ იდეალურად დრეკადი სხეულებისათვის.

ზემოაღნიშნულის საფუძველზე პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის დასაშვები ფარდობითი დეფორმაციის ε_p საშუალებით ჰუკის კანონის საფუძველზე შესაძლებელია ვიპოვოთ საწყისი დასაშვები ძაბვა

$$\sigma_{p0} = E \cdot \varepsilon_p, \quad (9.13)$$

სადაც E არის ნამდვილი დრეკადობის მოდული (9.7), მპა; σ_{p0} – საწყისი დასაშვები ძაბვა დრეკადი მასალებისათვის, მპა; ε_p – დასაშვები ფარდობითი დეფორმაცია.

ზოგ შემთხვევაში σ_{p0} -ის განსაზღვრისათვის მოსახერხებელია ვისარგებლოთ თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე მიღებული ციფრობრივი მონაცემებით. ქვემოთ მოყვანილია საორიენტაციო მონაცემები პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გამოყენებული ზოგიერთი მასალისათვის:

$\sigma_{p0} = 24$ მპა – პოლიამიდ 6-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 2%-ის ტოლია;

$\sigma_{p0} = 36$ მპა – პოლიამიდ 6-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 3%-ის ტოლია;

$\sigma_{p0} = 40$ მპა – პოლიამიდ 66-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 2%-ის ტოლია;

$\sigma_{p0} = 60$ მპა – პოლიამიდ 66-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 3%-ის ტოლია;

$\sigma_{p0} = 56$ მპა – პოლიაცეტალებისათვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 2%-ის ტოლია;

$\sigma_{p0} = 80$ მპა – პოლიაცეტალებისათვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 3%-ის ტოლია.

პოლიმერული მასალების მექანიკური მაჩვენებლების საბოლოო შეფასებისათვის, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, აუცილებელია კონსტრუქტორული, ტექნოლოგიური, საექსპლუატაციო და სხვა ფაქტორების გათვალისწინება. შესაბამისად, დასაშვები კონტაქტური ძაბვა პლასტმასის სადებებისათვის იქნება:

$$\sigma_p = \sigma_{p0} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (9.14)$$

სადაც K_1 ტექნოლოგიური კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სადების დამზადების ტექნოლოგიურ მეთოდს და აიღება ზღვრებში:

0,95...1,0 – დეტალებისათვის, რომლებიც დამზადებულია ავტომატურ-საჩამოსხმო მანქანების გამოყენებით;

0,80...0,9 – დეტალებისათვის, რომლებიც დამზადებულია შპრიც-წნეხების გამოყენებით;

0,70...0,80 – დეტალებისათვის, რომლებიც დამზადებულია ავტოკლავების გამოყენებით.

K_2 არის ტენშემცველობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ანტიფრაქციული პოლიმერული მასალების მექანიკური მაჩვენებლების შემცირებას ტენის შემცველობის გამო და იღება ზღვრებში:

0,95...0,98 – პოლიამიდ 6-ის სადებებისათვის;

0,98...1,0 – პოლიამიდ 66-ის სადებებისათვის;

1,0 – პოლიაცეტალის სადებებისათვის.

K_3 არის კონცენტრაციის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჩამოსხმულ დეტალში კონცენტრაციის კერებს და იღება ზღვრებში:

0,45...0,8 – რთული კონფიგურაციის სადებებისათვის (იგულისხმება დეტალში არაერთნაირი განივკვეთები, არხები, ჭრილები, ნახვრეტები და სხვ.);

0,85...0,95 – მილისას ფორმის მარტივი ფორმის სადებებისათვის.

K_4 არის დაღლილობითი სიმტკიცის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ცვლადი (ციკლური) დატვირთვების მრავალჯერად მოქმედებას და იღება ზღვრებში – 0,5...0,7. არაციკლიური დატვირთვების შემთხვევაში – 0,9...1,0.

K_5 არის ჭექის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჭექის გავლენას სადების დაძაბულ მდგომარეობაზე და იღება ზღვრებში 0,6...1,0.

K_6 არის გაანგარიშების სიზუსტისა და მარაგის კოეფიციენტი და იღება ზღვრებში 0,5...1,0.

ზიდვის უნარის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე და დატვირთვის ხანგრძლივობაზე არ გაითვალისწინება მაკორექტირებელი კოეფიციენტებით. აღნიშნული ფაქტორები გათვალისწინებულია დრეკადობის მოდულის ნამდვილი მნიშვნელობის განსაზღვრის დროს, რომელიც, თავის მხრივ, განაპირობებს საწყისი დასაშვები ძაბვის სიდიდეს.

ცხრილი 9.1

ზოგიერთი ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალის ცალკეული მექანიკური მახასიათებლები

№	მასალის დასახელება	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა	დრეკადობის მოდული, E ₀ , მპა	პუასონის კოეფიციენტი	ღნობის ტემპერატურა	ზაზობრევი გაფართოების ტემპ. კოეფ., 10 ⁻⁵ ერთ კელვინზე	თბოგამტარობის კოეფ. ვტ/მ.კელვინი
1	პოლიამიდ 6	90	1100	0,4	215	8...11	0,29
2	პოლიამიდ 66	90	1200	0,4	219...220	8...11	0,29
3	ფთოროპლასტ 4	12	470...850	0,45	327	8...25	0,25
4	პოლიაცეტალი (პოლიფორმალდეჰიდი)	130	3600	0,35...0,4	170...180	8	0,29

ცხრილი 9.2

ზოგიერთი ანტიფრიქციული მასალის ფოლადთან ხახუნის საორიენტაციო კოეფიციენტები

№	მასალის დასახელება	შეზეთვის გარეშე	კონსისტენციური შეზეთვა	შეზლუდული შეზეთვა (წვეთოვანი)	წყლით შეზეთვა
1	პოლიამიდ 6	0,06–0,2	0,03–0,13	0,03–0,05	0,04–0,1
2	პოლიამიდ 66	0,06–0,2	0,03–0,13	0,03–0,05	0,04–0,1
3	ფთოროპლასტ 4	0,04–0,06	0,04–0,09	0,02	0,02
4	პოლიაცეტალი (პოლიფორმალდეჰიდი)	0,09–0,12	0,03–0,1	0,01–0,04	0,09

- შენიშვნა:
1. კოეფიციენტების შეფასება შესრულებულია სხვადასხვა ლიტერატურული და ექსპერიმენტული მონაცემებისა და ავტორის ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე.
 2. მონაცემები საჭიროებს შემდგომ დიფერენციაციას და დაზუსტებებს.

9.7. ტრიბოსისტემების თბური გაანგარიშების საფუძვლები

სითბოს ინტენსიური გამოყოფა ტრიბოლოგიური პროცესისათვის ერთ-ერთი მთავარი დამახასიათებელი და უეჭველი თანმხლები მოვლენაა. ამასთან, წარმოქმნილი სითბოს წყაროდ მიჩნეულია მოხახუნე ზედაპირების მიკრობორცვების მოჭრისა და პლასტიკური დეფორმაციების (მოთელვის) მოვლენები, რაც, თავის მხრივ, იწვევს დეტალის მასალის კრისტალური მესრის შეცვლას და რომელიც ლოკალურად ტემპერატურის მომატებაში ვლინდება. რიგი ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე მიჩნეულია, რომ მოხახუნე ზედაპირების ფაქტიური საკონტაქტო წერტილებში ჩნდება ტემპერატურული პიკები, რომელთა აბსოლუტური მნიშვნელობა $900-1000^{\circ}\text{C}$ -ს აღწევს.

ტრიბოლოგიური პროცესის დროს წარმოქმნილი სითბოს ნაკადი მომართება სხეულის სიღრმეში და გადაეცემა გარემოს. ამასთან, გამოყოფილი სითბო განშტოვდება რამდენიმე ნაკადად – თვით მოხახუნე სხეულებში, ჰაერში და შემზეთ მასალაში.

ზოგადად მოხახუნე სხეულების საშუალო ტემპერატურას განსაზღვრავს მათი თბოფიზიკური თვისებები, ზედაპირების პროფილის პარამეტრები (ისინი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს თბოგაცვლის პროცესში), ტრიბოსისტემის მუშაობის რეჟიმი და სხეულების გარემოსთან თბოგაცვლის საერთო პირობები. მოხახუნე სხეულის საშუალო ტემპერატურა კი დიდად მოქმედებს ხახუნის კოეფიციენტზე, ცვეთის ხასიათსა და, შესაბამისად, ტრიბოლოგიური სისტემის ხანგამძლეობაზე. ამ ფაქტორის მიმართ განსაკუთრებით მგრძობიარეა ტრიბოსისტემები, სადაც გამოყენებულია პლასტმასოვანი საღებები. აღნიშნულის გამო

ტრიბოსისტემის მუშაობის უნარის ძირითად კრიტერიუმად ხშირად მიიჩნევენ მის თბურ რეჟიმს.

ტრიბოსისტემების ტემპერატურულ გაანგარიშებას საფუძვლად ედება ენერგიის შენარჩუნების კანონი, რომლის არსი განხილული პირობებისათვის ასეთია: ხახუნის შედეგად გამოყოფილი სითბო ხმარდება მანქანის შესაბამისი დეტალებისა და გარემო სფეროს გათბობას.

თბურ პროცესებში, რაც მიმდინარეობს ტრიბოსისტემებში, არჩევენ ორ ძირითად სტადიას:

1. არადამყარებულ რეჟიმს, რომელიც ხასიათდება ტრიბოსისტემის ტემპერატურის ცვლილებით დროში. ასეთი რეჟიმია კვანძის გაშვებისა და გაჩერების ან მანქანის ხანმოკლე მუშაობის დროს.

2. დამყარებული რეჟიმი, რომელიც ხასიათდება ტემპერატურის მუდმივობით დროში.

ტემპერატურული რეჟიმის რეგულირება კონსტრუქციულად შესაძლებელია ტრიბოსისტემებში საშუალო წნევისა და ლილვის ბრუნთა სიხშირის შეცვლით, გარდა ამისა, ტრიბოსისტემების თბური პირობების ცვლილებით.

განვიხილოთ ზოგადად ტრიბოსისტემების თბური პროცესები სრიალის საკისრის მაგალითზე.

არადამყარებული რეჟიმის დროს სითბოს ნაწილი იხარჯება მანქანის დეტალების (საკისარი, ლილვი, კორპუსი) გახურებაზე, ნაწილი კი იმავე დეტალების მეშვეობით გადაეცემა გარემოს.

საინჟინრო პრაქტიკაში ტემპერატურული გაანგარიშების ამოცანას წარმოადგენს გახურების ტემპერატურის განსაზღვრა საკისრის მუშა ზონაში.

დამყარებული რეჟიმის დროს საკისრის კვანძის თბური წონასწორობის პირობას აქვს შემდეგი სახე [1]:

$$\Phi = \Phi_s + \Phi_{\text{ლ}}, \quad (9.15)$$

სადაც Φ საკისარში დროის ერთეულში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაა (ანუ სითბოს ნაკადი, თბური სიმძლავრე); Φ_s – საკისრის მიერ დროის ერთეულში მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა; $\Phi_{\text{ლ}}$ – ლილვის მიერ დროის ერთეულში მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა.

საკისარში გამოყოფილი სითბო დროის ერთეულში შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი დამოკიდებულებით, ვტ (1,163 ვტ = 1 კკალ/სთ):

$$\Phi = f \cdot F_r \cdot \omega \cdot r, \quad (9.16)$$

სადაც f ხახუნის კოეფიციენტი; F_r – რადიალური დატვირთვა საკისარზე, ნ; ω – ლილვის კუთხური სიჩქარე, რად/წმ; r – საკისრის რადიუსი, მ.

საკისრისა და ლილვის მიერ მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობის განსაზღვრისათვის გამოყვანილი ფორმულები ეფუძნებიან ფურიეს კანონს და საჭირო სიზუსტის შედეგებს იძლევიან, თუ სრულდება შემდეგი პირობები:

- სხეულები იზოტროპულია;
- სხეულის გასწვრივ ტემპერატურა უმნიშვნელოდ იცვლება.

აღნიშნული პირობების შესაბამისად საანგარიშო ფორმულების გამარტივებისათვის შემოღებულია შემდეგი დაშვებები:

1. ლილვის ღერძიდან თანაბრად დაშორებულ საკისრის ყველა წერტილში ტემპერატურა ერთნაირია.

2. ტემპერატურა სადების მუშა ზონაში მუდმივია და სითბო საკისარში ვრცელდება მხოლოდ რადიალური მიმართულებით.

3. თბოგადაცემა გარემოზე საკისრის კორპუსიდან ვრცელდება ცილინდრის მთელ პერიმეტრზე.

უკანასკნელი დაშვება სავსებით მისაღებია პლასტმასოვანი თხელსადებებიანი საკისრებისათვის (თბოგამტარობის კოეფიციენტი პლასტმასებისათვის 400-600-ჯერ ნაკლებია ბრინჯაოსა), მაგრამ დიდ მარაგს იძლევა ლითონურსადებებიანი საკისრებისათვის.

საკისრის მიერ მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა ერთეულ დროში შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით (ვტ)

$$\Phi_{\Sigma} = K_{\Sigma} \cdot l(t_{\Sigma} - t_0), \quad (9.17)$$

სადაც t_{Σ} ტემპერატურაა საკისრის მუშა ზონაში, კელვინი (K); t_0 – გარემოს ტემპერატურა, კელვინი (K); l – საკისრის სიგრძე, მ; K_{Σ} – საკისრის თბოგადაცემის ჯამური კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საკისრის კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე, გეომეტრიულ პარამეტრებზე, მასალების თბოგამტარობისა და თბოგადაცემის კოეფიციენტებზე (არ უნდა აგვერიოს ერთმანეთში თბოგადაცემისა და თბოგაცემის კოეფიციენტები, რომლებსაც განსხვავებული ფიზიკური შინაარსი და განზომილებები აქვთ).

K_{Σ} კოეფიციენტი ახასიათებს საკისრის უნარს, გაატაროს და გადასცეს სითბო. მისი შებრუნებული სიდიდე 3 ფენიანი ტიპური საკისრის შემთხვევაში, როცა ანტიფრიქციული სადები ჩაწნეხილია ფოლადის ჰიქსში, ხოლო იგი – თავის მხრივ, მანქანის კორპუსში იქნება,

$$\frac{\text{მ. კელვინი}}{\text{ვტ}} [1]:$$

$$\frac{1}{K_b} = \frac{1}{2 \cdot \varphi_0} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d+2\delta}{d} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{D}{d+2\delta} \right) + \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_j}{D} + \frac{1}{\alpha \cdot D_j} \right), \quad (9.18)$$

სადაც φ_0 – საკონტაქტო კუთხეა, რად.; λ_1 – სადების თბოგამტარობის კოეფიციენტი (ცხრ. 9.1, 9.4), $\frac{\text{ვტ}}{\text{მ} \cdot \text{კელვინი}}$; d – ლილვის დიამეტრი, მ.; δ – პლასტმასის სადების სისქე, მ.; λ – ჭიქის და კორპუსის თბოგამტარობის კოეფიციენტი (ცხრილი 9.4) – $\frac{\text{ვტ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{კელვინი}}$; D – ლითონის ჭიქის გარე დიამეტრი, მ.; D_j – საკისრის კორპუსის დიამეტრი, მ.; α – საკისრის ზედაპირის თბოგაცემის კოეფიციენტი (შემოქრევის გარეშე $\alpha=12\dots14$) $\frac{\text{ვტ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{კელვინი}}$;

შემოქრევის შემთხვევაში α შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით

$$\alpha = 17\sqrt{V}, \quad (9.19)$$

სადაც V შემოქრევის სიჩქარეა, რომელიც დამოკიდებულია ლილვისა და მასზე დასმული დეტალების ბრუნვათა სიხშირეზე (გამოსახულებაში V -ს მინიმალური სიდიდეა $1\text{მ}/\text{წმ}$), $\text{მ}/\text{წმ}$.

ლილვის მიერ მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა ერთეულ დროში შეიძლება ასე განისაზღვროს, ვტ:

$$\Phi_{\text{ლ}} = c(t_{\text{ლ}} - t_0), \quad (9.20)$$

სადაც $c=c_1+c_2$ ლილვის თითოეული მხარის თბოგადაცემის ჯამური კოეფიციენტია და დამოკიდებულია ლილვის გეომეტრიულ პარამეტრებზე,

$\frac{ვტ}{კელვინი}$; c_1 და c_2 კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოცემულია 9.3

ცხრილში;

ცხრილი 9.3

ლილვის თბოგადაცემის კოეფიციენტები

ლილვის ტიპი	ლილვის კონსტრუქცია, თბოგადაცემის პირობები	თბოგადაცემის ჯამური კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის საჭირო გამოსახულებანი, $\frac{ვტ}{მ \cdot კელვინი}$	თბოგადაცემის ჯამური კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის საჭირო სიდიდეები
I	უსასრულო სიგრძის ლილვი. თბოგადაცემა გვერდითი ზედაპირიდან	$c_I = \frac{\pi}{2} \sqrt{\alpha_1 \cdot \lambda \cdot d^3}$	α_1 – მოძრავი ან უძრავი ლილვის გვერდითი ზედაპირის თბოგადაცემის კოეფიციენტი; λ – ლილვის თბოგამტარობის კოეფიციენტი;
II	სასრული L სიგრძის ლილვი. თბოგადაცემა გვერდითი ტორსული ზედაპირიდან	$c_{II} = \lambda \cdot f \cdot m \cdot \times \frac{sh(mL) + Bch(mL)}{ch(mL) + Bsh(mL)}$	d – ლილვის დიამეტრი; $m = 2\sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda \cdot d}}$; $B = \frac{\alpha_2}{\lambda \cdot m}$ $f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$
III	ძალიან მცირე სიგრძის ლილვი ($L=0$). თბოგადაცემა მხოლოდ ტორსული ზედაპირიდან	$c_{III} = \alpha^2 \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	α_2 – ლილვის ტორსული ზედაპირის თბოგადაცემის კოეფიციენტი

t_o – გარემოს ტემპერატურა, კელვინი (K); t_L – ლილვის ზედაპირის ტემპერატურა, კელვინი (K), და როცა საკისარი უძრავია და ლილვი ბრუნავს, შეიძლება დავუშვათ, რომ

$$t_L = t_s,$$

(9.21) (9.15) გამოსახულებაში (9.16), (9.17), (9.20) და (9.21)

გამოსახულებების ჩასმით და შესაბამისი ელემენტარული მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ მუშა ზონაში ტემპერატურა

$$t_{\text{ა}} = \frac{f \cdot F_r \cdot \omega \cdot r + t_{\circ} (K_{\text{ს}} \cdot l + c)}{K_{\text{ს}} \cdot l + c} \quad (9.22)$$

(9.20) გამოსახულებაში შესაბამისი წევრები დასაშვებია °C-ში.

საკისრის კვანძის პერიოდული მუშაობის შემთხვევაში საჭირო ხდება განისაზღვროს დროის ის T მონაკვეთი, როცა ტემპერატურა აღწევს t_p დასაშვებ ზღვარს.

ამ შემთხვევისათვის თბური ბალანსის განტოლებას ექნება ასეთი სახე:

$$\Phi \cdot T - T(c + K_{\text{ს}} \cdot l)(t_p - t_{\circ}) = mC(t_p - t_{\circ}), \quad (9.23)$$

სადაც $\Phi \cdot T$ არის T დროში გამოყოფილ სითბოს რაოდენობა, ჯოული; $T(c + K_{\text{ს}} \cdot l)(t_p - t_{\circ})$ - T დროში გარემოზე გადაცემული სითბო, ჯოული; $mC(t_p - t_{\circ})$ - კვანძის დეტალების გათბობაზე დახარჯული სითბო, ჯოული;

C - მასალის ხვედრითი თბოტევადობა, $\frac{\text{ჯოული}}{\text{კგ} \cdot \text{კელვინი}}$ (სპილენძი, თითბერი

- $C = 0,4$; რკინა - $C = 0,46$; ალუმინი - $C = 0,88$), სადაც განზომილებაა

$$\left(\frac{\text{კპალ}}{\text{კგ} \cdot \text{გრად}} = 4,1868 \frac{\text{ჯოული}}{\text{კგ} \cdot \text{კელვინი}} \right);$$

m - გაცხელებული დეტალების მასა, განისაზღვრება ფორმულით, კგ,

$$m = m_1 + \beta \cdot m_2 + \beta \cdot m_3, \quad (9.24)$$

სადაც m_1 3-4 დიამეტრის სიგრძის ლილვის მასაა, კგ; m_2 - საკისრის მასა, კგ; m_3 - საკისართან უშუალო სიახლოვეს მყოფი და მასთან ერთად გაცხელებული დეტალების მასა, კგ; β კოეფიციენტი, რომელიც

ითვალისწინებს ტემპერატურათა სხვაობას ხახუნის ზონაში და დეტალის პერიფერიაზე:

$$\beta = \frac{0,5 - 2\rho}{0,5 + 2\rho}, \quad (9.25)$$

სადაც p მანძილია ხახუნის ზონიდან დეტალის ყველაზე უფრო დაშორებულ წერტილამდე, მ.

(9.23)-დან საკისრის კვანძის t_p ტემპერატურამდე გაცხელების დრო განისაზღვრება გამოსახულებით

$$T = \frac{mC(t_p - t_0)}{\Phi - (c + K_s \cdot l)(t_p - t_0)}, \quad (9.26)$$

ხოლო თუ აუცილებელია განისაზღვროს საკისრის მუშა ტემპერატურა რაღაც T დროში, მაშინ ბალანსის განტოლებაში მიიღება, რომ $t_p = t_a$ და

$$t_a = \frac{\Phi T}{T(c + K_s l) + mC} + t_0. \quad (9.27)$$

მიახლოებითი საორიენტაციო გაანგარიშებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ გამარტივებული დამოკიდებულებებით, როცა იგულისხმება, რომ საკისრის კორპუსისა და ლილვის მეშვეობით ხახუნის ზონიდან არინებული სითბო პროპორციულია რაღაც პირობითი A ფართობის, ტემპერატურათა სხვაობის - $(t_a - t_0)$ და თბოდაცემის α კოეფიციენტისა, ე.ი.

$$\Phi = \alpha(t_a - t_0)A, \quad (9.28)$$

სადაც Φ გამოყოფილი ან ხახუნის კვანძიდან გატანილი სითბოა, ვტ; $A = A_1 + A_2$ - ხახუნის კვანძის თბოგაცემის პირობითი ფართობი, მ²; A_1 - საკისრის კორპუსის თბოგაცემის პირობითი ფართობი (მ²) დამოკიდებულია საკისრის კონსტრუქციაზე და ზომებზე. საშუალოდ იღება

$A_1=25d^2$ ან $A_1=20 dl$, სადაც d და l , შესაბამისად, არის საკისრის დიამეტრი (მ) და სიგრძე (მ).

ზოგჯერ A_1 -ს ირჩევენ ზღვრებში (12...40) dl .

ტიპური სრიალის საკისრებისათვის კორპუსის თბიგადაცემის ფართობი შეიძლება განისაზღვროს საკისრის მთლიანი H სიმაღლისა და ღერძის მიმართულებით l სიგრძის მიხედვით

$$A_1 = \pi \cdot H(l + 0,5H), \quad (9.29)$$

A_2 ლილვის თბოგაცემის პირობითი ფართობია (m^2) და ლილვის თითოეული მხარისათვის იღება (5...8) d^2 . მნიშვნელობები მცირე აიღება, როცა ლილვის დიამეტრი $< \Phi 100$ -ზე, ხოლო დიდი – როცა დიამეტრი $> \Phi 100$ -ზე.

ცხრილი 9.4

თბოგამტარობის მნიშვნელობები 20 და 100 °C ტემპერატურის დროს

№ პოზ.	მასალა	თბოგამტარობა λ , ვტ/მ. კელვინი	
		როცა $t=20^{\circ}C$	როცა $t=100^{\circ}C$
1	ტექნიკური ალუმინი	202	206
2	ალუმინის შენადლობები: 8%-იანი მაგნიუმით 20%-იანი სილიციუმით	105 160	123 169
3	დურალუმინი	165	181
4	კალიანი ბაბიტი (დიდი მნიშვნელობა შესაბამება კალის მცირე შემცველობას)	58...70	47...58
5	ბაბიტი (ტყვიის)	35...47	29...41
6	კალიანი ბრინჯაო	58...81	52...76
7	ალუმინიანი ბრინჯაო	81...94	70...81
8	თითბერი 60	108	120
9	საშუალო ნახშირბადიანი ფოლადი	52...58	47...52
10	რუხი თუჯი	56...64	50...58
11	დაწნეხილი გრაფიტი	105...116	99...110
12	ტექსტოლიტი	0,23...0,35	
13	პოლიამიდი	0,25	

(9.28) გამოსახულებაში დანარჩენი პარამეტრები იგივეა, რაც ზემოთ მოყვანილ გამოსახულებაში იყო გამოყენებული.

მახლოებითი ანგარიშებისათვის საშუალოდ მიიჩნევენ, რომ თბოგადაცემა ლილვის მეშვეობით, საკისრის თბოგადაცემის 50%-ს შეადგენს.

(9.28) გამოსახულებიდან განისაზღვრება ტემპერატურა ხახუნის ზონაში

$$t_b = \frac{\Phi}{\alpha \cdot A} + t_0 . \quad (9.30)$$

ბუნებრივია, ყველა შემთხვევაში უნდა შესრულდეს პირობა

$$t_b \leq t_p .$$

ამასთან, ყველა მიღებულ ანალიზურ გამოსახულებაში მიჩნეულია, რომ თბოტევადობა, თბოგადაცემა და თბოგამტარობა არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე.

მექანიკური სისტემების მექანიკურ მჩვენებლებზე და საერთო მდგომარეობაზე მნიშვნელოვანწილად მოქმედებს ის გარემოება, რომ მოხაზუნე ზედაპირზე ტემპერატურის გაზრდა იწვევს ხახუნის ძალის მოლეკულური (ადჰეზიური) და მექანიკური (კოჰეზიური) შემდგენების შეცვლას. ცვლილებების მასშტაბები დიდად არის დამოკიდებული მოხაზუნე დეტალების მასალების გვარობაზე.

ლითონური ზედაპირებისათვის ხახუნის ძალის მექანიკური შემდგენები ტემპერატურის მომატებით მასალის სისალის შესაბამისი შეცვლის შედეგად იცვლება (არალითონური, მაგალითად, პოლიმერული მასალებისათვის ეს მომენტი კიდევ უფრო გამოკვეთილია). ლითონური მასალების სისალის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე განისაზღვრება ექსპონენციალური დამოკიდებულებით [23]:

$$H = H_0 \cdot e^{-\beta \cdot \Delta t}, \quad (9.31)$$

სადაც H_0 მასალის სისალეა საწყის ტემპერატურაზე; β – მაჩვენებლიანი დამოკიდებულების ტემპერატურული კოეფიციენტი; Δt – ზედაპირების ტემპერატურული ნაზრდი.

ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულება გვიჩვენებს, თუ როგორი ხარისხით ხდება ტემპერატურის მომატების შედეგად მოხაზუნე ზედაპირების სისალის შემცირება. ამასთან, უფრო რბილი მასალებისათვის იგი კიდევ უფრო ინტენსიურია.

აღნიშნულის გამო ტრიბოლოგიურ პროცესში ტემპერატურის ზრდა იწვევს ერთი სხეულის მეორეში მეტ ჩაღრმავებას, რაც, თავის მხრივ, განაპირობებს ხაზუნის ძალის მექანიკური შემდგენების გაზრდას. რაც შეეხება ხაზუნის ძალის მოლეკულურ შემდგენს, იგი ტემპერატურის შეცვლის შედეგად სხვადასხვაგვარად იცვლება ტრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუქციის და მასალის გვარობის მიხედვით.

ლითონური მასალებისაგან დამზადებული ხაზუნის კვანძის დეტალებისათვის ტრიბოლოგიური პროცესის ნორმალურ პირობებზე ითვლება ტემპერატურული ზღვარი $t_g < (0,2 \dots 0,3) t_{\text{ღ}}$, სადაც $t_{\text{ღ}}$ მასალის დნობის ტემპერატურაა. ამასთან, ტემპერატურულ დიაპაზონში $(0 \dots 0,2) \cdot t_{\text{ღ}}$ ხდება ხაზუნის ძალის მოლეკულური შემდგენის შესაბამისად შემცირება, რაც განპირობებულია ზედაპირზე სწრაფი დაჟანგვის გამო თხელი აფსკების წარმოშობით. ხოლო ტემპერატურის შემდგომი გადიდება იწვევს კონტაქტში მყოფი ბორცვების ერთმანეთთან ინტენსიურ შეჭიდულებას (მაღალი ტემპერატურის გამო ჟანგის თხელი აფსკი ამ მოვლენას ხელს ვეღარ უშლის და იზრდება ხაზუნის ძალის მოლეკულური შემდგენი).

განსხვავებული სურათია, როდესაც მოხაზუნე ზედაპირთაგან ერთ-ერთი მაინც პოლიმერული მასალისგანაა დამზადებული. ასეთი

კონსტრუქციული გადაწყვეტილებისათვის ხახუნის ძალის მექანიკური და მოლეკულური შემდგენების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მექანიზმისა და ხვედრითი წილის ოდენობის განსაზღვრის საკითხი თანამედროვე მეცნიერებისათვის ჯერჯერობით დამაჯერებლად არ არის შემუშავებული, მაგრამ უდავოა ის ფაქტი, რომ კვანძის მუშა ზონაში ტემპერატურის გაზრდით (განსაკუთრებით, თერმოპლასტიკური მასალებისათვის) მნიშვნელოვნად იზრდება ხახუნის ძალები. ამასთან, კვანძის მუშა ტემპერატურულ დიაპაზონში არ გვხვდება კრიტიკული წერტილები.

ზოგადად ყველა შემთხვევისათვის ხახუნის ძალის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მრუდზე შეიძლება გამოიყოს ხელსაყრელი ტემპერატურული რეჟიმების ზონები. ამ ზონების განსაზღვრა და კვანძის კონსტრუქციული გადაწყვეტა ტემპერატურული რეჟიმის თვალსაზრისით არის ტრიბოლოგიური სისტემის კვლევის უმნიშვნელოვანესი ეტაპი ახალი მანქანა-მოწყობილობის კონსტრუირების პროცესში.

9.8. სრიალის საკისრების კონსტრუქციული პარამეტრები

კონსტრუქციული პარამეტრების დადგენა სრიალის საკისრების გაანგარიშების განუყოფელი ნაწილია. ლითონური სადებების გამოყენების შემთხვევაში აღნიშნული საკითხი შედარებით მარტივად წყდება და იგი კარგად არის გაშუქებული ტექნიკურ ლიტერატურასა და შესაბამის დისციპლინებში. ბევრად მეტ ყურადღებას მოითხოვს კონსტრუქციული პარამეტრების დადგენა პლასტმასოვანი სადებების გამოყენების შემთხვევაში.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების საიმედოობა და ხანგამძლეობა მნიშვნელოვანწილად არის დამოკიდებული მათ

რაციონალურ კონსტრუირებაზე. ოპტიმალური კონსტრუქციული პარამეტრების შერჩევა მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ტრიბოლოგიური სისტემის საექსპლუატაციო პარამეტრებსა და საიმედოობის მაჩვენებლებს.

ქვემოთ მოყვანილი კონსტრუქტორული პარამეტრების შერჩევითვის რეკომენდებული თანაფარდობები სპეციალური გამოკვლევების საფუძველზე განზოგადებულია ლიტერატურულ წყაროებში [1], [28].

როგორც ცნობილია, პლასტმასოვანი სრიალის საკისარი უმრავლეს შემთხვევაში არის პლასტმასის სადები, რომელიც ჩაწნეხილია ფოლადის ჭიქაში, ხოლო თავის მხრივ, იგი ჩადგმულია სპეციალურ ან მანქანის კორპუსში (“პირდაპირი წყვილი”), ანდა ფოლადის ლილვზე დაწნეხილი პლასტმასის მილისა, რომელიც შეუღლებულია რომელიმე კორპუსთან (“შექცეული წყვილი”).

საანგარიშო ჩაწნეხის (დაწნეხის) ჭეჭის სიდიდემ უნდა უზრუნველყოს სადებების უმოძრაო ჩასმა საკისრის მთელი სამსახურის ვადის განმავლობაში.

ამოცანის არსი ისაა, რომ საკისრის ხანგრძლივი ექსპლუატაციისა და პერიოდული გაცხელების დროს ცივი დენადობისა და ძაბვების რელაქსაციის მოვლენების გამო ჭეჭი კვანძში სუსტდება ან ქრება. შედეგად მილისა ბრუნდება შესაბამისი დეტალის მიმართ და წყდება საკისრის ფუნქციონირება. მაგრამ თუ წინასწარი ჭეჭის ხარისხი აღმატება რაღაც მნიშვნელობას, ჭეჭი ე. ი. მილისას დაძაბული მდგომარეობა პრაქტიკულად შეიძლება მუდმივად იქნას შენარჩუნებული. ამასთან, სადების დაძაბული მდგომარეობა დადებითად მოქმედებს ცვეთამდეგობაზე და ამცირებს ცივი დენადობის მოვლენებს.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია შეუღლებაში გათვალისწინებულ იქნეს ჭეჭის მაქსიმალური მნიშვნელობა ისე, რომ აღძრული ძაბვა არ აჭარბებდეს დენადობის ზღვრის დონეს.

ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე პოლიამიდური სადებებისათვის ჭეჭის მნიშვნელობა რეკომენდებულია ზღვრებში

$$\delta_d = (0,035 \dots 0,045) D, \quad (9.32)$$

ხოლო პოლიაცეტალის (პოლიფორმალდეჰიდის) სადებებისათვის

$$\delta_d = (0,03 \dots 0,04) D, \quad (9.33)$$

სადაც δ_d ჭეჭის აბსოლუტური სიდიდეა, მმ; D – ლითონური ჭეჭის ან ლილვის დიამეტრი, მმ.

ჭეჭის ოპტიმალური მნიშვნელობების შერჩევა ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებების საფუძველზე დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულეებთან და, როგორც გამოცდილება გვიჩვენებს, ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში კონსტრუქტორისაგან კონკრეტულ გადაწყვეტილებას მოითხოვს. საქმე ისაა, რომ შესაძლებელია ისეთი არახელსაყრელი ვითარებების დამთხვევა, როცა უმოძრაო ჩასმა ან ვერ მიიღწევა (ჭეჭის მცირე მნიშვნელობები) ან პლასტმასოვანი სადებები ვერ უძლებენ ჩაწნების ან დაწნების შედეგად აღძრულ კონტაქტურ ძაბვებს (ჭეჭის დიდი მნიშვნელობები).

აღნიშნულის გამო ჭეჭის სიდიდის შერჩევის დროს უნდა ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი მოსაზრებით:

- კვანძის საიმედოობის და ხანგამძლეობის გადიდების მიზნით ჭეჭის სიდიდის მნიშვნელობა შესაძლებლობის ზღვრებში უნდა იყოს მაქსიმალური;

- გრძელი და სქელკედლიანი სადებებისათვის აიღება ჭექის მცირე მნიშვნელობები, ხოლო მოკლე და თხელკედლიანი სადებებისათვის – ჭექის დიდი მნიშვნელობები;
- შემკვებიანი (გრაფიტი, ტალკი, მოლიბდენის დისულფიდი) პლასტმასისაგან დამზადებული სადებებისათვის საჭიროა ჭექის სიდიდე შემცირდეს;
- დაბალ მუშა ტემპერატურაზე იღებენ ჭექის ხარისხის მცირე მნიშვნელობებს, ხოლო მაღალზე – დიდს;
- “შექცეული წყვილისათვის” იღებენ ჭექის შემცირებულ მნიშვნელობებს.

რეკომენდაციებით დადგენილი ჭექის მნიშვნელობები ძნელად უთავსდება მიღებულ სტანდარტულ ჩასმებს. ამიტომ ხახუნის კვანძის კონსტრუქტორულ დოკუმენტაციაში არაა რეკომენდებული მონიშნოს შეუღლების ნომინალური ზომა.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრის მუშაობის უნარზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ხახუნის კვანძის ღრეჩოს სიდიდე.

პოლიმერული მასალები, ხასიათდებიან რა დიდი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული და ნესტშემცველობის კოეფიციენტებით, მუშაობის პროცესში ფართოვდებიან. შესაბამისად, ხახუნის კვანძში არსებული ღრეჩო შეიძლება გაქრეს და საკისარი “გაიჭედოს”. აღნიშნულის თავიდან აცილებისათვის კვანძში საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს გაფართოების საკომპენსაციო სიდიდე (ლითონურსადებებთან საკისრებში შესაძლებელია ამ სიდიდის უგულებელყოფა).

ღრეჩოს სიდიდის შერჩევის დროს უნდა ვხელმძღვანელობდეთ საერთო ტექნიკური მოსაზრებებით. ამასთან, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მუშაობის კონსტრუქციული და ექსპლუატაციური პირობები –

შეზეთვის სახე, გაცივების საშუალებები, დატვირთვის რეჟიმი, მოხაზუნე ზედაპირების მდგომარეობა და ა. შ.

ღრეჩოს გადიდებული მნიშვნელობები უარყოფითად მოქმედებს მანქანის საერთო კონსტრუქციულ შეთანწყობაზე. ამას გარდა, ღრეჩოს გადიდება იწვევს მოხაზუნე ზედაპირებზე კონტაქტური დაზიანების გაზრდას, რაც თავის მხრივ, განაპირობებს ხაზუნის კვანძის ინტენსიურ ცვეთას.

აღნიშნულის გამო ღრეჩოს ოპტიმალური სიდიდის შერჩევა ტრიბოლოგიური სისტემის დაპროექტების დროს მეტად საპასუხისმგებლო საქმეა.

მრავალი ექსპერიმენტისა და თეორიული კვლევის საფუძველზე პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების დიამეტრული ღრეჩოს შერჩევითი რეკომენდებულია შემდეგი თანაფარდობა:

$$\Delta=(0,004 \dots 0,015)d, \quad (9.34)$$

სადაც d ლილვის დიამეტრია, მმ.

იმის გამო, ღრეჩოს სიდიდე უდიდეს გავლენას ახდენს ხაზუნის კვანძის მუშაობის უნარზე, საჭიროა დიდი სიფრთხილით იქნეს შერჩეული ღრეჩოს ოპტიმალური მნიშვნელობა. ამასთან, გათვალისწინებული უნდა იქნეს სრიალის საკისრის მუშაობის კონკრეტული პირობები და კონსტრუქციული გადაწყვეტა. მაგალითად, თხელკედლიანი სადებებისათვის რეკომენდებულია შეირჩეს ღრეჩოს მცირე მნიშვნელობები, ხოლო სქელკედლიანებისათვის – დიდი. მოსალოდნელი მძიმე ტემპერატურულრეჟიმისათვის საჭიროა შეირჩეს ღრეჩოს დიდი მნიშვნელობები, მსუბუქებისათვის – მცირე.

იმასთან დაკავშირებით, რომ ღრეჩოს გაზრდა იწვევს კონტაქტური დაზიანების გაზრდას კვანძში, ღრეჩოს შერჩევის შემდეგ აუცილებელია შემოწმებითი გაანგარიშება მაქსიმალურ კონტაქტურ

მაბევებზე ზემოთ მოყვანილი მეთოდით და საჭიროების შემთხვევაში ხდება მისი კორექტირება.

ამას გარდა, სპეციალურ ლიტერატურაში მოცემულია რეკომენდაციები ანალიზური გამოსახულებების სახით, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია სადების თავისუფალი ზედაპირის (შიგა ან გარე დიამეტრის) ზომათა ცვლილებების განსაზღვრა სადების ჩაწნევის (დაწნევის) შედეგად.

პოლიმერული მასალების მცირე თბოგამტარობისა და დიდი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტის გამო პლასტმასის სადებები მიზანშეწონილია დამზადდეს თხელკედლიანი. განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია ის გარემოება, რომ სქელკედლიანი პლასტმასის სადებები თხელკედლიანთან შედარებით ხასიათდებიან მასალის დაქვეითებული ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლებით (ეს უკანასკნელი პოლიმერული მასალების გადამუშავების სპეციფიკით არის განპირობებული). გარდა ამისა, სქელკედლიანი პლასტმასის სადებებისათვის დამახასიათებელია ხაზობრივი ზომების ნაკლები სტაბილურობა ჩამოსხმის პროცესისათვის დამახასიათებელი “ჩაჯდომის” დიდი ხარისხის გამო.

მოყვანილი ტექნოლოგიური და კონსტრუქტორული მოსაზრებიდან გამომდინარე, პლასტმასის სადების კედლის სისქის საორიენტაციო განსაზღვრისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$\delta = 0,2 + \sqrt{0,1d} \quad , \quad (9.35)$$

სადაც d არის მოხაზუნე ზედაპირის ნომინალური დიამეტრი, მმ;

მიღებული სიდიდე საკისრის დაპროექტების დროს შეიძლება კორექტირებული იქნეს $\pm 15\%$ -ით.

საკისრის სიგრძე, როგორც ეს ჩვეულებრივ არის მიღებული, იზღუდება ნომინალური დიამეტრის მიხედვით და ოპტიმალურად მიჩნეულია $\frac{l}{d}=1$, აქ l საკისრის სიგრძეა, ხოლო d - ნომინალური დიამეტრი.

დრეკადსაფუძვლიანი სრიალის საკისრებისათვის აღნიშნული ფარდობა შეიძლება გაზრდილი იქნეს 1,5...1,8 ზღვრებამდე, ხოლო არაზუსტი აწყობისას და ლილვის დიდი დეფორმაციის პირობებში არ უნდა აღემატებოდეს 0,8-ს.

ზემოთ მოყვანილ კონსტრუქტორულ პარამეტრებთან ერთად პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების დაპროექტების დროს საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს:

- შეუღლებაში გამოყენებული ლითონური დეტალების ზედაპირის სიმქისის რაციონალურ მნიშვნელობად სიმქისის მე-7...მე-8 კლასები, ხოლო პლასტმასის დეტალისათვის (თუ იგი მექანიკურად მუშავდება) – მე-6 კლასი.
- ლითონური დეტალისათვის ზედაპირული სისაღის რაციონალურ სიდიდედ არაუმეტეს HRC 50. . . 55;
- პლასტმასის სადებების შეძლებისდაგვარი თანაბარკედლიანობა (ადვილობრივი შესუსტებები ან შესქელებები მნიშვნელოვნად აქვეითებენ მის შრომის უნარს);
- დეტალების ჭკეით ჩასმის დროს ლითონური დეტალის ზედაპირის სიმქისის ოპტიმალურ მნიშვნელობად სიმქისის მე-6 კლასი (მეტი სიმქისის ზედაპირები იწვევენ ჩაწნეხვის ძალის გაზრდას და მასთან დაკავშირებულ უარყოფით მოვლენებს, ხოლო ნაკლები – უძრავი ჩასმის საიმედოობის შემცირებას);

- მექანიკური ჩაწნევის წინ ერთ-ერთ შეუღლებულ ზედაპირზე 30⁰-იანი ნაზოლი;
- ჩაწნეხილი (დაწნეხილი) სადების მექანიკური დამუშავება მოხდეს არა უადრეს 6...8 სთ-ისა წნეხვის პროცესიდან (ზომების სტაბილიზაციის მიზნით);
- პლასტმასის სადებიანი ტრიბოლოგიური სისტემების კონსტრუირების დროს პლასტმასის სადების გაფართოების შესაძლებლობა გრძივი მიმართულებით (განივი მიმართულებით გაფართოების შესაძლებლობას ითვალისწინებს დიამეტრული ღრეჩო).

9.9. სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოდика

პირობითი გაანგარიშების მეთოდика მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ სრიალის საკისრების წინასწარი, საორიენტაციო გაანგარიშების დროს. იგი ეფუძნება მანქანათა ტრიბოტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის გამოცდილებას, ექსპერიმენტულ შედეგებს. კერძოდ, სარგებლობენ ანალოგიური კონსტრუქციული გადაწყვეტებისა და დატვირთვის პარამეტრების შემთხვევაში მიღებული ექსპლუატაციური მონაცემებით. აღნიშნული მეთოდისათვის დამახასიათებელია საანგარიშო მეთოდის მქსიმალური სიმარტივე.

განასხვავებენ სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების ორ ძირითად სახეს:

- ანგარიში დასაშვებ წნევაზე;
- ანგარიში დასაშვები წნევისა და სრიალის სიჩქარის ნამრავლზე.

სრიალის საკისრების გაანგარიშება დასაშვებ წნევაზე გამოისახება იმ წნევის ლიმიტირებით, როლითაც სატაცი ზემოქმედებს რადიალური

მიმართულებით საკისრის სადებზე და რომლის მუშა ფართობი პირობითად საკისრის დიამეტრული კვეთაა, ე. ი.

$$p = \frac{F_r}{dl} \leq p_p, \quad (9.36)$$

სადაც p რადიალური წნევის სიდიდეა საკისარში; F_r – რადიალური დატვირთვა სატაცზე; d, l – შესაბამისად, საკისრის დიამეტრი და სიგრძე; p_p – დასაშვები წნევა სრიალის საკისრისათვის.

სტაციონარული მანქანების უმრავლესობისათვის კონკრეტული პირობების – ძირითადი და შემზეთი მასალების და კონსტრუქციული პარამეტრების მიხედვით გაბარიტებისაღმი განსაკუთრებული მოთხოვნების არ არსებობის შემთხვევაში p_p იღება 1...4 მპა-ის ზღვრებში.

შიგაწვის ძრავების ძირითადი და ბარბაცას საკისრებისათვის $p_p=4...20$ მპა. ხოლო, საგლინავი დგანების, წნეებისა და სამჭედლო მანქანებისათვის – $p_p=10...30$ მპა.

ასეთი მეთოდიკა ძირითადად შემოწმებითი ხასიათისაა, ვინაიდან სატაცის დიამეტრი განისაზღვრება ლილვის კონსტრუქციული გაანგარიშების დროს. თუმცა ლავირების საშუალებას იძლევა საკისრის სიგრძე, რომელიც უზრუნველყოფს წნევის ცვლილებას.

წნევის რეალური მნიშვნელობის განსაზღვრა შესაძლებელია მხოლოდ დრეკადობის თეორიის შესაბამისი კონტაქტური ამოცანის (დაახლოებით ერთნაირი რადიუსის მქონე ცილინდრების შიგა კონტაქტური კუმშვა) ამოხსნის გზით.

სრიალის საკისრის პირობითი გაანგარიშება დასაშვებ წნევასა და სრიალის სიჩქარის ნამრავლზე შეიძლება შემდეგნაირად იქნას გამოსახული

$$pV \leq (pV)_p, \quad (9.37)$$

სადაც V სრიალის სიჩქარეა; $(pV)_p$ – წნევისა და სრიალის სიჩქარის ნამრავლის დასაშვები სიდიდე.

სრიალის საკისარის pV პარამეტრი მნიშვნელოვანწილად ახასიათებს კვანძის რადიალურ დატვირთვის უნარს, თბურ რეჟიმს და ცვეთას. ამიტომ ხშირად გამოიყენება წინასწარი, საორიენტაციო გაანგარიშების დროს.

სტაციონარული მანქანების უმრავლესობისათვის კონკრეტული პირობების მიხედვით პარამეტრი $(pV)_p$ აიღება ზღვრებში 2...10 მპა მ/წმ; ტრიბოლოგიური სისტემების ინტენსიური გაცივების პირობებში pV პარამეტრის მნიშვნელობა შეიძლება გაცილებით მეტი იყოს:

ავტომობილის ძრავების საკისრებში $(pV)_p=25...35$ მპა მ/წმ.

პრაქტიკაში პარამეტრი $(pV)_p$ ზოგჯერ მოცემულია გრაფიკულად, მრუდის სახით, რომელიც შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც ჰიპერბოლა.

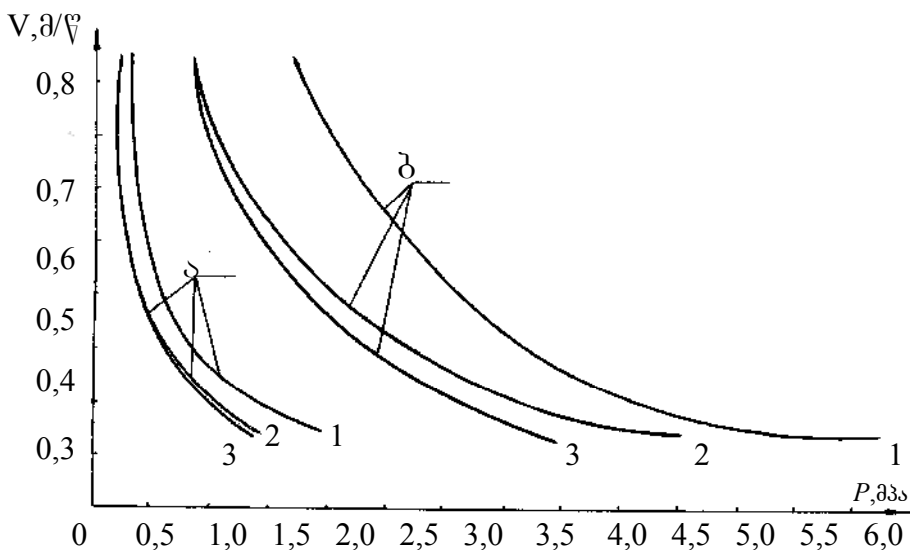
როგორც უკვე აღვნიშნეთ, p და $(pV)_p$ სიდიდეები იცვლებიან ფართო ზღვრებში და მნიშვნელოვანწილად არიან დამოკიდებულნი რიგ კონსტრუქციულ და ექსპლუატაციურ ფაქტორებზე: დატვირთვის ხარისხზე, შეზეთვის და გაცივების პირობებზე და საშუალებებზე, მასალებზე, დეტალების დამზადების ტექნოლოგიაზე, მუშაობის ხანგრძლივობაზე, ჩართვების რაოდენობაზე, გარემო პირობებზე და ა. შ.

ზემოთ ჩამოთვლილის გამო მოყვანილ მეთოდს არ გააჩნია პრეტენზია სიზუსტეზე და თხევადი შეზეთვის შემთხვევაში მხოლოდ საორიენტაციო ხასიათს ატარებს.

განსხვავებულ ღირებულებას იძენს აღნიშნული მეთოდიკა იმ ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის, რომლის ექსპლუატაცია ხდება ან

შეზეთვის გარეშე, ანდა არარეგულარული, ან შეზღუდული შეზეთვის პირობებში. ასეთ პირობებში კი, როგორც ცნობილია, მეტად ეფექტურია დიდი ცვეთამდეგობის მქონე პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების გამოყენება. მაგრამ ამ ტიპის საკისრებისათვის სარწმუნო რეკომენდაციები p_p და $(pV)_p$ პარამეტრების შესახებ ნაკლებად მოგვეპოვება ტექნიკურ ლიტერატურაში. ამიტომ აქაც უნდა ჩატარდეს საკისრის დაზუსტებული გაანგარიშება კონტაქტური ძაბვისა და მუშა ტემპერატურის განსაზღვრის ზემოთ აღწერილი წესით.

ნახ. 9.12-ზე გრაფიკული სახით არის წარმოდგენილი საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შესრულებული გამოკვლევების შედეგად მიღებული pV ნამრავლის ზღვრული მნიშვნელობები სხვადასხვა პოლიმერული მასალებისათვის.



ნახ. 9.12. კუთრი წნევის და ფარდობითი სრიალის სიჩქარის ზღვრული მნიშვნელობების ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკი პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის:

1 – პოლიაცეტალის (პოლიფორმალდეჰიდის) სადებით; 2 – პოლიამიდი 66-ის სადებით; 3 – პოლიამიდი 6-ის სადებით;

ა – არარეგულარული შეზეთვის პირობები; ბ – წვეთოვანი შეზეთვის პირობები

მაგალითი: შევაფასოთ პოლიმერულსადებიანი სრიალის საკისრის მუშაობის უნარი “პირობითი” დრეკალობის მოდულის გამოყენებით ექსპლუატაციის შემდეგ პირობებში:

რადიალური დატვირთვა საკისარზე $F_{r0}=5000$ ნ;

ლილვის ბრუნვათა სიხშირე $n=100$ წმ⁻¹;

ლილვის დიამეტრი $d=55$ მმ;

სადების მასალა – პოლიამიდ 66;

პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0,37$;

შეზეთვა – შეზღუდული, მინერალური ზეთით;

მუშაობის რეჟიმი – უწყვეტი;

კორპუსის გარე დიამეტრი $D_k=150$ მმ.

საკისრის კონსტრუქციული გადაწყვეტა – “ პირდაპირი წყვილი”.

პირველ რიგში ვადგენთ საკისრის კონსტრუქციულ პარამეტრებს.
(9.35) გამოსახულების შესაბამისად, სადების კედლის სისქე

$$\delta=0,2+\sqrt{0,1d}=0,2+\sqrt{0,1\cdot 55}=2,55 \text{ მმ.}$$

იმის გამო, რომ სავარაუდოა საკისრის მძიმე ტემპერატურული რეჟიმი, შევარჩიოთ სადების კედლის სისქის შემცირებული მნიშვნელობა $d=2,5$ მმ.

შევარჩიოთ საკისრის დიამეტრული ღრეჩოს საორიენტაციო მნიშვნელობა (9.34) გამოსახულებიდან

$$\Delta=0,01d=0,1\cdot 55=0,55 \text{ მმ.}$$

კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით მივიღოთ რადიალური ღრეჩოს მნიშვნელობა $\epsilon=0,25$ მმ. შევარჩიოთ საკისრის სიგრძის მნიშვნელობა $l=55$ მმ.

ვიპოვოთ საანგარიშო, „პირობითი“ დრეკადობის მოდული $t_0=85^\circ\text{C}$ ტემპერატურისა (შერჩეულია საორიენტაციოდ და საჭიროების შემთხვევაში სრულდება გადაანგარიშება) და 4 სთ (შეესაბამება ერთი ცვლის ხანგრძლივობის ნახევარს) დატვირთვის ხანგრძლივობისათვის (9.7) გამოსახულებით

$$E=E_0 \cdot K_\theta \cdot K_{\text{ღრ}} \cdot K_\gamma = 1200 \cdot 0,67 \cdot 0,65 \cdot 3,85 = 2012 \text{ მპა,}$$

სადაც K_θ ტემპერატურული კოეფიციენტი და, (9.8) გამოსახულების თანახმად,

$$K_{\phi} = \frac{t_{\text{დნ}} - t_{\text{მ}}}{t_{\text{დნ}} - 20} = \frac{219 - 85}{219 - 20} = 0,67;$$

$t_{\text{დნ}}$ – პოლიამიდ 66-ის დნობის ტემპერატურაა (ცხრილი 9.1) – 219 °C;

$K_{\text{დრ}}$ – დროის კოეფიციენტი და (9.9) გამოსახულების თანახმად

$$K_{\text{დრ}} = \left(\frac{t}{B}\right)^{-m} = \left(\frac{4}{4 \cdot 10^{-4}}\right)^{-0,047} = 0,65;$$

K_{β} – საანგარიშო, ე.წ. „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი კოეფიციენტი, (9.10) გამოსახულების თანახმად

$$K_{\beta} = \frac{1}{1 - 2\mu} = \frac{1}{1 - 2 \cdot 0,37} = 3,85.$$

E_0 მყისიერი დრეკადობის მოდულია 20 °C ტემპერატურაზე, პოლიამიდი 66-ისათვის $E_0 = 1200$ მპა (ცხრილი 9.1).

რადიალური დატვირთვა საკისრის ერთ მეტრ სიგრძეზე

$$F_r = \frac{F_{r0}}{l} = \frac{5000}{0,055} = 90909 \text{ ნ/მ} = 0,091 \text{ მნ/მ};$$

პარამეტრი

$$\frac{F_r}{E\varepsilon} = \frac{0,091}{2012 \cdot 0,00025} = 0,181.$$

საკონტაქტო კუთხის ნახევარი - $\varphi_0 = 23^\circ$ (ნახ.9.5), ხოლო უგანზომილებო კოეფიციენტი - $b = 0,6$ (ნახ.9.7)

მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა

$$\sigma_{\text{Hmax}} = b \frac{E\varepsilon}{r} = 0,6 \frac{2012 \cdot 0,00025}{0,0275} = 10,98 \text{ მპა.}$$

დასაშვები კონტაქტური ძაბვა

$$\sigma_p = \sigma_{p0} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = 40,2 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 12,93 \text{ მპა,}$$

სადაც $\sigma_{po} = E \cdot \varepsilon_p = 2012 \cdot 0,02 = 40,2$ მპა, აქ ε_p დასაშვები ფარდობითი დეფორმაციაა და კონსტრუქციული მოსაზრებებით მივიღეთ $\varepsilon_p = 0,02$ (2,0%);

K_1 არის ტექნოლოგიური კოეფიციენტი – 0,98;

K_2 – ტენშემცველობის კოეფიციენტი – 0,95;

K_3 – კონცენტრაციის კოეფიციენტი – 0,9;

K_4 – დადლილობითი სიმტკიცის კოეფიციენტი – 0,6;

K_5 – ჭექის კოეფიციენტი – 0,8;

K_6 – ანგარიშის სიზუსტისა და მარაგის კოეფიციენტი – 0,8.

შესრულებულია პირობა

$$\sigma_{Hmax} < \sigma_p = 12,93 \text{ მპა.}$$

ვაწარმოთ მიახლოებითი ტემპერატურული გაანგარიშება (9.30) გამარტივებული დამოკიდებულებით

$$t_{\theta} = \frac{\Phi}{\alpha A} + t_0 = \frac{57,6}{13 \cdot 0,075} + 20 \approx 80 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

სადაც Φ საკისარში გამოყოფილი სითბოა,

$$\Phi = f F_r \omega r = 0,04 \cdot 5000 \frac{3,14}{30} 100 \cdot 0,0275 = 57,6 \text{ ვტ},$$

სადაც f ხახუნის კოეფიციენტია წყვილისათვის ფოლადი-პოლიამიდი 66. შეზღუდული თხევადი ზეთით შეხეთვის პირობებში ავიღოთ $f = 0,04$ (ცხრ. 9.2).

თბოგადაცემის პირობითი ჯამური კოეფიციენტი α საშუალო პირობებში ავიღოთ $\alpha = 13$ ვტ/მ² კელვინი;

t° – გარემოს ტემპერატურა – 20 ⁰C;

$$A = A_1 + A_2,$$

სადაც A_1 საკისრის კორპუსის თბოგადაცემის ფართობი ავიღოთ
 $A_1 = 20 \cdot 0,055 \cdot 0,055 = 0,06 \text{ მ}^2$; A_2 ლილვის თბოგადაცემის პირობითი
ფართობი $A_2 = 5d^2 = 5 \cdot 0,055^2 = 0,015 \text{ მ}^2$; $A = 0,06 + 0,015 = 0,075$.

ე.ი. დაცულია პირობა

$$t_{\text{th}} < t_p = 85^\circ\text{C} .$$

ამრიგად, საკისრის მუშაობის უნარის ორივე კრიტერიუმი
შესრულებულია, რაც განსაზღვრავს საკისრის ექსპლუატაციის
შესაძლებლობას.

X თავი

სრიალის საკისრების კონსტრუქციები

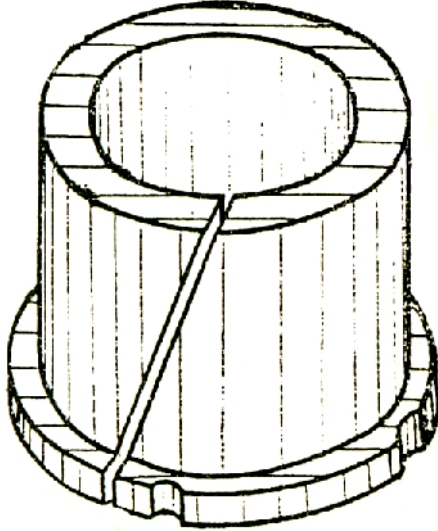
10.1. სრიალის საკისრების ტრადიციული კონსტრუქციები

პოლიმერული სადებით

სრიალის საკისრების ტიპური კონსტრუქციები ლითონური ანტიფრექციული სადებებით ნორმალიზებული და უმრავლეს შემთხვევაში სტანდარტიზებული იყო ყოფილი საბჭოთა კავშირის ეკონომიკურ სივრცეში. შესაბამისად, მათი კონსტრუქციების და კონსტრუქციული პარამეტრების შერჩევა კონკრეტული პირობებისათვის არ ხდებოდა. მაგრამ, განსხვავებული სიტუაცია ისახება პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების გამოყენების რიგ შემთხვევებში, სადაც ტრიბოლოგიური სისტემების საიმედო და ეფექტური ფუნქციონირება დიდად არის დამოკიდებული პლასტმასოვანი სრიალის საკისრის კონსტრუქციის და კონსტრუქციული პარამეტრების ოპტიმალურ შერჩევაზე. ამიტომ, როცა ყველა ჩვეულებრივი, ტიპური კონსტრუქციული გადაწყვეტა რომელიმე კონკრეტული შემთხვევისათვის მიუღებელია, საჭირო ხდება შევირჩიოთ ისეთი კონსტრუქცია, რომელიც ხელსაყრელია და აკმაყოფილებს მოცემულ საექსპლუატაციო პირობებს.

მაგალითად, რიგ შემთხვევებში სქელკედლა სადების ზიდვის უნარის გაზრდის მიზნით საკისრის სადებს აქვს გრძივი ჭრილი (ნახ. 10.1). ამგვარ საკისარს კვანძში ტემპერატურის მომატების დროს აქვს გაფართოების შესაძლებლობა, რითაც გამოირიცხება ლილვის გაჭეჭვა, მაგრამ ასეთმა საკისრებმა მაინც ვერ პოვა გამოყენების ფართო არე,

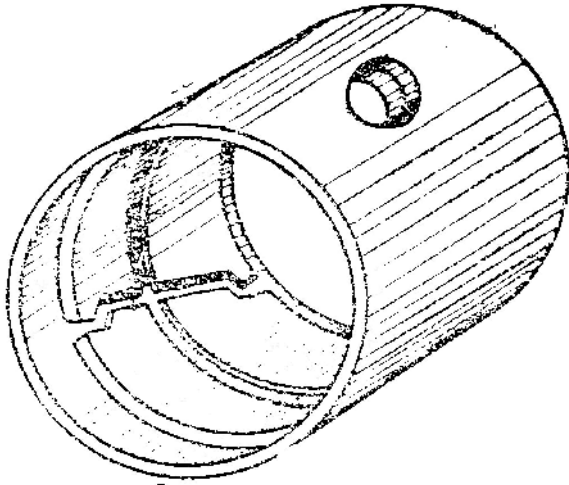
ვინაიდან ზიდვის უნარის ზრდა მცირეა, ხოლო კვანძი მთლიანობაში ნაკლებად კონსტრუქციულია.



ნახ. 10.1. გრძივჭრილიანი სრიალის საკისრის პოლიმერული სადები

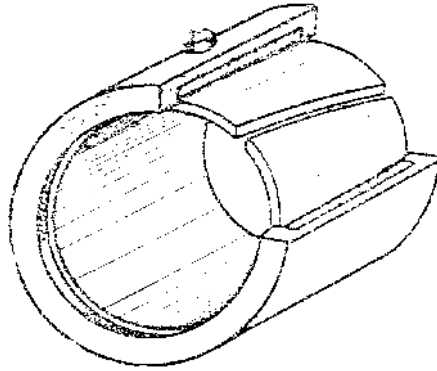
ცნობილია თხელკედლა საკისრის კონსტრუქცია (ნახ.10.2), რომელიც შედგება გარსაკრისაგან, რომელშიც ჩადგმულია თხელკედლა სადები საკომპესაციო ჭრილებით. ზომათა ცვლილების შემთხვევაში (გახურების ან სხვა ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად) სადები იწყებს გადაადგილებას, სრიალს გარსაკრის შიგა ზედაპირზე, რის შედეგადაც უცვლელი რჩება მისი შიგა დიამეტრი. აღნიშნული ტიპის საკისარს აქვს ნახვრეტი და რგოლისებრი ღარები შემზეთი მასალის მისაწოდებლად. ლითონური გარსაკრის სისქეა 1,6 მმ, ხოლო პოლიმერული სადების სისქე - 0,8 მმ. ასეთი საკისრის უარყოფითი მხარეა სადების არასაიმედო ჩაჭიდება გარსაკრავთან. შესაბამისად,

დინამიკური დატვირთვებისას იქმნება სადების გარსაკრავიდან აგლეჯის საშიშროება.



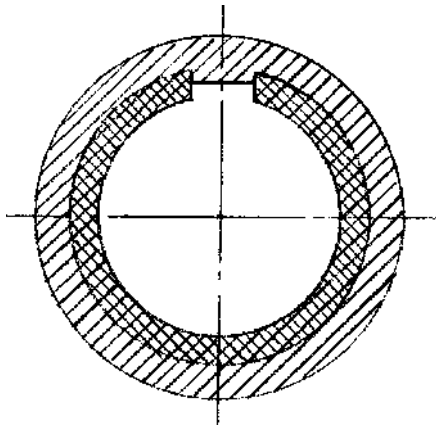
ნახ. 10.2. თხელკედლა სრიალის საკისარი

ასეთივე ნაირსახეობას მიეკუთვნება ღრეკადი საკისარი „კლეიფლექსი“, რომელიც კარგად „არბილებს“ლილვის გადახრებს, რაც განპირობებულია იმით, რომ პოლიმერული სადები ჩასმულია რეზინის გარსაკრში (ნახ.10.3.), ამასთან, სადების ჩამაგრება გარსაკრში ხდება სხვადასხვა ხეხრხებით. თუ სადები ჩამოისხმება უშუალოდ გარსაკრში, პოლიმერის ლითონთან ჩამაგრება ხორციელდება ადჰეზიის მეთოდით. მაგრამ კვანძის გახურებისას ხდება ძაბვების შესუსტება და სადები კარგავს ჩაჭიდულობის ძალას. შედარებით საიმედო ჩამაგრებად არის მიჩნეული გარსაკრის შიგა ზედაპირზე ხრახნის მოჭრა ან ღარების ამოღება.



ნახ. 10.3. დრეკადი საკისარი „კლეფლექსი“

კონსრუქცია (ნახ.10.4.) გამოირჩევა სიმარტივით. მასში სადების ფიქსაცია ხორციელდება გაჭრილი მილისის ტორსული ზედაპირის მიბრჯენით კორპუსის სასოგმანე შვერზე. ამასთან, სადების პირვანდელი ჭრილის (l_0) სიგანე ნაკლები უნდა იყოს სასოგმანე შვერის (l) სიგანეზე. ამიტომ სადები კორპუსის კედლებს მიეზვინება ჭექით. ჭექის სიდიდე განისაზღვრება $l-l_0$ სხვაობით.



ნახ. 10.4. სრიალის საკისარი სასოგმანე შვერით

ასეთი კონსტრუქციის უპირატესობაა დინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში მაღალი ზიდვის უნარი და სადების დამზადების შესაძლებლობა ბრტყელი პლასტმასოვანი ზოლურებისაგან. უარყოფითი მხარეა საკისრის შიგა დიამეტრის არასწორი გეომეტრია, ლითონის გარსაკრის დამზადების სირთულე სასოგმანე ღირის გამო. ყველა ზემოთ ნახსენები სრიალის საკისრების კონსტრუქციისათვის დამახასიათებელია ნაკლები საინჟინრო პრაგმატიზმი, რის გამოც მნიშვნელოვნად არის შეზღუდული მათი საინჟინრო გამოყენების არე.

მანქანათმშენებლობაში ხშირად იყენებენ ლითონის საკისრებს, რომელთა შიგა ზედაპირები მოპირკეთებულია პოლიმერის თხელი (0,05...0,5)მმ ფენით ამასთან, შესრულების ტექნოლოგიურ პროცესად გამოიყენება ფხვნილოვანი გაფრქვევა. პოლიმერული ფენის პატარა სისქის გამო ასეთი საკისრები კარგად ატარებენ სითბოს, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს პოლიმერული მასალის დენადობასა და მისი ზომების არასტაბილურობას, ზრდის მათ ზიდვის უნარს. მაგრამ, დინამიკური დატვირთვებისას და შეზღუდული შეხეთვის პირობებში საკისრის პოლიმერული ფენა ვერ უზრუნველყოფს საჭირო ჩაჭიდულობის ძალებს მასთან შეუღლებულ დატალთან.

პოლიმერული ფენის სისქე ასეთი შემთხვევისათვის განისაზღვრება ემპირიული ფორმულით

$$\delta = 0.0025 \cdot p \cdot d \cdot f, \quad (10.1)$$

სადაც δ პოლიმერის ფენის სისქეა, რომლის დასაშვები მინიმალური მნიშვნელობა $\delta_{min} = 0,2$ მმ.; f – ხახუნის კოეფიციენტი; p – კუთრი დაწნევა; d – ლილვის დიამეტრი.

როგორც ცნობილია, პოლიმერული მასალებს ახასიათებთ თბოგაფართოების მაღალი კოეფიციენტი. მუშაობის პროცესში

პოლიმერული სადები გახურების გამო მნიშვნელოვნად ფართოვდება, ვინაიდან იგი ჩაწნეხილია ლითონურ კორპუსში და, მამასადამე, გარე დიამეტრი ნაკლებად იზრდება. შესაბამისად, პოლიმერის გაფართოება იწვევს საკისრის შიგა დიამეტრის შემცირებას, რის შედეგადაც საკისარსა და ლილვს შორის ღრეჩო შეიძლება მთლიანად გაქრეს და საკისარი გაიჭექოს. ამიტომ პოლიმერულ საკისრებში ღრეჩოს სიდიდე მნიშვნელოვნად მეტი უნდა იყოს ლითონურთან შედარებით. მაგრამ გასათვალისწინებელია, რომ დიდი ღრეჩოს შერჩევასა ზდება ლილვსა და საკისარს შორის საკონტაქტო ფართობის შემცირება, რაც, თავის მხრივ, ფრიად არასასურველი მოვლენაა. იგი ზრდის კუთრ დაწნევას, ეს უკანასკნელი კი იწვევს საკისრის ინტენსიურ ცვეთასა და გადახურებას.

დღევანდელ პირობებში აქტუალურ საკითხად არის მიჩნეული საკისრებში ფერადი და ძვირად ღირებული ლითონების გამორიცხვა და მათი შეცვლა პოლიმერული მასალებით. აღნიშნული განსაკუთრებით დიდ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა დიდგაბარიტიან სრიალის საკისრებში.

ასეთ საკისრებში მინიმალური ღრეჩოს მიღწევა, რაც განსაკუთრებული მნიშვნელობის ამოცანაა მსხვილ ენერგეტიკულ დანადგარებში, კერძოდ, ჰიდრო- და თბოტურბინებში, შეუძლებელი ზდება ტრადიციული და ზემოთ მოყვანილი კონსტრუქციული გადაწყვეტების გამოყენების დროს. როცა ასეთი საკისრებისათვის დიამეტრული ღრეჩოს მინიმალურ მნიშვნელობად მიიღწევა დიამეტრის მხოლოდ 0,3...0,5%.

10.2. დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრები მოდულური ელემენტებით

მსხვილი ენერგეტიკული დანადგარების, მათ შორის, ჰიდროტურბინების, საყრდენი კვანძების მნიშვნელოვანი დამახასიათებელი ნიშან-თვისებაა მისი დიდი გაბარიტები. ამ ტიპის საყრდენი კვანძების, ისევე როგორც ბევრი სხვა ტრადიციული ტრიბოლოგიური სისტემების, ნორმალური ფუნქციონირება დიდად არის განპირობებული ანტიფრიქციული სადებების ხანგამძლეობით, ცვეთამდეგობით და დეფორმაციის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდით.

ტრიბოლოგიური სისტემების, განსაკუთრებით, დიდგაბარიტიანი, მაგ., ჰიდროტურბინების სრიალის საკისრების წარმატებით გამოყენების მნიშვნელოვანი ფაქტორია სადებების მასალის თვითღირებულება და ტექნოლოგიურ დამუშავებაზე გაწეული დანახარჯების მოცულობა. აღნიშნულ კვანძებში საკისრის სადებებს ტრადიციულად ამზადებენ ბაბიტიისაგან, რომელიც ამჟამად ძვირად ღირებულ და დეფიციტურ მასალად ითვლება. გარდა ამისა, ტრადიციული ბაბიტური საკისრის დამუშავება, კერძოდ, შიგარხვა დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრის დამზადებისას გარკვეულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამასთან, აღნიშნული შენადნობის სადებები საკმაოდ მგრძობიარეა აწყობის უზუსტობებზე, განსაკუთრებით, თხელი ანტიფრიქციული ფენის შემთხვევაში, რის შედეგადაც მუშაობის დროს ხდება კონტაქტური დატვირთვების მკვეთრი ზრდა, რაც, თავის მხრივ, მუშაობის პროცესში იწვევს ცვეთის ინტენსიურობას.

ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების მშენებლობის პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ რეზინის რგოლისებრ საკისარს, რომლის ძირითადი დადებითი თვისებებია: შემწვით მასალად შეიძლება და

მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს წყალი, აქვს მცირე თვითღირებულება. უარყოფითი მხარეა მცირე სიდიდის ცვეთამდეგობა, რადიალური მიმართულებით დაფორმირების მნიშვნელოვანი სიდიდე და სირთულეები დიდი გაბარიტის რეზინის რგოლისებრი სადების დამზადების პროცესში. კერძოდ, ვულკანიზაციის დროს აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს ნამატი, რომელიც უნდა დამუშავდეს შიგარხვით კარუსელურ ჩარხზე საჭირო ზომის მისაღებად შეუღლებული ლილვის ზომის შესაბამისად. სწორედ ეს ფენა, რომელიც ხასიათდება საკისრის ექსპლუატაციის პირობებისათვის რიგი საუკეთესო თვისებებით - სიმტკიცითა და ცვეთამდეგობით და იგი შექმნილია ანტიფრიქციული სადების მიერ ვულკანიზაციის პროცესში. ამასთან, ექსპლუატაციის პროცესში რეზინის დიდი დრეკადობის გამო დიდია სადების დეფორმაცია, რაც იწვევს ლილვის ცემის მნიშვნელობის მატებას, ხოლო უკანასკნელი, ბუნებრივია, უარყოფითად მოქმედებს ხახუნის კვანძისა და მთელი მოწყობილობის სხვა ელემენტების ხანგამძლეობაზე.

სტუ-ში შემუშავებული იქნა დიდგაბარიტიანი საყრდენი კვანძის ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტა*, სადაც სრიალის საკისრის მზიდი ლითონური ნახევარგოლი ხისტი დეტალია, ხოლო მუშა ზედაპირი – ანტიფრიქციული მასალისაგან დამზადებულ მოდულურ ელემენტთა სიმრავლე. ამასთან, მათი ტორსული ნაწილი წარმოადგენს ხახუნის მუშა ზედაპირს და, შესაბამისად, ლილვთან კონტაქტში იმყოფება მხოლოდ მოდულური ელემენტები. შემოთავაზებული ტრიბოლოგიური სიტემის ხახუნის კვანძი შედგება საკისრის ლითონის კორპუსისაგან -1

* ნაციონალური ცენტრის „საქპატენტის“ მიერ მ. შილაკაძის და ზ. ქაშიაშვილის სახელზე გაცემულია პატენტი 2001 №2502 .

(ნახ.10.5.), რომელშიც ჩასმულია ორი ლითონის ნახევარგოლი - 2. თავის მხრივ, ნახევარგოლები დახვეტილია რადიალურად, რომლებშიც ჩაწნეხილია ანტიფრიქციული მასალისაგან დამზადებული ელემენტები -3.

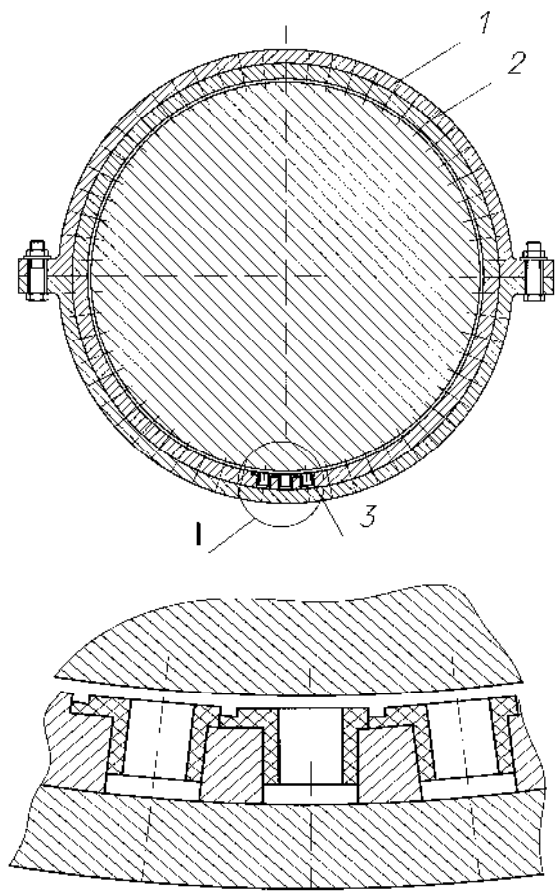
მუშა ელემენტის ტორსული ზედაპირი ლითონური ნახევარგოლის შიგა ცილინდრული ზედაპირის მიმართ ამოწეულია 0,15...0,3 მმ-ით, ხოლო ელემენტის ორთოგონალური გადაწყვეტის დროს ელემენტის მუშა ზედაპირის ცენტრის აწევის დონე ნახევარგოლის შიგა ცილინდრული ზედაპირიდან განისაზღვრება კონსტრუქციულად გეომეტრიული პარამეტრების, კერძოდ, შიგა დიამეტრისა და ანტიფრიქციული ელემენტის დიამეტრის ზომის მიხედვით.

შემოთავაზებული კონსტრუქცია შეიძლება ორ ვარიანტად იქნეს შესრულებული:

ა) საკისრის მუშა ზედაპირი გაჩარხულია და აქვს ცილინდრული პროფილის სახე;

ბ) საკისრის მუშა ზედაპირი არ იჩარხება, იგი არის მოღულური ელემენტების ტორსულ ზედაპირთა სიმრავლე.

აღწერილი ტიპის საკისრების გამოყენების შემთხვევაში მასში საკომპესაციო არეთა გათვალისწინებით შესაძლებელია დიამეტრული ღრეჩოს უმცირესი მნიშვნელობის მიღწევა – 0,02...0,03%-ის ფარგლებში.



ნახ. 10.5. დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისარი
 1 – საკისრის კორპუსი; 2 – ლითონის ნახევარგოლი;
 3 – მოდულური ელემენტი

XI თავი

მასალები ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის

უმრავლეს შემთხვევაში ტრიბოსისტემებში მოხაზუნე ზედაპირთაგან ერთ-ერთი დეტალი ლილვის ან ღერძის სახელწოდებით, მზადდება ნახშირბადიანი ფოლადისაგან (იშვიათად – თუჯისაგან). ვინაიდან ტრიბოლოგიური სისტემების კონსტრუირების პროცესში ლილვის (ღერძის) მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები უკვე განსაზღვრულია მისი სიმტკიცისა და დეფორმირების პირობიდან, კონსტრუქტორის შესაძლებლობები ძირითადად საკისრის სადების შერჩევით შემოიფარგლება. მიუხედავად ჩვენს ხელს არსებული ექსპერიმენტული მონაცემების სიმრავლისა, აღნიშნული საკითხის ოპტიმალური გადაწყვეტა საჭიროებს ამ სფეროში კონსტრუქტორის გარკვეულ, სპეციალურ საინჟინრო და მეცნიერულ მომზადებას. ამასთან, ბუნებრივია, კონსტრუქციული გაანგარიშებანი მჭიდროდ არის დაკავშირებული სადების მასალის ფიზიკურ-მექანიკურ მაჩვენებლებთან. ძირითადი მოთხოვნები, რომელებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს სასაკისრე მასალა, მოყვანილია ქვემოთ.

უპირველესი მოთხოვნა, რასაც უნდა აკმაყოფილებდეს სასაკისრე მასალა და რაც უზრუნველყოფს საიმედოობის მაღალ მაჩვენებელს, მისი ანტიფრიქციული თვისებებია. თავის მხრივ, მასალის ანტიფრიქციული თვისებები გულისხმობს:

- უმცირეს ხაზუნის კოეფიციენტს კონტრსხეულთან;
- მაღალ ცვეთამდეგობას;
- კონტრსხეულის მინიმალური ცვეთის უზრუნველყოფას.

ამას გარდა, სასაკისრე მასალები უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

სასაკისრე მასალების მექანიკურმა მაჩვენებელმა (დასაშვები კონტაქტური ძაბვა, ფარდობითი დეფორმაცია) უნდა უზრუნველყოს დეტალის ფუნქციონირება დატვირთვის მოქმედების პროცესში;

- დასაშვები ტემპერატურა უნდა იყოს არანაკლებ $80...85^{\circ}\text{C}$ -ისა;
- სადების მოხაზუნე ზედაპირის მუშა დიამეტრის შემცირებამ ტემპერატურისა და გარემოს სინესტის ზემოქმედების შედეგად ვერ უნდა იმოქმედოს საკისრების მუშაობის უნარზე მაშინაც კი, როცა ხაზუნის კვანძის ასაწყობი დიამეტრული ღრეჩო არ აღემატება 0,1...0,2 მმ-ს;
- ჰქონდეს შემზეთი მასალებით კარგად დასველების უნარი;
- ხასიათდებოდეს კოროზიამდეგობით;
- ჰქონდეს დაბალი დრეკადობის მოდული;
- მასალის ზედაპირული სტრუქტურა უნდა უზრუნველყოფდეს „დადებით გრადიენტს“;
- უნდა ჰქონდეს კარგი მიმუშავების და „ხაზოვანი“ წნევების გადანაწილების უნარი, რომელიც პრაქტიკაში წარმოიქმნება გადაცერების შედეგად დეფორმაციებისა და უზუსტობის მიზეზით;
- ტრიბოლოგიურ სისტემაში შემთხვევითი და ცვეთის პროდუქტების მოხვედრა მკვეთრად არ უნდა ცვლიდეს მუშაობის უნარის მაჩვენებლებს;
- ჰქონდეს კარგი ტექნოლოგიური თვისებები – უნდა მუშავდებოდეს პროგრესული მეთოდებით – წნევითი ჩამოსხმით, დაწნევით, დაყალიბებით, კარგად მუშავდებოდეს მექანიკურად და ა. შ.
- არ იყოს დეფიციტური და მაღალი ღირებულების.

ზემოთ მოყვანილი მოთხოვნების შესრულება უზრუნველყოფს, უპირველესად, ტრიბოლოგიური სისტემის და შემდეგ მთელი მანქანის თვითღირებულების შემცირებას. გარდა ამისა, ისინი განაპირობებენ მანქანის საიმედოობის, კერძოდ, ხანგამძლეობის, უმტყუნობის, სარემონტოდ ვარგისობის და შენახვის უნარს მაჩვენებლების ამაღლებას.

სასაკისრე ანტიფრიქციული მასალები, ანუ მასალები, რომელებიც აკმაყოფილებენ ზემოთ მოყვანილ მოთხოვნებს, შეიძლება დაიყოს შემდეგ ჯგუფებად:

1. ფერადი ანტიფრიქციული შენადნობები – ბრინჯაო, ბაბიტი, თუთიანი და ალუმინიანი შენადნობები.
2. ანტიფრიქციული თუჯი.
3. ლითონკერამიკული (ფხვნილოვანი) მასალები.
4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები) – პოლიამიდები, პოლიაცეტალები, პოლიტეტრაფთორეთილენი, პოლიკარბონატი.
5. სხვა არალითონური მასალები – ხე, მერქანშრეული პლასტიკები, რეზინი, გრაფიტი.
6. ახალი თვითზეთვადი, ანტიფრიქციული, თბომედი, პოლიმერული კომპოზიციები.

სასაკისრე მასალების ნომენკლატურა ყოველწლიურად მდიდრდება ახალ-ახალი მასალებით.

11.1 ფერადი ანტიფრიქციული შენადნობები

ბრინჯაო. არსებობს ბრინჯაოს სასაკისრე მთელი გამა. მათგან ყველაზე გავრცელებული სახეა უნივერსალური თვისებების მქონე კალიანი ბრინჯაო. კერძოდ, ფართოდ არის ცნობილი კალაფოსფორიანი ბრინჯაო BrO10P1 (გამოიყენება, როცა $(p \cdot V)_p < 15$ მპა.მ/წმ). კალიანი

ბრინჯაოს ნაკლად ჩაითვლება ის, რომ შეიცავს კალას მნიშვნელოვანი რაოდენობით, რაც ზრდის მის თვითღირებულებას. ამასთან, კალიანი ბრინჯაო მექანიკური მაჩვენებლებით ჩამოუვარდება ბრინჯაოს ზოგიერთ სახეს, მაგალითად, ტყვიანსა და ალუმინიანს.

დიდი ნიშანცვლადი და დინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში, კერძოდ, შიგაწვის ძრავის, დგუშიანი კომპრესორების, ტუმბოების სრიალის საკისრებისათვის იყენებენ ტყვიან ბრინჯაოს - BrCu30 (გამოიყენება, როცა $(p \cdot V) < 30$ მპა. მ/წმ). ამ სახის ბრინჯაოს უპირატესობაა დარტყმითი სიბლანტის მაღალი მაჩვენებელი. ნაკლად ითვლება ის, რომ ზოგიერთი დაჟანგული ზეთი იწვევს მის კოროზიას. აგრეთვე ტყვიანი ბრინჯაოს სადები მეტ მოთხოვნებს უყენებს სატაცის ზედაპირულ სისალეს – აუცილებელს ხდის სატაცის წრთობას. წინააღმდეგ შემთხვევაში ინტენსიურად ცვდება ლილვის სატაცი. ტყვიის შემცველობის გაზრდა (შესაძლებელია 35 %-მდე) ამცირებს ცვეთას.

ვართოდაა ცნობილი და აგრეთვე გამოიყენება კალათუთიატყვიანი ბრინჯაოები - $\text{Br}_p\text{O}_4\text{Cu}_{17}\text{C5}$ და $\text{Br}_p\text{O}_4\text{Cu}_{17}\text{C5}$ (გამოიყენება, როცა $(p \cdot V)_p < 15$ მპა.მ/წმ).

ბაბიტი შეიქმნა გასული საუკუნის 40-იან წლებში ამერიკელი გამოგონებლის ი. ბაბიტის მიერ. ბაბიტები მაღალხარისხოვანი შენადნობებია, რომლებიც შეიძლება ძლიერ განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან თავისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით და ქიმიური შემადგენლობით. მაგრამ ყველა მათგანს აერთებს ის თვისება, რომ მათი საფუძველი, შემგესებია რბილი მასალები – ტყვია ან კალა. ხოლო მკვრივ, ჩანართ მარცვლებად იყენებენ სტიბიუმს, ტუტე ლითონებს, სპილენძს და სხვა მასალებს. შედეგად რბილი საფუძველი უზრუნველყოფს კარგ მიმუშავების უნარს, ხოლო მკვრივი - ცვეთამდეგობას.

ბაბიტები ხასიათდებიან უფრო მაღალი ანტიფრიქციული თვისებებით, ვიდრე სხვა ანტიფრიქციული შენადნობები, მაგრამ აქვთ დაბალი მექანიკური სიმტკიცე, ვიდრე თუჯს, სპილენძს. ბაბიტები გამოიყენა საღებების მუშა ზედაპირების თხელი ფენით დაფარვისათვის, რათა თავიდან იქნეს აცილებული განსაკუთრებით მანქანის გაშვების და გაჩერების დროს კვანძის, კონტრსხეულის ინტენსიური ცვეთა და ამოგლეჯვები.

ბაბიტოვანი ზედაპირები, განსაკუთრებით, კალის დიდი შემცველობით იწვევენ სატაცის მხოლოდ მცირე ცვეთას და ნაკლებად მგრძობიარენი არიან უკანასკნელის ზედაპირული სისაღის და სიმქისის მიმართ.

აღნიშნული თვისებების გამო ბაბიტების გამოყენების სფეროებია:

დიდი ნორმალური დატვირთვისა და მაღალი სიჩქარის სრიალის საკისრები შიგაწვის და დიდი სიმძლავრის (750კვტ) ელექტროძრავებისათვის, ორთქლის ტურბინებისათვის, როცა $(p \cdot V)_p < 25 \dots 35$ მპა. მ/წმ (ბაბიტები კალის დიდი შემცველობით - Б83, Б89, БН).

ასევე დიდი დატვირთვის კომპრესორების, ცენტრიდანული ტუმბოების, ელექტროძრავების, რელუქტორების, ჯალამბრების, ბურთულეებიანი წისქვილების და მღოვრე დატვირთვების მქონე მანქანების სრიალის საკისრები, როცა $(p \cdot V)_p < 5 \dots 10$ მპა. მ/წმ (ბაბიტები კალისა და ტყვიის შემცველობით - Б16, Б6).

ვაგონების ბუქსები, საგლინი დგანები და ლითონმჭრელი ჩარხების სრიალის საკისრები, როცა $(p \cdot V)_p < 6$ მპა. მ/წმ-ზე (უკალო ბაბიტები - БК2, БК).

თუთიანი შენადნობები. საკმაოდ ხშირად გამოიყენება მანქანა-მექანიზმებში თუთია- ალუმინ-სპილენძის შენადნობები ЦАМ10-5 (10% ალუმინი, 5% სპილენძი, დანარჩენი თუთია) და ЦАМ10-1,5, რომლებიც ხასიათდებიან საკმაოდ მაღალი ანტიფრიქციული თვისებებით. თავისი ეკონომიკურ-ტექნოლოგიური თვისებების გამო მათ Б 16 ტიპის ბაბიტებისა და ბრინჯაოს მაგივრად იყენებენ.

უარყოფითი მხარეა – ცუდი მიმუშავების უნარი, დაბალი დასაშვები მუშა ტემპერატურა (80 °C), შედარებით მაღალი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი.

ალუმინიანი შენადნობები. ცნობილია შენადნობი АСМ (3,5...4,5% სტიბიუმი, 0,3...0,7% სპილენძი, დანარჩენი ალუმინი). გამოიყენება БрЦ30 შემცვლელად ტრაქტორის ძრავებში. მგრძობიარეა ზეთის გაჭუჭყიანებისადმი, აქვს მაღალი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი.

სხვებთან ერთად პერსპექტიულ ანტიფრიქციულ მასალადაა მიჩნეული ალუმინიან-კალიანი შენადნობები, რომლებიც ხასიათდებიან კარგი ანტიფრიქციული თვისებებით. ცნობილია ამ ჯგუფის შენადნობების ტიპები: А09-1 (9%-კალა, 1%- სპილენძი, დანარჩენი ალუმინი), А09-2, А020-1. მათ წარმატებით იყენებენ მძიმე ტრაქტორების, თბომავლების და გემების შიგაწვის ძრავების სრიალის საკისრებში, ამასთან, აქვთ უნარი შეზღუდული შეზეთვის პირობებში კონტრსხეულზე წარმოქმნან დამცავი, სერეოვიტული აფსკი კალისაგან, რაც, თავის მხრივ, დადებით გრადიენტის წინაპირობაა.

თითბერი წარმოადგენს სპილენძისა და თუთიის ბაზაზე სხვა მალეგირებელი ელემენტების დამატებით შექმნილ შენადნობს. თითბერს ზოგჯერ იყენებენ ბრინჯაოს შემცვლელად, მაგრამ ანტიფრიქციული

თვისებებით და სიმტკიცით მნიშვნელოვნად ჩამოუვარდება მას. ამიტომ იგი კალიანი ბრინჯაოს მაგივრად შეიძლება გამოვიყენოთ მცირე და საშუალო სრიალის სიჩქარეების დროს, როცა $(p \cdot V)_p < 10$ მპა. მ/წმ, მაგალითად, ტრანსპორტიორებზე, როლგანგებზე, კონვეიერებზე, მსხვრეკარებზე, ამწებზე.

112. ანტიფრიქციული თუჯი

ანტიფრიქციული თუჯი გამოიყენება საშუალოდ დატვირთული (დარტყმების გარეშე) ნელა მავალი სრიალის საკისრებისათვის. ანტიფრიქციული თუჯის სადებიანი სრიალის საკისრების ხანგამძლეობის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია ზოგიერთი სპეციალური ტექნიკური ღონისძიების გატარება, რომელთა შორის შეიძლება გამოიყოს:

- ტექნიკურ-კონსტრუქციული ღონისძიებანი, რომლებიც თითქმის მთლიანად გამორიცხავენ გადაცერებას;
- ღრწოს გადიდება ბრინჯაოს სადებების გამოყენებასთან შედარებით 15...30%-ით საშუალო ტემპერატურული რეჟიმის დროს;
- თანმიმდევრული მიმუშავება ხანგრძლივი პერიოდის მანძილზე;
- ხარისხოვანი შემზეთი მასალის განუწყვეტელი მიწოდება;
- მოხაზუნე წყვილი უნდა შეირჩეს იმგვარად, რომ ლილვის სატაცის სისალის მაჩვენებელი მეტი უნდა იყოს საკისრის სადებზე 20...40 HB-თი.

ანტიფრიქციული თუჯის უმთავრესი დადებითი თვისებაა მისი მცირე თვითღირებულება.

სრიალის საკისრებში გამოიყენება შემდეგი მარკის ანტიფრიქციული თუჯები: 4C1, 4C2, 4C3, 4C4, 4C5, 4C5, 4C6.

11.3. ლითონკერამიკული (ფხვნილოვანი) მასალები

ლითონკერამიკული მასალების საფუძველი უმრავლეს შემთხვევაში არის რკინის ან სპილენძის ფხვნილი. სრიალის საკისრების სადებებს და მილისებს ამზადებენ ან სუფთა ლითონის ფხვნილისაგან, ან ფხვნილისა და მისართისაგან (კალა, გრაფიტი და სხვ.). ამასთან, ტექნოლოგია ხორციელდება შემდეგი პარამეტრებით: დაწნევის ხვედრითი წნევა $p=700\text{მპა}$, შეცხოვის ტემპერატურა $850-1100^{\circ}\text{C}$. ასეთი ტექნოლოგიით დამზადებული დეტალების ფორიანობა საწყისი ფხვნილის დანამცეცების და ტექნოლოგიური პარამეტრების მიხედვით იცვლება ზღვრებში $15...35\%$. ბუნებრივია, დეტალის ფორიანობის მომატებით მცირდება მექანიკური სიმტკიცე. შესაბამისად გათვალისწინებული უნდა იქნეს ის, რომ იქ, სადაც არის დარტყმითი დატვირთვები, ფორიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 20% . ამასთან, არაა მიზანშეწონილი ასეთი დეტალების მექანიკური გზით გაჩარხვა ფორების ამოქოლების საშიშროების გამო, დასაშვებია მხოლოდ დაკალიბრება. შემდგომ ეტაპზე ხდება მზა დეტალების კონსისტენტური თუ თხევადი შემზეთი მასალებით გაჟლინთვა (ხშირად სრიალის საკისარს აკომპლექტებენ საზეთი პატრუქით). მილისას კორპუსში ჭექით ათავსებენ, რაც იწვევს შიგა დიამეტრის ჭექის $0,6...0,9$ ნაწილით შემცირებას.

ლითონკერამიკული მილისებრი ან სადებები გამოიყენება ტრანსპორტიორების, ტუმბოების, როლგანგების, სოფლის მეურნეობის და სხვა მანქანების ისეთ სრიალის საკისრებში, სადაც შემზეთი მასალის მიწოდება გაძნელებულია.

ბრინჯაოგრაფიტოვანი საკისრებისათვის ($9...10\%$ - კალა, $1...4\%$ - გრაფიტი, დანარჩენი სპილენძი), როცა ფორიანობა $20...25\%$ -ია, დასაშვებია წნევა სხვადასხვა სრიალის სიჩქარეებისათვის შემდეგია:

V , მ/წმ . . . 0,1 0,5 1,0 2 3 4,
 p , მპა . . . 15 6 5 4 3 1,

ხოლო იმავე ფორიანობის რკინაგრაფიტოვანი (1...3% გრაფიტი, დანარჩენი რკინა) საკისრებისათვის:

V , მ/წმ . . . 0,1 0,5 1,0 2 3 4,
 p , მპა . . . 20 7 6,5 5,5 3,5 0,8.

11.4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები)

სინთეტიკური პლასტმასებიდან ტრიბოლოგიურ სისტემებში ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული თერმოპლასტები, მათ შორის, სხვადასხვა მარკის პოლიამიდები, პოლიაცეტალები, პოლიკარბონატები და სხვა მასალები. მათთვის ზოგადად დამახასიათებელია ისეთ თვისებათა ერთობლიობა, როგორიცაა:

- მცირე სიმკვრივესთან ერთად მაღალი მექანიკური სიმტკიცე;
- კარგი ანტიფრიქციული თვისებები;
- შეზღუდული შეზეთვის პირობებში მედეგობა ამოგლეჯვებისათვის;
- გამხსნელებისადმი და აგრესიული აგენტებისათვის მაღალი ქიმიური მედეგობა;
- წყლის შემზეთ მასალად გამოყენების შესაძლებლობა;
- კარგი დემპფირების უნარი და მაღალი სიმტკიცე დატვირთვებისადმი;
- მაღალი ელასტიურობის მაჩვენებელი;
- აბრაზიულ გარემოში მუშაობის კარგი უნარი.

მნიშვნელოვან უპირატესობად ითვლება ის გარემოებაც, რომ დიდი უმრავლესობა ანტიფრიქციული სინთეტიკური პლასტმასებისა, მათ შორის,

ძირითადი ჯგუფი - თერმოპლასტები გადამუშავებიან ნაკეთობად კონსტრუქციული მასალებისათვის ყველაზე პროგრესული ტექნოლოგიური მეთოდებით: წნევითი ჩამოსხმით, ექსტრუზიით, ცენტრიდანული ჩამოსხმით. გარდა ამისა, ისინი კარგად მუშავებიან მექანიკურად, უმრავლესობა კარგად დულდება და წებდება.

სრიალის საკისრები ან ზოგადად ტრიბოლოგიური სისტემები ანტიფრიქციული პოლიმერული სადებებით განსაკუთრებით ეფექტურად გამოიყენებიან შეზეთვის გარეშე და შეზღუდული შეზეთვის პირობებში. ამიტომ მოხაზუნე ზადაპირების დამზადება ზემოთ აღნიშნული მასალებისაგან განსაკუთრებით მიზანშეწონილია იქ, სადაც შეზეთვა დაუშვებელია ამა თუ იმ ნორმებით (კვებისა და მსუბუქი მრეწველობის დანადგარების ტრიბოსისტემები) და როცა შეზეთვა გაძნელებულია ან გარემო აბრაზიულია (სამშენებლო და საგზაო მანქანები).

ლითონებისა და მისი შენადნობებისაგან განსხვავებით, ანტიფრიქციული თერმოპლასტები და სხვა პოლიმერული მასალები ხასიათდებიან სპეციფიკური მაჩვენებლებით, რომლებიც რიგ შემთხვევაში ფასდება როგორც უარყოფითი თვისებები:

- დაბალი დრეკადობის მოდულით;
- მაღალი საზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტით;
- ლითონებთან შედარებით მეტად დაბალი თბოგამტარობის კოეფიციენტით;
- ჰიგროსკოპულობით;
- დეტალის დამზადების პროცესში ჩაჯდომის ხარისხის არასტაბილურობით;
- ნაკლები დატვირთვის უნარით.

საერთო, ყოველმხრივი ანალიზის საფუძველზე ანტიფორტიციული სინთეტიკური პლასტმასები ხასიათდებიან როგორც სრულფასოვანი და პერსპექტიული სასაკისრე მასალები. შესაბამისად, პლასტმასები სულ ახალ-ახალ პოზიციებს იკავებენ მანქანათმშენებლობაში - მათი ფართო გამოყენება ქვეყნის ეკონომიკაში ხელს უწყობს მანქანა-დანადგარების ტექნიკური სრულყოფისა და ეკონომიურობის ამაღლებას, როგორც დამზადების, ისე ექსპლუატაციის პროცესში.

პლასტმასის სასაკისრე მასალების საბაზო პოლიმერებია: პოლიამიდები, პოლიაცეტალები, პოლიტეტრაფთორეთილენი, პოლიკარბონატები. შესაბამისად, მათ ბაზაზე შექმნილი მრავალი სასაკისრე მასალა, კომპოზიცია ფართოდ გამოიყენება მანქანათმშენებლობაში.

პოლიამიდები გამოშვებული ნომენკლატურისა და მოცულობის მიხედვით დღეისათვის ყველაზე გავრცელებული ანტიფორტიციული თერმოპლასტიკური მასალებია.

პოლიამიდების უმნიშვნელოვანესი დადებითი თვისებებია მცირე ხახუნის კოეფიციენტი და მაღალი ცვეთამდეგობა. განსაკუთრებით ხელშესახებია ეს უპირატესობა ლითონურ შენადნობებთან შედარებით მშრალი ხახუნის დროს, როცა ისინი ზოგჯერ 10-ჯერ აჭარბებენ ბრინჯაოს ცვეთამდეგობას. ტრიბოლოგიურ სისტემაში შემზეთი მასალის შეტანით ეს უპირატესობა მცირდება, თუმცა პოლიამიდები შეზეთვის პირობებშიც ინარჩუნებენ უპირატესობას ამ მაჩვენებლის მიხედვით.

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ეკონომიურ სივრცეში ყველაზე გავრცელებული პოლიამიდებია: პოლიამიდ 6 (სამომხმარებლო მარკები – PA6-210; PA6-211) და პოლიამიდ 66 (PA66).

განსხვავებული გავრცელების სფეროები აქვთ ბლოკურ პოლიამიდ 6-ს (კაპროლონ B) და ბლოკურ პოლიამიდ 12-ს (დეკლონი). ისინი

ნაკეთობად გადაამუშავდებიან მხოლოდ მექანიკური დამუშავების გზით, რაც დეტალების მცირე რაოდენობით საჭიროების დროს და მსხვილგაბარტიანი ნაკეთობის დამზადებისათვის ფრიად მოხერხებულ მეთოდია (ნაკეთობის დამზადება ტექნოლოგიური მოწყობილობის გარეშე);

პოლიამიდების ზემოაღნიშნული ტიპებისათვის დამახასიათებელია ტენის შთანთქმის მაღალი მაჩვენებელი, რასაც, როგორც ცნობილია, თან სდევს ხაზობრივი ზომების შეცვლა. უკანასკნელი განსაკუთრებით საშიში მოვლენაა მოხახუნე შეუღლებული ზედაპირებისათვის, როცა შესაძლებელია საგარანტიო ღრეჩოს გაქრობა. უკანასკნელი კვანძის მუშაობის უნარის დაკარგვას იწვევს.

რაც შეეხება პოლიამიდებს 11, 12, 6.10, ისინი ნაკლებად მგრძობიარენი არიან ნესტისადმი, რაც მათ დიდ უპირატესობას აძლევს ზემოხსენებული ჯგუფის მიმართ. მაგრამ პოლიამიდების ეს ჯგუფი რამდენიმეჯერ უფრო ძვირია, ვიდრე პოლიამიდ 6, ამასთან, დამზადებისათვის საჭიროებს დეფიციტურ ნედლეულს.

პოლიამიდები, ისევე როგორც სხვა ანტიფრიქციული თერმოპლასტები, ადვილად ეგუებიან აბრაზიულ გარემოს. ამასთან, საჭიროა აღინიშნოს, რომ მათ შორის საუკეთესო მაჩვენებლით ამ საკითხში ხასიათდება პოლიამიდ 6.

პოლიამიდები ბევრად ნაკლებად ცვეთავენ ლილვის სატაცს, ვიდრე ფერადი შენაღობები. გამონაკლისი მხოლოდ ის პოლიამიდებია, რომელთაც მისართად მინის ბოჭკოები აქვთ გამოყენებული.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების ნაადრევად მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი უმრავლეს შემთხვევაში ხახუნის ზონაში ტემპერატურის გადაჭარბებაა. შედეგად მოხახუნე ზედაპირი ერთ

შემთხვევაში ნახშირდება (თერმორეაქტიული მასალა), ხოლო მეორე შემთხვევაში დნება (თემოპლასტიკური მასალა). ორივე შემთხვევაში მუშა მდგომარეობას ინარჩუნებს მეორე მოხაზუნე ზედაპირი – კონტრასხეული (ლილვის სატაცი), რაც, ბუნებრივია, ამარტივებს კვანძის გარემონტების საკითხს. ეს მომენტი პლასტმასოვანი საკისრების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა ლითონურთან შედარებით.

პოლიმერული მასალების სპეციფიკური მხარე და მასთან ერთად ნაკლია ის, რომ ტემპერატურის მომატება აუარესებს როგორც მექანიკურ მაჩვენებლებს, ისე ხაზუნის კოეფიციენტსა და ხვედრით ცვეთამდეგობას.

ამ მიზეზის გამო სასაკისრე პოლიმერული მასალების მაჩვენებლების გაუმჯობესების გზაზე მონიშნულია სამი მთავარი მიმართულება:

პირველი – ხაზუნის კოეფიციენტის შემცირება;

მეორე – თბოგამტარობის კოეფიციენტის გადიდება;

მესამე – სიმტკიცის მექანიკური მაჩვენებლების გადიდება.

სრიალის საკისრების პლასტმასოვანი საღებების ამა თუ იმ საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესებისათვის საბაზო ნედლეულს უმატებენ სხვადასხვა სახის მისართებს. მაგალითად, ძირითადი ანტიფრიქციული მაჩვენებლების (ცვეთამდეგობის, ხაზუნის კოეფიციენტის) ამაღლებისათვის გამოიყენება გრაფიტი, მოლიბდენის დისულფიდი, ტალკი; სიმტკიცის მაჩვენებლებისათვის - მინის ბოჭკო; ხოლო თბოგამტარობის გადიდებისათვის - ლითონური ფხენილები, მინის და ნახშირის ბოჭკოები.

პოლიამიდების გადამუშავება ნაკეთობად ხდება ყველაზე პროგრესული მეთოდებით: წნევეითი ჩამოსხმით, ექსტრუზიით, გაფრქვევით და ცენტრიდანული ჩამოსხმით.

პოლიამიდურ სადებებიანი საკისრებისათვის შეზღუდული შეხეთვის პირობებში ($p \cdot V$) პარამეტრის ზღვრული მნიშვნელობაა $(p \cdot V)_p = 0,08$ მპა·მ/წმ.

პოლიაცეტალეზი (პოლიფორმალდეჰიდები) მოთეთრო-მოყვითალო ფერის თერმოპლასტიკური ანტიფრიქციული პოლიმერებია. საბჭოთა კავშირის ეკონომიკურ სივრცეში ძირითადად ცნობილი იყო პოლიაცეტალის ორი მარკა: CFD და CTD, რომლებიც საექსპლუატაციო თვისებებით ცოტათი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.

პოლიაცეტალეზი ითვლებიან ერთ-ერთ საუკეთესო ანტიფრიქციულ მასალებად. გამოირჩევიან ზომების სტაბილურობით, ნაკლებად აქვთ გამოხატული ცივდენადობის მოვლენა, აქვთ მაღალი სიმტკიცის მაჩვენებლები, მათ შორის, კონტაქტურ დაბეჭედებზე და ბოლოს, გამოირჩევიან შედარებით მაღალი ცვეთამდეგობით და დაბალი ხახუნის კოეფიციენტით (ნახ. 11.1).

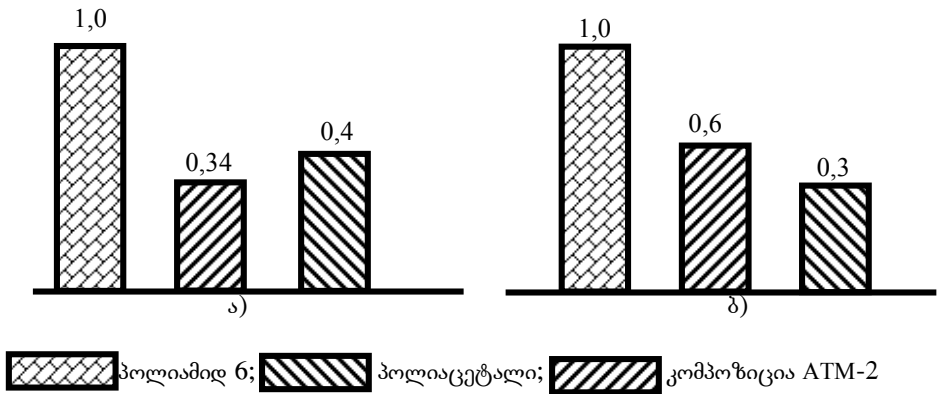
ნაკლოვანი მხარეა პოლიაცეტალეზის ცუდად მუშაობა აბრაზიულ გარემოში პოლიამიდებთან შედარებით.

პოლიაცეტალეზი დეტალეზად გადამუშავდებიან წნევით ჩამოსხმით და ექსტრუზიით (გადამუშავების პროცესი პოლიამიდებთან შედარებით გარკვეული სირთულით ხასიათდება).

პოლიაცეტალეზის სადებებისათვის შეზღუდული შეხეთვის პირობებში პარამეტრი $(p \cdot V)_p = 0,1$ მპა·მ/წმ.

პოლიტეტრაფთორეთილენი (ფთოროპლასტი 4). ამ

სახელების მატარებელი სინთეტიკური პოლიმერი სუფთა სახით ხასიათდება ყველაზე დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი (0,04...0,06) და უაღრესად მაღალი ქიმიური მედეგობით გამხსნელებისადმი, რის გამოც მას



ნახ. 11.1. ფარდობითი ცვეთის დიაგრამა თერმოპლასტიკებისათვის ($V=0,9$ მ/წმ):
 ა) ხასუნის შეზეთვის გარეშე; ბ) პერიოდული შეზეთვის დროს ($t_{\text{ა}}=40^{\circ}\text{C}$)

„პლასტმასების ოქროსაც“ უწოდებენ. გარდა ამისა, ფთოროპლასტი 4 (პოლიტეტრაფთორეთილენის ყველაზე გავრცელებული მარკაა) გამოირჩევა დიდი მუშა ტემპერატურული დიაპაზონით $-200...+300^{\circ}\text{C}$.

ფთოროპლასტიკებისათვის დამახასიათებელია ცივდენადობის მავნე მოვლენა, ამასთან, ყველაზე გამოკვეთილად. ამ ნაკლის აღმოფხვრა პრაქტიკაში წარმატებით წყდება საბაზო მასალაზე მისართების დამატებით. საინჟინრო პრაქტიკით დამტკიცებულია, რომ ფთოროპლასტიკებზე სხვადასხვა მისართების დამატებით სადების ხანგამძლეობა შეიძლება 3-4-ჯერ გაიზარდოს. მისართების გვარობის და ხვედრითი წილის მიხედვით იცვლება ფთოროპლასტიკების როგორც ფიზიკურ-მექანიკური, თერმოდეფორმაციული, თბოფიზიკური, ისე ტექნოლოგიური თვისებებიც. ლითონური მისართებიდან პრაქტიკაში იყენებენ სპილენძის, ბრინჯაოს, რკინის, კალის, ტყვიის ფხვნილებს, აგრეთვე ისეთ არაორგანულ ნაერთებს, როგორიცაა მინა, ლითონების

მარილები და ოქსიდები, კოქსი და სხვ. ფთოროპლასტიკების მისართებად ფართოდ იყენებენ ანტიფრიქციულ მისართებს – გრაფიტს, ტალკს, მოლიბდენის დისულფიდს. იყენებენ აგრეთვე სხვადასხვა სახის ბოჭკოებს, ანტიფრიქციულ (პოლიამიდებს) და ჩვეულებრივ პოლიმერებს (პოლიოლეფინებს – პოლიეთილენებს).

ფთოროპლასტ 4-ის გადაუშავება წარმოებს შეცხობის მეთოდით. უკანასკნელი გამორიცხავს რთული კონფიგურაციის დეტალების დამზადებას აღნიშნული მეთოდით და რთული კონფიგურაციის დეტალების დამზადება შესაძლებელია მხოლოდ მექანიკური დამუშავების გზით (მექანიკურად იგი კარგად მუშავდება).

სუფთა ფთოროპლასტ 4-ისათვის ($p \cdot V$) პარამეტრი არ აღემატება 0,03 მპა.მ/წმ-ს. მისართების დამატებით ($p \cdot V$)_p პარამეტრი შეიძლება 10-ჯერ გაიზარდოს.

ფთოროპლასტ 4-ის სადებების დატვირთვის უნარის მკვეთრი გაზრდა შესაძლებელია აგრეთვე ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილების გამოყენებით, რომელიც გამორიცხავს მასის ცივად გადინების შესაძლებლობას ე.ი. ე.წ. „საკეტიანი“ კონსტრუქციის გამოყენებით.

ცნობილია, აგრეთვე ფთოროპლასტ 4-ის გამოყენება ისეთი სახით, როცა დაწნეხილი და შემდეგ შეცხობილი ფხვნილოვანი ბრინჯაოს სადები „იჟღინთება“ ფთოროპლასტ 4-ით. შედეგად აღმოიფხვრება ფთოროპლასტ 4-ის ნაკლოვანი მხარე (ცივი დენადობა) და გამოიყენება საუკეთესო თვისებები (დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი, ქიმიური მედეგობა). მაგრამ ასეთი ტექნოლოგიით სადების დამზადება დაკავშირებულია გარკვეულ ტექნოლოგიურ სირთულეებთან და ამიტომ პრაქტიკაში ფართოდ არ გამოიყენება.

პოლიკარბონატი (დიფლონი) გამჭვირვალე მოყავისფრო ფერის კონსტრუქციული, ანტიფრიქციული თერმოპლასტიკა. ახასიათებს მაღალი მექანიკური მაჩვენებლები, პოლიამიდებთან შედარებით აქვთ ნაკლები ტენიის შთანთქმის უნარი, ხასიათდება ქიმიური მედეგობით ზეთების, ბენზინის, სუსტი მჟავების მიმართ, მაგრამ იხსნება ტუტეებში.

პოლიკარბონატი გადამუშავდება წნევითი ჩამოსხმით, ექსტრუზიით და დაწნევით.

პოლიკარბონატის სადებისათვის პარამეტრი $(p \cdot V)_p = 0,08\text{მპა}\cdot\text{მ}^3/\text{წ}$.

11.5. სხვა არალითონური მასალები

სმ. სრიალის საკისრების სადებების ხის მასალისაგან დამზადებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ისეთი ჯიშები, როგორცაა: ბზა, რცხილა, წიფელი და სხვ. ბოლო პერიოდში მეტი გავრცელება პოვა პლასტიფიცირებულმა ხის მასალებმა (ლიგნოფოლი). პლასტიფიცირების არსი მდგომარეობს ხის ძელაკების პოლიმერული ფისებით გაჟღენთვაში.

ტრიბოლოგიურ სისტემებში ხის მასალების გამოყენების ძირითადი სფეროა მცირე სიჩქარეების საკისრები. განსაკუთრებით ეფექტურია მათი გამოყენება რევერსული მოძრაობის დროს, როცა არ არის ჰიდროდინამიკური შეზღვევის განხორციელების პირობები. ხის სადებებიანი საკისრების სპეციფიკურობა გამოიხატება წყლის შემზეთ საშუალებად ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობაში. დასაშვები ხვედრითი წნევა ხის მასალებისათვის $p_p=10\text{მპა}$, ხოლო დასაშვები სრიალის სიჩქარე $V=1\text{მ}^3/\text{წმ}$.

მერქანშერეული პლასტიკატები გამოიყენება ჰიდროტურბინების, წყლის ცენტრალური მოქმედების ტუმბოების, მგლინავი ღვანების

სრიალის საკისრების სადებებად. ამზადებენ სხვადასხვა ტიპის მერქანშერეულ პლასტიკებს, რომელთა შორის განსხვავება ბოჭკოების ერთმანეთის მიმართ ორიენტირებაშია.

$p \cdot V$ პარამეტრის მაქსიმალური მნიშვნელობა წყლით შეზეთვის პირობებში $(p \cdot V)_p = 35\text{მპა}\cdot\text{მ/წ}$. მინერალური ზეთებით შეზეთვის დროს დატვირთვის უნარი რამდენიმეჯერ უფრო ნაკლებია ვიდრე წყლით შეზეთვის დროს.

რეზინი გამოიყენება ჰიდროტურბინების, წყლის ტუმბოების, ტურბობურლების იმ სრიალის საკისრების სადებების პირნაკეთობად, რომელთა შეზეთვა ხორციელდება წყლის მეშვეობით. ასეთი სადებების ძირითადი სპეციფიკური ნიშანია მათი ნაკლებად მგრძნობიარობა ლილვის რხევებისადმი (ასრულდებიან მადემჭყერებელ ფუნქციებს) და გადაცერებისადმი. კარგად ევუებიან გაჭუჭყიანებულ წყალს.

მორეზინებული სადებები სწრაფად კარგავენ მუშაობის უნარს შემზეთ-გამაცივებელი საშუალების (წყლის) მიწოდების ხანმოკლე შეწყვეტის დროსაც. ექსპლუატაციის აღნიშნულ პირობებში ხდება რეზინის ლილვზე შეწებება. მორეზინებული სადებები ფრიად მგრძნობიარენი არიან ტემპერატურის მიმართაც - $65-70^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე მკვეთრად ეცემა საკისრის დატვირთვისუნარიანობა. მაქსიმალური ხვედრითი დატვირთვის უნარია 2...6 მპა.

საინჟინრო პრაქტიკაში ცნობილია რეზინის შემცველი პოლიმერული მასალა - ვულკოლანი, რომელსაც დაახლოებით ისეთივე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები აქვს, როგორც მკვრივ რეზინს.

ბრაფიტი ყველაზე ეფექტიანად გამოიყენება ქიმიური მრეწველობის საწარმოებში, იქ, სადაც დიდ მოთხოვნილებებია თბომდეგობის და ქიმიური მედეგობისადმი.

გრაფიტის სადებები ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შეუცვლელად მუშაობენ ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში ($100...600^{\circ}\text{C}$). ისინი ინერტულნი არიან მჟავა და ტუტე გარემოში, აქვთ დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი (0,15).

გრაფიტის სადების ძირითადი ნაკლი მის სიმყიფესა და მცირე მექანიკურ სიმტკიცეშია. დასაშვები ხვედრითი დაწნევა გრაფიტის სადებთან საკისრებისათვის $P_p=1,5\text{მპა}$. გრაფიტოვანი საკისრების ზიდვის უნარის გაზრდისათვის საინჟინრო პრაქტიკაში მიღებულია სადების ფორების ანტიფორიქციული ლითონებითა და შენადნობებით (ტყვია, ბაბიტი და სხვ.) გაჟღენთვა. ასეთი კომპოზიციებით დამზადებული სადებები გამოიყენება მცირე რადიალური დატვირთვის, მაგრამ სწრაფმავალ ტრიბოლოგიურ სისტემებში. მაგ., სახეხი დანადგარების შპინდლებში, სადაც უმცირესი ღრეზოს შემთხვევაში ჰაერით შეზეთვა გათვალისწინებული.

გრაფიტისა და პლასტმასების სხვადასხვა კომპოზიციებით მიიღება რიგი შესანიშნავი ანტიფორიქციული თვისებების მქონე სასაკისრე მასალები. მაგ., გრაფიტისა და ფენოლ-ფორმალდეჰიდური ფისის შერწყმით მიღებული თერმორეაქტიული მასალა – გრაფიტირებული ტექსტოლიტი – TM-1. იგი გამოიყენება შენაკრები სრიალის საკისრების სადებების და ზოგიერთი სახის მუშტა და კბილანური შეზეთვის შემთხვევაში.

ისევე, როგორც ყველა თერმორეაქტიული მასალისათვის, TM-1-ის ნაკლია დეტალების დამზადების ნაკლები ტექნოლოგიურობა. სწორედ ამ მიზეზის გამოა თერმორეაქტიული მასალების გამოყენება

პრაქტიკაში შეზღუდული. თუმცა იქ, სადაც არსებობს გაზრდილი მოთხოვნები თერმული მედეგობის, ზომების სტაბილურობისა და სინისტიკადმი, გრაფიტირებული ტექსტოლიტები წამყვან პოზიციებსაც კი ინარჩუნებენ. ისინი გამოიყენება ქიმიურ და მეტალურგიულ მანქანათმშენებლობაში, აგრეთვე, რკინიგზისა და წყლის ტრანსპორტზე.

ქ. გომელის ლითონპოლიმერული სისტემების ინსტიტუტში შექმნილია თვითზეთვადი მაღალტემპერატურული თბომედეგი ტექსტოლიტი, რომელიც მზადდება გრაფიტიზებული, მოსპილენძებული ქსოვილისა და თბომედეგი ფურანის ფისისაგან ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებათა დამატებით. ამ მასალისაგან დამზადებული სრიალის საკისრების სადებების ექსპლუატაციის პროცესში შეინიშნება ლილვის სატაცზე სპილენძის ნაწილაკების შერჩევითი გადატანის ეფექტის ფრიად კეთილი გავლენა.

გრაფიტი ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია ისეთი საკმაოდ ფართოდ ცნობილი თერმოპლასტიკური მასალებისათვის, როგორცაა ATM-2 (მეორადი პოლიამიდი 6 + გრაფიტი + თერმონტრაციტი) და ATM-2 (მეორადი პოლიამიდი 66 + გრაფიტი + თერმონტრაციტი).

გრაფიტის მეოხებით ამ მასალების თბოგამტარობა (0,80 ვტ/მ.კ) დაახლოებით 2,7-ჯერ მეტია საბაზო პოლიმერის შესაბამის მაჩვენებელთან შედარებით (0,29 ვტ/მ.კ).

ATM-2 და ATM-2 წარმატებით გამოიყენება საფეიქრო და ლითონსაჭრელი ჩარხების ტრიბოლოგიურ სისტემებში.

გრაფიტი ერთ-ერთი საუკეთესო მისართია ყველა სასაკისრე მასალისათვის. გრაფიტის დამატებით პლასტმასების თბოგამტარობა შეიძლება გაიზარდოს 1,0 ვტ/მ.კ-მდე.

სუფთა გრაფიტოვანი სრიალის საკისრების სადებები მზადდება გრაფიტის ფხვნილისაგან დაწნეხის მეთოდით.

11.6. თვითზეთვადი ანტიფრიქციული თბომედეგი პოლიმერული კომპოზიციები

ზემით განხილული ძირითადი ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალები ხასიათდებიან დაბალი დასაშვები მუშა ტემპერატურით (გამონაკლისია მხოლოდ პოლიტეტრაფთორეთილენი – ფთოროპლასტ 4). ამასთან, ხანმოკლე ტემპერატურული გადატვირთვა პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის კატასტროფულია. განსახილველი ტიპის ანტიფრიქციული მასალების ჯგუფს ეს ნაკლი არ ახასიათებს. უკანასკნელ ათწლეულებში შექმნილი ეს ანტიფრიქციული პოლიმერული კომპოზიციები პოლიაკრილატების საფუძველზე ხასიათდებიან მაღალი თბომედეგობით ($200...300^{\circ}\text{C}$) და დაბალი ხაზუნის კოეფიციენტით ($0,05...0,12$). შექმნილია ახალი ტიპის მასალების მთელი გამა, რომელთა შორის ცნობილია: ესტერან-1, ესტერან-2, ესტერან-21, ესტერან-29, ესტერან-33, ესტერან-35, ესტერან-51, ტესან-2, ტესან-6, ტესან-30, ვილან-9, ვილან-20, პოლიარ-2 და ა. შ.

მოვიყვანოთ ამ ჯგუფის მასალების ზოგიერთი მონაცემი:

ცხრილი 11.1

მახასიათებლები	ესტერან-21	ვილან-9	ტესან-2
სიმკვრივე, ρ , კგ/მ ³	3100	2800	3000
მაქსიმალური მუშა ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$	200	300	250
ზღვრული დაბვა კუმშვაზე, σ_b , მპა	80	175	80
სისაღე (HB)	230	250	210
ხაზუნის კოეფიციენტი	0,08	0,08	–
დარტყმითი სიბლანტე, კ/ჯოული/მ ²	3,0	1,5	7,0

ზემოთ მოყვანილი მასალების გამოყენების სფეროა მშრალი ხასუნის კვანძები და ტრიბოლოგიური სისტემები მაღალი ვაკუუმის პირობებში. ისინი გადამუშვდებიან წნეებითი ჩამოსხმით და დაწნეხვით.

ცხრილი 11.2

ტიპური სასაკისრე მასალების ზოგიერთი მაჩვენებელი

№	პარამეტრების დასახელება	პოლიმერული მასალა					ბრინჯაო Br0516C5	ბაბიტე B83
		პოლიამიდ 6 ПА6-210	პოლიაცეტალი СФД	პოლიაცეტალი СФД-АД	ფთორო-პლასტი 4	პოლიამიდ 6, გრაფიტი АТМ-2		
1	სიმკვრივე, კგ/მ ³	1140	1410	1500	2100	1390	8500	—
2	ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი, $\alpha \times 10^{-5}$ ერთ კელვინზე	11,0	11,0	12,0	17,0	5,0	1,8	2,3
3	დრეკადობის მოდული კუმშვაზე $E \times 10^6$, მპა	0,0011	0,0036	0,0032	0,0004	0,007	0,09	0,048
4	თბოგამტარობა, ვტ/მ.К	0,29	0,29	0,29	0,25	0,80	105	44
5	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა	90	135	70	20-30	110	—	—
6	სისალე HB	100-120	180-250	110	20	210-230	500	—
7	დარტყმითი სიბლანტე, კვკოული/მ ³	160	75-130	—	—	14-16	—	—
8	პუასონის კოეფიციენტი	0,4	0,35	0,4	0,45	0,4	—	—
9	ხაზობრივი ზომების max-ური შეცვლა ტენის შთანთქმით, მკმ/მმ	25	0	0	0	12	0	0

XII თაზი

მანქანათა მასალების დადლილობა

დეტალზე მოქმედი მრავალჯერადი ცვლადი დატვირთვა იწვევს კონსტრუქციული მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების თანდათანობით შეცვლას, შიგა უმცირეს დაზიანებათა დაგროვებას. დროთა განმავლობაში დეტალი ასეთი ცვლილებების გამო აღწევს ზღვრულ მდგომარეობამდე, რომელიც შეიძლება დასრულდეს მისი სრული რღვევით ან თვალსაჩინო ზომის ბზარის გაჩენით. დაზიანების აღწერილ პროცესს დადლილობა ეწოდება. ამასთან, შესაბამისი ძაბვის სიდიდე ყოველთვის ნაკლებია მასალის სიმტკიცის ზღვარზე. მანქანათა ელემენტებს შორის, რომლებიც განიცდიან მრავალჯერად ცვლად დატვირთვებს და რომელთა გაანგარიშებაც ხდება დადლილობის ზღვრულ მდგომარეობაზე, შეიძლება დავასახელოთ: კბილანები, ტორსები, ზამბარები, მუხლა ლილვები.

მასალის თვისება, წინააღმდეგობა გაუწიოს რღვევას, აიტანოს მრავალჯერადი ცვლადი დატვირთვა არის მისი ამტანობის უნარი (ამტანობა), ხოლო მისი შესაბამისი ზღვრული მდგომარეობა – ამტანობის უნარის, ანუ დადლილობის ზღვარი.

12.1. დეტალი ამტანობის უნარზე მოქმედი ფაქტორები

ამტანობის უნარის ზღვრის დადგენის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოება, რომ დეტალებში შიგა და გარე ძაბვები და შესაბამისი დეფექტები წარმოიქმნება არა მარტო მექანიკური დატვირთვების გამო – მათი წარმოიქმნის მიზეზი შეიძლება იყოს:

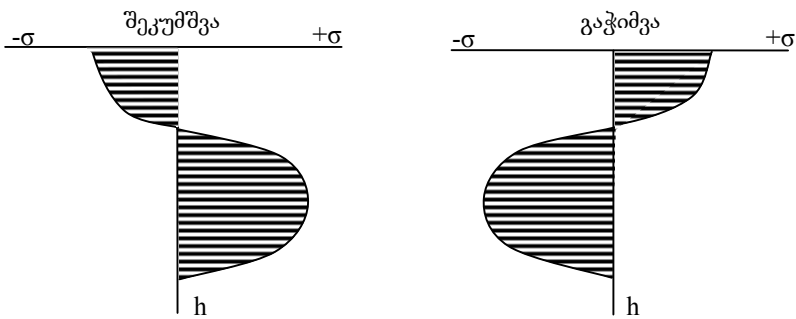
1. დეტალის დამზადების პროცესში ნარჩენი დამაბულობის კერები, რომლებიც წარმოიქმნება ზედაპირის დამუშავების დროს აღმოცენებული

ტემპერატურული ცვლილებებით და რომელმაც თავის მხრივ შეიძლება გამოიწვიოს დეტალის გარკვეულ უბნებზე მნიშვნელოვანი სიდიდის ძაბვები. ასეთი სახის დაძაბულობა მიჩნეულია I გვარის ძაბვად. იმავე მიზეზით წარმოქმნილი მიკროძაბვები, რომლებიც ლოკალიზებული არიან ერთ ან რამდენიმე კრისტალური მარცვლის ფარგლებში, მიიჩნევა II გვარის ძაბვად, დაბოლოს, სუბმიკროსკოპული (sub- ლათინური სიტყვა –ქვეშ) დაძაბულობა, რომელიც ვრცელდება მხოლოდ კრისტალური მესრის ელემენტებს შორის – III გვარის ძაბვად.

ნარჩენი ძაბვების ან ნარჩენი დეფორმაციების კონკრეტული მიზეზები შეიძლება იყოს ჩამოსხმის, შედუღების, ჭედვის და უფრო ნაკლებად მექანიკური დამუშავების – ღარვის, ჩარხვის, ხეხვის და რანდვის ტექნოლოგიური ოპერაციები.

დეტალების ხანგამძლეობაზე ყველაზე მეტად (უარყოფითად) მოქმედებს I გვარის ნარჩენი ძაბვები, თუმცა მათი განაწილების წესი მასალის სისქის და გვარობის მიხედვით შეიძლება სხვადასხვა იყოს. ტექნოლოგიური ოპერაციების შესრულების დროს უშუალოდ დეტალის ზედაპირზე შეიძლება წარმოიშვას და შესაბამისად განვასხვაოთ მკუმშავი და გამჭიმვი ნარჩენი ძაბვები. განსაკუთრებით სახიფათოა და მეტად უარყოფითად მოქმედებს ამტანობის უნარზე გამჭიმვი ნარჩენი ძაბვები, რომლებიც მნიშვნელოვნად ამცირებს არა მარტო ამტანობის უნარს, არამედ ცვეთამდეგობასაც.

ნახ. 12.1-ზე მოცემულია ნარჩენი ძაბვების განაწილების ეპიურები, რომლებიც დამახასიათებელია მექანიკური წესით დამუშავებული დეტალებისათვის.



ნახ. 12.1 ზედაპირზე ნარჩენი დეფორმაციების განაწილების ეპიურები

ნარჩენი ძაბვები შეიძლება დაგროვდეს დეტალის შედარებით ღრმა ზედაპირულ ფენებშიც, მაგალითად, დიფუზური გამოწვის დროს, როცა დეტალს გალვანური დანაფარი აქვს, ხოლო შესაბამის ლითონს ფოლადში დიფუნდირების კარგი უნარი. გამყოფ საზღვარზე – „დანაფარი-საფუძველი“ წარმოიშობა ძირითადი ლითონისაგან განსხვავებული თვისებების მქონე დიფუზური ფენა. შედეგად ფენის საზღვარზე წარმოიშობა ნარჩენი მკუმშავი ძაბვები.

თუ ფოლადს, რომლის ზედაპირი შეიცავს ნახშირბადს უმცირესი რაოდენობით, ქიმიურ-თერმულად დავამუშავებთ, გამჭიმვი ნარჩენი ძაბვები წარმოიშობა ფენათა საზღვარზე – „დიფუზური ფენა-საფუძველი“.

მასალის რელაქსაციური მოვლენები მისი დამუშავების ყველა შემთხვევისათვის გარკვეულწილად ცვლის ნარჩენი ძაბვების სურათს უკეთესობისაკენ, შემცირებისაკენ.

დეტალში ნარჩენი ძაბვების განსაკუთრებულობა აიხსნება დამუშავების ტექნოლოგიის, მათ შორის ქიმიურ-თერმული განსხვავებული ძალოვანი და ტემპერატურული პარამეტრების ზემოქმედებით, კერძოდ, ნარჩენი ძაბვების სიდიდეები დამოკიდებულია დეტალის გეომეტრიულ

ზომებზე, მათ თანაფარდობაზე, დამუშავების ტექნოლოგიურ რეჟიმზე და თვით მასალის ფიზიკურ-მექანიკურ მაჩვენებლებზე.

2. კონკრეტული დანიშნულების მანქანის დეტალებში, განსაკუთრებით მათი მკვეთრი გადასვლის ადგილებში, შეინიშნება ცნობილი მოვლენა – დეტალის ფორმის შესაბამისი ნარჩენი შიგა დაბეჭდვის კონცენტრაცია. ნარჩენი დაბეჭდვის კონცენტრატორის როლი მანქანა-მოწყობილობების დეტალებში შეიძლება შეასრულოს: ზედაპირების მკვეთრმა, ტენილმა გადასვლებმა, ნახვრეტებმა, ჭრილებმა, შესქელებებმა, ღარებმა, ზედაპირების მაკრო- და მიკროუსწორობებმა. დაბეჭდვის კონცენტრაციის გამო ამტანობის უნარის ზღვარი შეიძლება 3-ჯერაც კი შემცირდეს.

3. მანქანათა დეტალებში ადგილობრივი, ნარჩენი დაბეჭდვები შეიძლება მათი ექსპლუატაციის პროცესშიც წარმოიქმნეს, იგი განსაკუთრებით თვალსაჩინოა მათი ფიზიკური ურთიერთკონტაქტის შემთხვევაში. ასეთი სახის დაბეჭდვა შეიძლება როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი როლი შეასრულოს. ერთ შემთხვევაში მათ შეუძლიათ მოხსნან არსებული დაბეჭდვები, მეორე შემთხვევაში – წარმოქმნან დაბეჭდვა ახალი კერები.

უმეტესად შიგა ადგილობრივი ნარჩენი დაბეჭდვა წარმოადგენს მასალის რღვევის ცენტრს და ამცირებს მასალის ამტანობის უნარის ზღვარს. მანქანათა ნაწილების გაანგარიშების პროცესში, რომელიც სრულდება სპეციალური მეთოდების საფუძველზე, ნარჩენ დაბეჭდვას სათანადო ყურადღება ეთმობა. ბუნებრივია, იგი შესაბამისად უნდა აისახოს საიმედოობის მაჩვენებლების შეფასების დროსაც.

12.2. ციკლურ დატვირთვათა სახეები

ნახ. 12.2-ზე მოცემულია ცვლადი ციკლური დატვირთვების ტიპური გრაფიკები, რომელთა ძირითადი მახასიათებლებია:

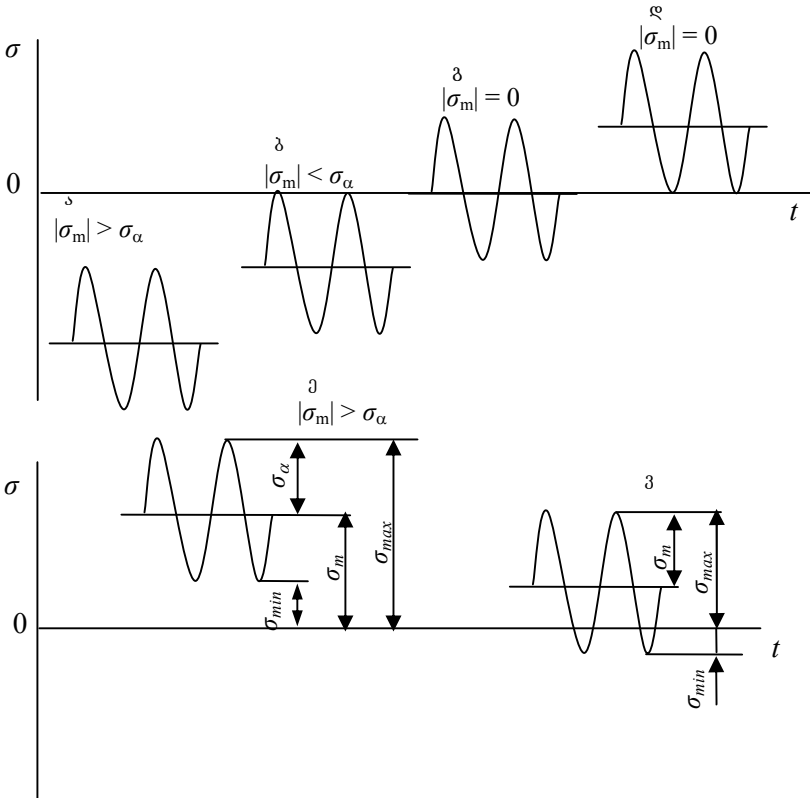
ციკლური დატვირთვით აღძრული ძაბვის ამპლიტუდა – σ_a ;

ციკლის მაქსიმალური ძაბვა – σ_{max} ;

ციკლის მინიმალური ძაბვა – σ_{min} ;

ციკლის საშუალო (მუდმივმოქმედი) ძაბვა – σ_m ;

ციკლის ძაბვის ასიმეტრიის კოეფიციენტი – r ;



ნახ. 12.2. ციკლურ დატვირთვათა სახეები:

ა, ბ, დ, ე, ვ – ასიმეტრიული დატვირთვა; გ – სიმეტრიული დატვირთვა

შესაბამისად ეს მაჩვენებლები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\alpha} &= \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} ; & \sigma_m &= \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} ; \\ \sigma_{\max} &= \sigma_m + \sigma_{\alpha} ; & \sigma_{\min} &= \sigma_m - \sigma_{\alpha} ; \end{aligned} \right\} (12.1)$$

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} . \quad (12.2)$$

დატვირთვების გვარობის მიხედვით არსებობს შემდეგი ტიპის დაბევები: სიმეტრიული, როცა მაქსიმალური და მინიმალური დაბევები სიდიდით ტოლია და ურთიერთსაპირისპიროა ნიშნით (ნახ. 12.2, გ); ასიმეტრიული, როცა მაქსიმალური და მინიმალური დაბევები სიდიდით განსხვავდებიან (ნახ. 12.2, ა, ე, ვ) და პულსირებული, როცა ერთ-ერთი ექსტრემალური დაბევა ნულის ტოლია (ნახ. 12.2, ბ, დ.).

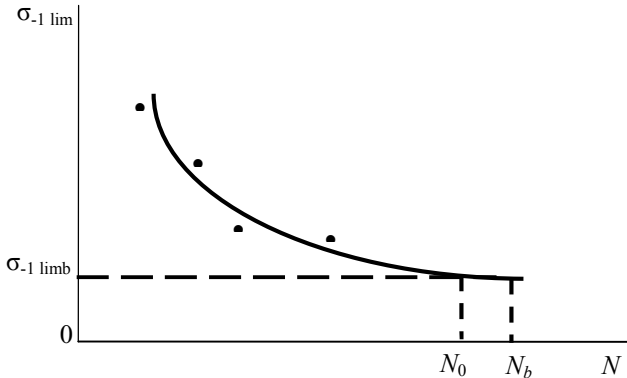
12.3. დაღლილობის მახასიათებლები

დაღლილობის ამტანობის უნარის ზღვარს დაღლილობის მრუდის დაღმავალ უბანზე აღნიშნავენ $\sigma_{-1\text{lim}}$ და $\sigma_{0\text{lim}}$ -ით, რაც შესაბამისად ნიშანცვლადი და მუდმივნიშნის დაბევების აღნიშვნაა.

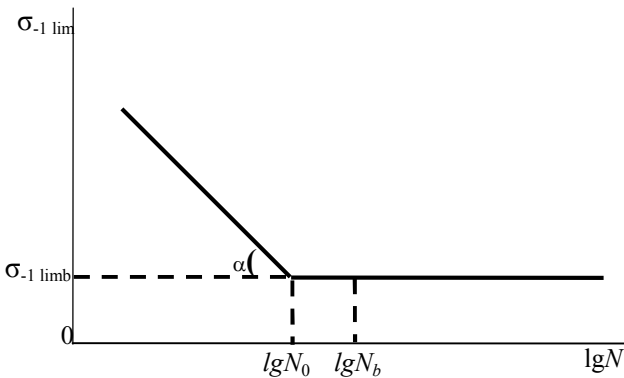
ამტანობის უნარის ძირითად მახასიათებლად საყოველთაოდ მიიჩნეულია დაღლილობის მრუდი, რომლის პარამეტრები ექსპერიმენტულად განისაზღვრება, შესაბამის წირს ველერის მრუდს უწოდებენ. იგი აიგება როგორც $\sigma_{-1\text{lim}} - N$ კოორდინატებში (ნახ. 12.3), ისე $\sigma_{-1\text{lim}} - \lg N$ კოორდინატებში (ნახევრად ლოგარიტმული – ნახ. 12.4) და $\lg \sigma_{-1\text{lim}} - \lg N$ კოორდინატებში (ლოგარიტმული – ნახ. 12.5).

დაღლილობის მრუდის ძირითად მახასიათებლებს მიეკუთვნება: დატვირთვათა ციკლების ბაზური რიცხვის შესაბამისი ამტანობის უნარის

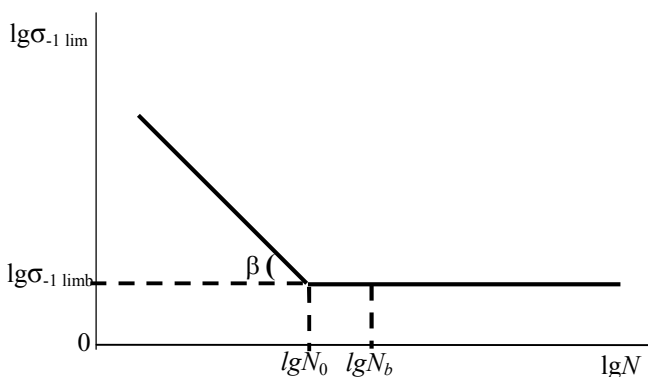
ზღვარი – $\sigma_{-1 \text{ lim}}$, დაღლილობის მრუდის დახრის კუთხე α (პარამეტრი $K = tg \alpha$ – ნახ. 12.4), როცა მრუდი ნახევრად ლოგარითმულ კოორდინატებშია აგებული, ან კუთხე β (პარამეტრი $m = atg \beta$ – ნახ. 12.5), როცა მრუდი ლოგარითმულ კოორდინატებშია და საბაზო ციკლთა რიცხვია N_b (უკანასკნელი ახლოსა დაღლილობის მრუდის გარდატეხის წერტილთან N_0 -თან, მაგრამ მასზე მეტია).



ნახ. 12.3. დაღლილობის მრუდი კოორდინატებში $\sigma_{-1 \text{ lim}} - N$



ნახ. 12.4. დაღლილობის მრუდი კოორდინატებში $\sigma_{-1 \text{ lim}} - \lg N$



ნახ. 12.5. დაღლილობის მრუდის კოორდინატებში $lg\sigma_{-1} \lim - lgN$

დაღლილობის მრუდის პარამეტრებზე, ბუნებრივია, გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი: ძაბვათა კონცენტრატორები, მუშა ტემპერატურა, დეტალის ზომები, ფორმა და გადასვლები, ზედაპირის მდგომარეობა, მასალის მიკროსტრუქტურა და მრავალი სხვა.

დაღლილობის მრუდის დახრის კუთხე α დამოკიდებულია მასალის თვისებებზე. ნახევრად ლოგარითმულ კოორდინატებში დაღლილობის მრუდის პარამეტრს $- K = tg\alpha$, დრეკადობის მოდულის ანალოგიურად, პირობითად დაღლილობის მოდული ეწოდება.

დაღლილობის მრუდის მარცხენა დაღმავალი უბანი კარგად გამოისახება განტოლებით, რომელიც წარმოდგენილია ლოგარითმულ კოორდინატებში გამოსახული მრუდის პარამეტრით $- m$ -ით:

$$\sigma_i^m \cdot N_i = \sigma_{-1lim} \cdot N_0 = C = const, \quad (12.3)$$

სადაც σ_i და N_i შესაბამისად დაძაბულობისა და ციკლთა რიცხვების მიმდინარე მნიშვნელობებია; C - მუდმივი სიდიდე, ნახშირბადიანი ფოლადებისაგან დამზადებული დეტალებისათვის $C = 12...20$, ლევირებულებისათვის $- C = 20...35$; m - დაღლილობის მრუდის კუთხური კოეფიციენტი ლოგარითმულ კოორდინატებში, იცვლება

ზღვრებში 3...20 (უფრო ხშირად $m = 6...9$ [7]); N_0 – ციკლების რიცხვი, რომელიც შეესაბამება დაღლილობის მრუდის გარდატეხის წერტილს და კონსტრუქციული მასალებისაგან დამზადებული ნიმუშებისათვის $N_0=2,1 \cdot 10^4 \dots 2,5 \cdot 10^4$. მოყვანილი ციფრები ეფუძნება რიგი ავტორების მრავალრიცხოვანი რეალური პირობების შესაბამის ექსპერიმენტებს [7] და არ ემთხვევა იმ ავტორთა მიერ მიღებულ შედეგებს [18], [20], რომლებიც თვლიდნენ, რომ N_0 -ს შეესაბამება 10^7 ციკლი. ამასთან, საჭიროა განვასხვავოთ დაღლილობის მრუდის გარდატეხის გასაშუალოებული N_0 წერტილი, რომელიც ექსპერიმენტულად განისაზღვრება, საბაზო, მაქსიმალური დატვირთვის ციკლთა N_b რიცხვისაგან, რომელიც პირობითად შეირჩევა დეტალების დაღლილობაზე გაანგარიშებების დროს. უკანასკნელი დიდად არ განსხვავდება, მაგრამ აღემატება პირველს; $\sigma_{-1 \text{ limb}}$ – მაქსიმალური, ზღვრული ძაბვის მნიშვნელობა ციკლების ბაზური რიცხვის დროს.

ამასთან უნდა ავლნიშნოთ, რომ მაღალნახშირბადიანი ფოლადებისათვის N_b მნიშვნელოვნად აღემატება ზემოთ აღნიშნულ $N_b(N_0)$ -ის სიდიდეებს და როცა მასალის სისაღე აღემატება HRC56-ს იგი $12 \cdot 10^7$ -ის ტოლია. დიფერენცირებულად მისი განსაზღვრა სისაღის უფრო ნაკლები მნიშვნელობებისათვის შეიძლება გამოსახულებით [16]:

$$N_b = 30H_{HB}^{2.4}, \tag{12.4}$$

სადაც H_{HB} მასალის სისაღეა ბრინელებში.

იმის გამო, რომ დაღლილობის მრუდის აგება (ნახ.12.6) ექსპერიმენტული გზით საკმაოდ რთული და შრომატევადია, საჭირო მონაცემების მისაღებად ხშირად სარგებლობენ დაგროვილი ექსპერიმენტული მონაცემებით, რომლებიც ემპირიული გამოსახულებებით

არის მოცემული. მაგალითად, მანქანათა ერთი ჯგუფისათვის, ტრანსმისიებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს გამოსახულებანი [6]:

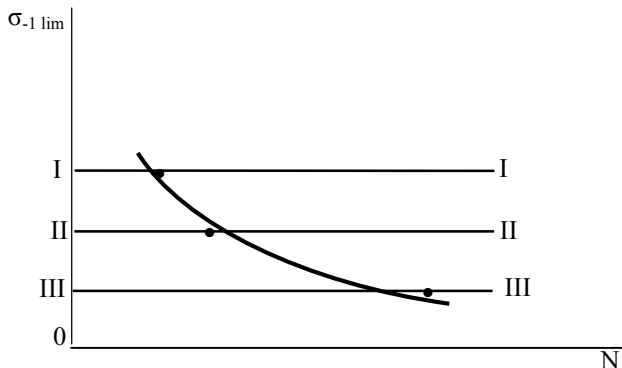
$$m_{-1} = 35 \left(\frac{\sigma_{-1limb}}{\sigma_b} \pm 0,043 \right); \quad (12.5)$$

$$m_r = m_{-1} \frac{\sqrt[3]{4(1-r)}}{2}; \quad (12.6)$$

$$lgC = 4,71 + 1,61 m_r; \quad (12.7)$$

სადაც m_{-1} და m_r შესაბამისად დალლილობის მრუდის კოეფიციენტებია სიმეტრიული და ასიმეტრიული დატვირთვების დროს; σ_b – დეტალის სიმტკიცის ზღვარი; r – ასიმეტრიის კოეფიციენტი.

C-ს განსაზღვრის შემდეგ დალლილობის მრუდის განტოლების მეშვეობით, როცა უკვე ცნობილია m_r და σ_{-1limb} (განისაზღვრება ცხრილიდან ან ემპირიული დამოკიდებულებიდან – მოცემულია ქვემოთ), ადვილად პოულობენ lgN_0 (შესაბამისად N_0 -ს), ხოლო მრუდის დაღმავალი ნაწილის ასაგებად უნდა დაუშვათ ერთ-ერთი პარამეტრი σ_i ან N_i და ვიპოვოთ მეორე მათგანი (12.3)-ის მეშვეობით.



ნახ. 12.6. დალლილობის მრუდის აგების მეთოდის სქემა

დალილობის მრუდის მეშვეობით შესაძლებელია განვსაზღვროთ ციკლის მაქსიმალური დაძაბულობა – ამტანობის ზღვარი, რომელიც არ იწვევს ნიმუშის ან დეტალის რღვევას მისი მრავალჯერადი დატვირთვის შედეგად. კონსტრუქციული მასალების, შავი ლითონების შემთხვევაში ხშირად საკმარისია ვიპოვოთ ამ დაძაბულობის მნიშვნელობა საბაზო ციკლების რაოდენობისათვის. N_b დატვირთვის (ძაბვათა) ციკლების რაოდენობას უწოდებენ რა ციკლების ბაზურ რიცხვს, იგულისხმება, რომ, თუ ნიმუში არ განიცდის რღვევას დატვირთვის ბაზური რიცხვის მიღწევისას, იგი არ გამოვა წყობიდან გამოცდების შემდგომი გაგრძელებისას.

თუ დეტალის საჭირო ხანგამძლეობა შეზღუდულია დატვირთვითა ციკლების რიცხვით, მაგალითად, N_1 , N_2 -ით, რომლებიც ბაზურ რიცხვზე ნაკლებია, საჭიროა ვისარგებლოთ მრუდით, რომელიც წარმოადგენს ნიმუშის ამტანობის ზღვრულ მდგომარეობას. ამტანობის უნარის მრუდი შეესაბამება იმ უდიდეს დაძაბულობის მნიშვნელობას, რომელსაც უძლებს ნიმუში მისი N_1 -ჯერ, N_2 -ჯერ დატვირთვის დროს, როცა დაძაბულობა შესაბამისად σ'_{-1lim} და σ''_{-1lim} -ია. ამასთან, თუ $N_1 > N_2$, მაშინ $\sigma'_{-1lim} > \sigma''_{-1lim}$.

ამტანობის უნარის ზღვარი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული აგრეთვე დროში ძაბვათა ცვლილებების და ციკლის ასიმეტრიის ხასიათზე, აგრეთვე დაძაბული მდგომარეობის სახეზე.

მუშაობის პირობების მიხედვით ამტანობის უნარის ზღვრის სიდიდეზე დიდად მოქმედებს რიგი გარეშე ფაქტორები, რომელთა შემოქმედების ინტენსიურობის კანონზომიერებების შესწავლა ამტანობის უნარის ფაქტიური ზღვრის დადგენის პროცესის მნიშვნელოვან პრაქტიკულ და თეორიულ ამოცანას წარმოადგენს. ამ კანონზომიერებების შესწავლას შეუძლია თავიდან აგვაცილოს დიდი მასშტაბის შეცდომები

დადლილობის მრუდის აგების დროს – განისაზღვროს მანქანათა ნაწილების საიმედოობისა და სიმტკიცის მაჩვენებლები.

საქმე ისაა, რომ ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მონაცემები მართებულია მხოლოდ აღებული კონკრეტული პირობებისათვის და აღებული კონკრეტული ნიმუშისათვის. ამ მონაცემების განზოგადება სხვა მანქანათა ნაწილებზე მხოლოდ მაშინ იქნება შესაძლებელი, თუ შესწავლილი იქნება თითოეული ფაქტორის მოქმედების ხასიათი და მასშტაბები. ამ ფაქტორთაგან უმნიშვნელოვანესთა რიცხვს განეკუთნებიან:

მასშტაბის ფაქტორი, რომელიც გამოწვეულია დეტალის აბსოლუტური ზომებით;

ზედაპირის განმტკიცება პლასტიკური დეფორმაციებით;

ზედაპირის მდგომარეობა (სიმქისე, კოროზიულობა);

ზედაპირის დაფარვა;

გარემო პირობები და სხვ.

უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგი მათგანი დადებითად მოქმედებს ამტანობის უნარის ზღვარზე, ასე, მაგალითად, ზედაპირების პლასტიკური დეფორმაციის გზით განმტკიცება და სპეციალური მასალებით დაფარვა ამალღებს დეტალის ამტანობის უნარის ზღვარს.

საინჟინრო პრაქტიკაში მანქანათა ნაწილების გაანგარიშების დროს ეს ფაქტორები განისაზღვრება სპეციალური მაკორექტირებელი კოეფიციენტებით.

წინასწარი, მიახლოებითი გაანგარიშებების დროს აღძრული ძაბვა რეალური პირობებისათვის საჭიროა კორექტირებული იქნეს ქვემოთ მოყვანილი თანაფარდობის შესაბამისად [3]; [20]:

$$\bar{\sigma} = \sigma \cdot k, \quad (12.8)$$

სადაც $\bar{\sigma}$ კორექტირებული მუშა ძაბვაა; σ – მუშა ძაბვა; \bar{k} – კორექციის კოეფიციენტი და განისაზღვრება ფორმულით

$$\bar{k} = \frac{K_j}{\varepsilon_{\%}} + \frac{1}{\gamma} - 1, \quad (12.9)$$

სადაც K_j დაძაბულობის კონცენტრაციის ეფექტურობის კოეფიციენტია და დამოკიდებულია დეტალის ფორმაზე (ყველაზე მეტად), მასალის გვარობაზე, დატვირთვის სახეზე და აიღება ზღვრებში 1,05...3 (მცირე მნიშვნელობები შეესაბამება დეტალის მარტივ ფორმას – ცხრ. III1 [7]); $\varepsilon_{\%}$ – განიკვეთის ზომების გავლენის კოეფიციენტი, დამოკიდებულია აგრეთვე დატვირთვის სახეზე და მასალის ხარისხზე, აიღება 0,95...0,5 ფარგლებში (მცირე მნიშვნელობა შეესაბამება დეტალის დიდ ზომებს – ცხრ. III3 [7]); γ – ზედაპირის დამუშავების ხარისხის კოეფიციენტი, დამოკიდებულია მასალის დამუშავების მეთოდზე და ხარისხზე და ჩვეულებრივ აიღება 1...0,3 ფარგლებში (მცირე მნიშვნელობა შეესაბამება უხემ ზედაპირებს და მაღალ ტემპერატურას დამუშავების პროცესში – ცხრ. III4 [7]).

K_j , $\varepsilon_{\%}$, γ კოეფიციენტის კონკრეტული მნიშვნელობები მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში.

მაკორექტირებელი კოეფიციენტების შესახებ დაწვრილებითი ცნობები მათი დიფერენცირებით მოცემულია ლიტერატურულ წყაროებში [7], [16]. ამასთან, ვინაიდან მათი გავლენა ამტანობის უნარის ზღვარზე გათვალისწინებულია ქვემოთ დასაშვები ძაბვის განისაზღვრის პროცესში, $\bar{\sigma}$ -ის განისაზღვრის დროს იგი შეიძლება მხედველობაში არ იქნეს მიღებული (აღნიშნული არ ეხება მხოლოდ K_j კოეფიციენტს).

ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ სხვადასხვა ნიმუშებზე და სხვადასხვა პირობებში ჩატარებული გამოცდები მასალების დაღლილობაზე

განსხვავებულ შედეგებს იძლევა. ასე, მაგალითად, მოცემულ ნაშრომში ქვემოთ მოცემული დაღლილობის პარამეტრები, არცთუ დიდად, მაგრამ მაინც განსხვავდებიან Π10 [7]-ის დანართში მოყვანილი მნიშვნელობები-საგან, რომლებიც მიღებული არიან გლუვ ნიმუშებზე გამოცდების ჩვეულებრივ პირობებში ჩატარების დროს.

12.4. დაღლილობის პარამეტრების და მასალის მექანიკური მაჩვენებლების ურთიერთდამოკიდებულება

საინჟინრო პრაქტიკაში ფოლადის ნიმუშის ამტანობის უნარის ზღვრების მიახლოებითი მნიშვნელობები σ_{-1limb} და σ_{0limb} განსაზღვრისათვის სარგებლობენ როგორც ემპირიული დამოკიდებულებით, რომელიც ამყარებს კავშირს ცხრილურ-სტატიკურ და დაღლილობის მაჩვენებლებს შორის, ისე ექსპერიმენტული მონაცემებით.

σ_{-1limb} -ის განსაზღვრისათვის საჭირო ემპირიული დამოკიდებულება მასალის მექანიკური მაჩვენებლების მიხედვით სხვადასხვა ავტორების მონაცემებით მოცემულია ცხრილებში 12.11, 12.12, ხოლო σ_{0limb} მნიშვნელობის ექსპერიმენტული მონაცემები – ცხრილებში 12.1, 12.3....12.11.

იმის გამო, ცხრილებში მოყვანილი მონაცემები მიღებულია სხვადასხვა ექსპერიმენტულ გარემოში, ზოგ შემთხვევაში მათ შორის შეინიშნება განსხვავებები. მიუხედავად ამისა, ზოგადად მათი გამოყენება სამეცნიერო და საინჟინრო პრაქტიკაში მისაღებია და მოხერხებული.

12.3, 12.4 ცხრილებში დაღლილობის საშუალო σ_{-1limb} და $K=tg\alpha$ მახასიათებლებთან ერთად მოცემულია ნახშირბადოვანი ფოლადების მექანიკური თვისებები, ხოლო ცხრილებში 12.5, 12.6, 12.7 – იგივე მაჩვენებლები ლეგირებული ფოლადებისათვის, ამ ცხრილებში ჩართული

დაღლილობის მახასიათებლები σ_{-limb} და $K=tg\alpha$ წარმოადგენენ ყველაზე მოსალოდნელ, საშუალო მნიშვნელობებს და ზოგიერთი რეალური პირობებისათვის შეიძლება საანგარიშოდაც იქნეს მიჩნეული.

ცხრილი 12.1

ამტანობის უნარის ზღვრის სტატისტიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ურთიერთდამოკიდებულება [3]

ფოლადის მარკა	სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე σ_b , მპა, არანაკლები	ამტანობის უნარის ზღვარი ღუნვაზე σ_{-limb} , მპა, არანაკლები
Cm 3, ცხლად გლინული	370	165
Cm 5, ცხლად გლინული	490	215
15, ცხლად გლინული	370	170
15 დაცემენტებული, ნაწრთობი, მოშვებული	440	—
45, ნაწრთობი, მოშვებული, HB 241...285	835	330
65Г, ნაწრთობი, მოშვებული, HRC 42...48	1470	490
40X გაუმჯობესებული HB 228...280	735	330
40X, ნაწრთობი, მოშვებული, HB 240...280	980	396
40X, ნაწრთობი, მოშვებული, HRC 45...50	1470	540
30XГCA, ნაწრთობი, მოშვებული, HRC 30...35	1080	500

ამტანობის უნარის ზღვრები სხვადასხვა ლიტერატურულ წყაროებში

დამოკიდებულება	ავტორი	დამოკიდებულება	ავტორი
ა. ამტანობის უნარის ზღვრისა და სტატისტიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ურთიერთდამოკიდებულება			
σ_{-1limb} მნიშვნელობა σ_b სიმტკიცის ზღვრის მიხედვით, მპა			
2,29 σ_b +79 (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო	0,47 σ_b -25 (სახ. სტანდარტის მონაცემებით)	გრებენიკი
0,35 σ_b +53 (ლევირებული ფოლადები)	იგივე	0,52 σ_b -48 (როცა $\sigma_b > 1100$)	იგივე
0,35 σ_b +122	ჟუკოვი	0,46 σ_b +4	იგივე
0,45 σ_b +76	იგივე	0,47 σ_b	იგივე
0,43 σ_b	პლზლოვი	(სამუალო არითმეტიკული)	
0,47 σ_b	შაპოშნიკოვი	0,32 σ_b (გაჭიმვაზე) 0,36 σ_b (გაჭიმვაზე)	შაპოშნიკოვი პლზლოვი
(0,45-0,55) σ_b	ტიმოშუკი	0,249 σ_b +2,5 (ძვრაზე)	ბუზი შაპოშნიკოვი
0,49 5 σ_b	კორბერი ჰემპელი	0,22 σ_b (გრეხაზე) 0,287 σ_b (გრეხაზე)	კორბერი ჰემპელი
0,50 σ_b	დობროვოლსკი	0,288 σ_b (გრეხაზე)	ჰეივუდი
0,468 σ_b -2,6 (როცა $\sigma_b > 1100$ მპა)	გრებენიკი		

გაგრძელება

დამოკიდებულება	ავტორი	დამოკიდებულება	ავტორი
σ_{-limb} მნიშვნელობა σ_T დენალობის ზღვრის მიხედვით, მპა			
$0,45\sigma_T+122$	ჟუკოვი	$0,45\sigma_T+95$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო
$0,24\sigma_T+275$	იგივე	$0,13\sigma_T+279$ (ლევირებული ფოლადები)	იგივე
$0,56\sigma_T$	მორიზოვი		
$0,452\sigma_T+94$	ბუხი	$0,43\sigma_T+105$	ჰეივუდი
$0,493\sigma_T+79$	გრებენიკი	$0,616\sigma_T+145$ (გრესაზე)	ბუხი
σ_{-limb} მნიშვნელობა δ ფარდობითი წაგრძელების მიხედვით, მპა			
$-5,0 \delta+446$	ჟუკოვი	$-3,8 \delta+403$ (ლევირებული ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო
$-8,8 \delta+502$	გრებენიკი		
$-4,4 \delta+345$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო		
σ_{-limb} მნიშვნელობა HB სისალის მიხედვით, მპა			
$0,18HB$	დობროვოლსკი	$0,096HB+73$ (ლევირებული ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო
$0,13HB+46$	გრებენიკი	$0,059HB+189$ (ლევირებული ფოლადები)	იგივე

გაგრძელება

დამოკიდებულება	ავტორი	დამოკიდებულება	ავტორი
σ_{-1limb} მნიშვნელობა რამდენიმე მასსიათებლის მიხედვით, მპა			
$0,138(\sigma_b+\sigma_T)+205$	ჟუკოვი	$0,877\sigma_T-0,096S_k^*-2,9\delta+133$	შკოლნიკი
$0,22(\sigma_b+\sigma_T)+54$	იგოვე	$0,2(\sigma_b+\sigma_T+10\varphi)$	იუნგერი
$0,285(\sigma_b+\sigma_T)$	შაპოშნიკოვი	$0,175(\sigma_b+\sigma_T-10\delta+1000)$	ლეკვისი
$0,25(\sigma_b+\sigma_T)+50$	გულერმონი	$0,25(1+13,5\varphi)\sigma_b$	მარკოვეცი
$0,48\sigma_b+0,27\sigma_T-2,1\delta-18$	შკოლნიკი		
ბ. ამტანობის უნარის ზღვრების თანაფარდობა სხვადასხვა სახის დეფორმაციებისათვის			
გაჭიმვა-ღუნვით			
$0,70\sigma_{-1limb}$	დობროვოლსკი	$(0,7-0,9)\sigma_{-1limb}$ $0,75\sigma_{-1limb}$	ტიმოშუკი ტრაპეზინი
$(0,70-0,76)\sigma_{-1limb}$	შევანდინი	$0,80\sigma_{-1limb}$	მარკოვეცი
$(0,70-0,8)\sigma_{-1limb}$	პონომარიოვი	$0,85\sigma_{-1limb}$	ფრიდმანი
გრეხა-ღუნვით			
$0,50\sigma_{-1limb}$	მაქსიმალური ძვრის ძაბვების თეორია	$0,56\sigma_{-1limb}$	გაფი
$(0,50-0,65)\sigma_{-1limb}$	ტიმოშუკი	$0,575\sigma_{-1limb}$	შაპოშნიკოვი ლუდვიკი
$0,55\sigma_{-1limb}$	ფრიდმანი ტრაპეზინი	$0,58\sigma_{-1limb}$	კულრაიაცკევი ოლინგი, მერანი კორბერი

* მასალის რღვევის ნამდვილი წინაღობა

გაგრძელება

დამოკიდებულება	ავტორი	დამოკიდებულება	ავტორი
$(0,55-0,60)\sigma_{-1limb}$ (პლასტიკური ფოლადები)	გლიკმანი	$(0,8-1,0)\sigma_{-1limb}$ (მყიფე მასალები)	გლიკმანი
$(0,59-0,69)\sigma_{-1limb}$ (ნაჭკედი ფოლადები)	ფორესტი	$(0,79-1,01)\sigma_{-1limb}$ (თუჯი)	ფორესტი
გ. სტატისტიკური მახასიათებლების თანაფარდობა			
სიმტკიცის ზღვარი σ_b			
$\sigma_b = 1,35\sigma_T + 113$	გრებენიკი	$\sigma_b = 0,331HB + 47$	გრებენიკი
$\sigma_b = 1,23\sigma_T + 160$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო	$\sigma_b = 0,35\sigma_T - 14$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო
$\sigma_b = 0,74\sigma_T + 388$ (ლევირებული ფოლადები)	იგივე	$\sigma_b = 0,32\sigma_T + 75$ (ლევირებული ფოლადები)	იგივე
$\sigma_b = 0,98\sigma_T + 80$	ტრეტიაკოვი	$\sigma_b = -18,7\delta + 1072$	გრებენიკი
$\sigma_b = 0,815\sigma_T + 230$ (ლევირებული ფოლადები)	ტრეტიაკოვი	$\sigma_b = -8,8\delta + 775$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო
$\sigma_b = 0,36HB$	იგივე	$\sigma_b = -22,2\delta + 1270$ (ლევირებული ფოლადები)	გრებენიკი, გორდიენკო, ცაპკო
$\sigma_b = 46HB - 220$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)		$\sigma_b = 0,35HB$ (ლევირებული ფოლადები)	ტრეტიაკოვი
		$\sigma_b = 0,35HB$	ჰეიველი
დენადობის ზღვარი σ_T			
$\sigma_T = 0,60\sigma_b$	პლზოლოვი	$\sigma_T = 0,206HB + 9$	გრებენიკი

გაგრძელება

დამოკიდებულება	ავტორი	დამოკიდებულება	ავტორი
$\sigma_T = (0,50-0,67)\sigma_b$	ოლინგი	$\sigma_T = -9,3\delta + 598$	იგივე
$\sigma_T = 0,22HB-26$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	გრებენიკი, გორდინკო, ცაპკო	$\sigma_T = -4,8\delta + 439$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	გრებენიკი, გორდინკო, ცაპკო
$\sigma_T = 0,41HB-375$ (ლევირებული ფოლადები)	იგივე	$\sigma_T = -32\delta + 1248$ (ლევირებული ფოლადები)	იგივე
$\sigma_T = 0,458HB-260$ (ნახშირბადოვანი ფოლადები)	ტრეტიაკოვი	$\sigma_T = 0,545HB-480$ (ლევირებული ფოლადები)	ტრეტიაკოვი

შენიშვნა: ძირითადი მონაცემები მოცემულია ლუნვის დაბევისათვის

ცხრილი 12.3

ნახშირბადოვანი, ხარისხოვანი, კონსტრუქციული ცხლად გლინული და
 ნაჭვდი ფოლადების (სახ. სტანდარტით ГОСТ 1050-88)
 მექანიკური თვისებები და დაღლილობის მახასიათებლები

ფოლადის მარკა	მექანიკური თვისებები				საშუალო მნიშვნელობა			
	σ_T , მპა	σ_b , მპა	δ , %	ψ , %	σ_{limb}		$K=tg\alpha$	
					σ_T მიხედვით	σ_b მიხედვით	σ_T მიხედვით	σ_b მიხედვით
0,8	200	330	33	60	480	170	38	47
10	210	340	31	65	190	180	40	47
15	230	380	27	55	200	190	43	48
20	250	420	25	55	210	200	47	50
25	280	460	23	50	220	210	52	51
30	300	500	21	50	230	220	55	53
35	320	540	20	45	240	240	58	55
40	340	580	19	45	250	250	62	56
45	360	610	16	40	260	260	65	58
50	380	640	14	40	270	270	69	59
55	390	660	13	35	270	270	70	60
60	410	690	12	35	280	280	74	60
65	420	710	10	30	280	280	75	61
70	430	730	9	30	290	290	77	62
60Г	420	710	11	35	280	280	75	61
65Г	440	750	9	-	290	300	79	63
70Г	460	800	8	-	310	310	82	65

- შენიშვნა:** 1. ფოლადის მექანიკური თვისებები განსაზღვრულია ნორმალიზებული ნაშადისაგან დამზადებული ნიმუშების გაჭიმვაზე გამოცდის დროს.
2. მექანიკური თვისებების ნორმები მოცემულია ფოლადის ნიმუშებისათვის, რომელთა დიამეტრი ან სისქე არ აღემატება 80მმ. თუ დიამეტრი ან სისქე აღემატება 80მმ, დასაშვებია მოკლე ნიმუშის (სიგრძით 5მმ) ფარდობითი წარგმელების (δ) 2%-ით შემცირება, ხოლო ფარდობითი შევიწროების (ψ) 5%-ით.

ჩვეულებრივი ხარისხის A ჯგუფის ფოლადის (სახ. სტანდარტით ГОСТ 380-94)

მექანიკური თვისებები და დაღლილობის მახასიათებლები

ფოლადის მარკა	მექანიკური თვისებები					საშუალო მნიშვნელობა			
	σ_b , მპა	σ_T , მპა სისქით, მმ				σ_{-1limb}		$K=lg\alpha$	
		< 20	20-40	40-100	> 100	σ_b მიხედვით	σ_T მიხედვით	σ_b მიხედვით	σ_T მიხედვით
		არანაკლები							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СТ 0	≥ 310	-	-	-	-	≥ 170	-	≥ 45	-
СТ 1 КП	310-400	-	-	-	-	170-190	-	45-49	-
СТ 1 ПС, СТ 1 СП	320-420	-	-	-	-	170-200	-	46-40	-
СТ 2 КП	320-420	220	210	200	190	180-200	180-190	47-50	37-42
СТ 2 ПС, СТ 2 СП	340-440	230	220	210	200	180-210	180-190	47-51	38-43
СТ 3 КП	370-470	240	230	220	200	190-220	180-200	48-52	38-45
СТ 3 ПС, СТ 3 СП	380-490	250	240	230	210	190-220	190-210	48-53	40-47

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ст 3 Г пс	380-500	250	240	230	210	190-230	190-210	48-53	40-47
Ст 4 кп	410-520	260	250	240	230	200-230	200-210	50-54	43-49
Ст 4 пс, Ст 4 сп	420-540	270	260	250	240	200-240	200-220	50-55	45-50
Ст 5 пс, Ст 5 сп	500-640	290	280	270	260	230-270	210-230	53-59	49-54
Ст 5 Г пс	460-600	290	280	270	260	220-250	210-230	52-57	49-54
Ст 6 пс	≥ 600	320	310	300	300	≥ 250	230-240	≥ 57	55-59
Ст 6 сп	≥ 600	320	310	300	300	≥ 250	230-240	≥ 57	55-59

თერმულად დამუშავებული ლეგირებული კონსტრუქციული ფოლადის
(სახ. სტანდარტით ГОСТ 4543) მექანიკური თვისებები
და დაღლილობის მახასიათებლები

ფოლადის მარკა	მექანიკური თვისებები				საშუალო მნიშვნელობა			
	σ_T , მპა	σ_b , მპა	δ , %	ψ , %	σ_{limb}		$K=lg\alpha$	
	არანაკლები				σ_T მიხედვით	σ_b მიხედვით	σ_T მიხედვით	σ_b მიხედვით
1	2	3	4	5	6	7	8	9
15X,15 X A	500	700	12	45	330	300	79	76
20 X	650	800	11	40	360	330	92	86
30 X	700	900	12	45	370	370	97	96
35 X	750	930	11	45	380	380	101	99
40X	800	1000	10	45	380	400	106	106
45X	850	1050	9	45	390	420	110	110
50X	900	1100	9	40	400	440	115	115
15 Г	250	420	26	55	200	200	56	49
20 Г	280	460	24	50	220	210	59	53
25 Г	300	500	22	50	230	230	61	56
30 Г	320	550	20	45	240	250	63	61
35 Г	340	570	18	45	250	250	65	63
40 Г	360	600	17	45	260	260	66	66
45 Г	380	630	15	40	270	270	68	69
50 Г	400	660	13	40	280	280	70	72
18ГХ	750	900	10	40	400	370	101	96
20 ГХР	800	1000	9	50	380	400	106	106
33СХ	700	900	13	50	370	370	97	96
15ХМ	280	450	21	55	220	210	59	52
20ХМ	600	800	12	50	360	330	88	86
30ХМ	750	950	11	45	380	380	101	101
35ХМ	850	950	12	45	390	380	110	101
38ХМ	900	1000	11	45	400	400	115	106

გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9
40XМΦA	950	1050	13	50	410	420	120	110
15XΦ	550	750	13	50	350	320	83	81
40XΦA	750	990	10	50	380	370	101	96
20XH	600	800	14	50	360	330	88	86
40XH	800	1000	11	45	380	400	106	106
45XH	850	1050	10	45	390	420	110	110
50XH	900	1100	9	40	400	450	115	115
20XH3A	750	950	12	55	380	380	101	101
30XH3A	800	1000	10	50	380	400	106	106
20XГCA	650	800	12	45	360	330	92	86
30XГCA	850	1100	10	45	390	440	110	115
15XГHTA	750	950	11	55	380	380	101	101
20XH2M	700	900	11	50	370	370	97	96
30XHMA	800	1000	10	45	390	400	106	106
38XHMA	950	1100	12	50	410	440	120	115
38XH3MA	1000	1100	12	50	410	440	124	115
38XMIOA	850	1000	14	50	410	400	110	106

შენიშვნა: 1. სტანდარტი ვრცელდება ცხლად გლინულ და ნაჭედ ფოლადებზე, დიამეტრით ან სისქით 250 მმ-მდე, დაკალიბრებულ და ვერცხლა ფოლადებზე, რომლებიც გამოიყენება თერმულად დამუშავებულ მდგომარეობაში.

2. თერმული დამუშავების რეჟიმები ფოლადის სხვადასხვა მარკებისათვის მოცემულია სახ. სტანდარტში ГОСТ 4543.

3. ცხრილში შეტანილია ფოლადები, რომელთა სიმტკიცის ზღვარი ≤ 1100 მპა-ზე.

4. ლეგირებული ელემენტების ასოითი სტანდარტული აღნიშვნები:

B – ვოლფრამი; Г – მანგანუმი; M – მოლიბდენი; H – ნიკელი; C – სილიციუმი; T – ტიტანი; Φ – ვანადიუმი; X – ქრომი; IO – ალუმინი; ასო A-თი აღნიშნულია ხარისხოვანი და მაღალხარისხოვანი ფოლადები.

ცხრილი 12.6

სორტირებული, კოროზიული და მხურვალმდევი ფოლადების
(სახ. სტანდარტი ГОСТ 5632) მექანიკური თვისებები
და დაღლილობის მახასიათებლები

ფოლადის მარკა	თერმული დამუშავების სახე	მექანიკური თვისებები				საშუალო მნიშვნელობა, მპა			
		σ_T , მპა	σ_b , მპა	δ , %	ψ , %	σ_{-1limb} , მპა		$K=lg\alpha$	
		არანაკლები				σ_b მიხედვით	σ_T მიხედვით	σ_b მიხედვით	σ_T მიხედვით
15X5	0	400	170	24	50	190	170	47	49
40X9C2	0	750	500	15	35	320	330	81	79
40X10C2M	3	950	750	10	35	380	380	101	101
20X13	3	660	450	16	55	280	300	72	75
14X17H2	3	1100	850	10	30	440	390	115	110
15X6CЮ	0	450	250	20	40	210	210	52	56
12X13	3	600	420	20	60	260	290	66	72
12X17	0	400	250	20	50	190	210	47	56
09X17H7Ю1	3	850	750	12	40	350	380	91	101
12X18H9	3	300	200	45	55	230	180	56	52
36X18H25C2	3	650	350	25	40	280	250	70	65

შენიშვნა: 1. თერმული დამუშავების სახეები: 0 – მოწვა; 3–წრთობა და მოშვება. თერმული დამუშავების რეჟიმები მოცემულია სახ. სტანდარტით ГОСТ 5949.

2. მექანიკური თვისებები მოცემულია 600 მმ-მდე დიამეტრის ან სისქის ფოლადებისათვის.

ცხრილი 12.7

კონსტრუქციული ლეგირებული (თერმული დამუშავებით) ფოლადის
მექანიკური თვისებები და დადლილობის მახასიათებლები

ფოლადის მარკა	მექანიკური თვისებები				საშუალო მნიშვნელობა, მპა			
	σ_T , მპა	σ_b , მპა	δ , %	ψ , %	σ_{limb}		$K=tg\alpha$	
	არანაკლები				σ_T მიხედვით	σ_b მიხედვით	σ_T მიხედვით	σ_b მიხედვით
ნორმალიზაცია და მოშვება								
20XМЛ	250	450	18	30	210	210	56	52
20 ГСЛ	300	550	18	30	230	250	61	61
30 ГСЛ	350	600	14	25	250	260	65	66
35XМЛ	400	600	12	20	280	260	70	66
35ГЛ	300	550	12	20	230	250	61	61
40ГЛ	350	650	12	30	250	280	65	70
30X ГСЛ	350	600	14	25	250	260	65	66
წრობა და მოშვება								
27 ГЛ	450	650	10	20	300	280	74	70
35 ГЛ	350	600	14	30	250	260	65	66
30 ГСЛ	400	650	14	30	280	280	70	70

თერმულად დამუშავებული ფოლადების მექანიკური მახასიათებლები

ფოლადის მარკა	თერმული დამუშავება	საშუალო მნიშვნელობა, მპა									
		σ_b , მპა	σ_T , მპა	ამტანობის უნარის ზღვარი σ_{-1limb} , მპა			ყველაზე მოსალოდნელი (საშუალო) σ_{-1limb} , მპა		$K=tg\alpha$		
				გაჭიმვაზე	გალუნვაზე	გრეხაზე	σ_b	σ_T	σ_b	σ_T	σ_{-1limb}
							მიხედვით	მიხედვით	მიხედვით	მიხედვით	მიხედვით
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15, C _T 2	H	≥370	220	150	170	115	≥190	195	≥48	51	51
	Ц1-B59	450-550	250	190	210	140	210-240	210	51-55	47	54
20, C _T 3	H	≥410	250	150	180	110	≥200	210	≥49	47	51
	Ц1-B59	500-600	300	140	180	110	225-255	230	53-57	55	51
30, C _T 4	H	480-600	280	170	200	120	220-255	220	52-57	52	53
35, C _T 5	H	≥520	310	180	220	150	≥230	235	≥54	57	55
	B35	≥1000	650	300	380	250	≥370	390	≥73	95	72
40	H	570	320	180	230	140	245	240	≥56	59	57
	Y	≥700	400	240	300	180	280	275	≥61	72	64
	O	520-630	300	180	230	150	230-260	230	54-58	55	56
	H	≥600	340	220	260	180	≥255	250	≥57	62	59

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
45, Ст 6	У	≥750	450	260	300	220	≥300	290	≥63	80	67
	M35	≥900	650	330	410	240	≥340	380	≥73	95	75
	B48	≥1200	950	460	580	380	≥565	525	≥81	119	92
50	H	≥640	350	220	280	160	≥256	250	59	64	62
	У	700-800	530	270	340	200	280-310	335	61-65	94	68
60Г	H	≥700	380	250	320	190	≥300	370	≥64	68	76
20X	H	460-600	300	180	210	140	210-260	230	53-66	61	46
	У	≥700	500	220	300	190	300	330	76	79	69
	O	≥530	≥500	220	280	180	240	330	60	79	74
40X	У	≥800	650	300	260	240	330	370	86	92	83
	M39	1100-1300	900	410	490	350	440-510	400	115-135	115	116
	O	650-750	600	240	300	190	280-310	360	70-81	88	69
45X	У	≥1050	850	320	430	260	≥420	390	≥110	110	100
30XГСА	У	1100	850	380	480	280	440	390	115	110	113
35XГС	У	≥1200	≥1000	400	480	260	470	410	≥125	≥124	113
	M50	≥1700	≥1500	600	700	370	≥580	580	≥174	≥169	168
	O	650-750	≥550	220	320	180	380-310	350	70-81	≥87	73

გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40XH	Y	≥900	≥750	300	420	240	≥370	380	≥96	≥101	98
	M42	≥1200	≥1000	360	540	300	470	410	≥125	≥124	128
30XH3A	Y	1100	900	390	490	290	440	400	115	115	115
40XHMA	Y	1000	850	400	500	270	400	390	105	110	118
40XCA	Y	1250	1050	320	400	240	490	420	130	128	94
ЦХ15	O	600-730	380	240	340	190	260-130	270	66-79	68	78
15JI	H	400	200	130	160	90	190	185	49	38	49
25JI	H	450	240	150	185	105	210	205	51	45	52
45JI	H	550	320	185	235	130	260	240	55	59	57
55JI	H	600	350	210	260	145	280	250	57	63	60
40XГJI	Y	910	550	250	360	200	370	350	81	83	83

შენიშვნა: თერმული დამუშავებისათვის შემოღებულია შემდეგი სახის აღნიშვნები: O – მოწვა; H– ნორმალიზაცია; Y – გაუმჯობესება; B 35 – წრთობა წყალში მოშვებით სისაღებზე 30-40 HRC; M 48 – იგივე ზეთში სისაღებზე 46-59 HRC; Ц1-B 59 – ცემენტაცია 1 მმ სიღრმეზე, წრთობა წყალში და მოშვებით სისაღებზე 56-62 HRC.

ცხრილი 12.9

დენადობისა და ამტანობის უნარის ზღვრები ფოლადებისათვის

სხვადასხვა დეფორმაციების დროს [7]

ფოლადის მარკა	დენადობის ზღვარი, მპა			ამტანობის უნარის ზღვარი, მპა			
	გაჭიმვაზე	ღუნვაზე	გრეხაზე	გაჭიმვაზე	ღუნვაზე	გრეხაზე	ჭრაზე
10	180	290	125	140	160	80	70
15	200	320	135	145	170	85	75
20	220	350	150	150	180	100	85
25	240	380	165	160	190	110	90
30	260	410	185	165	200	120	100
35	280	435	195	175	215	130	110
40	300	465	210	185	230	140	120
45	320	495	225	215	250	160	140
40Г	300	330	240	220	230	170	160
40X	365	680	240	250	280	225	205
36XH4A	510	760	380	340	350	280	270
1X13	440	—	—	170	220	190	160
30XH2M	526	—	—	246	270	175	160

ცხრილი 12.10

სიმტკიცის და ამტანობის უნარის ზღვრები ფოლადებისათვის
სხვადასხვა დეფორმაციების დროს [7]

ფოლადის მარკა	σ_b , მპა	ამტანობის უნარის ზღვარი σ_{-limb} , მპა		
		გაჭიმვაზე	ლუნვაზე	გრუნვაზე
ნახშირბადოვანი ფოლადები დეფორმაციის შემდეგ				
10	370	135	190	100
15	400	140	195	107
20	450	140	195	115
25	490	160	220	110
30	540	190	235	115
35	585	195	260	155
40	570	185	230	–
45	675	230	295	182
50	715	245	310	–
ლეგირებული ფოლადები წრთობისა და მოშვების შემდეგ				
40XH	900	290	400	240
12XH3A	950	295	430	–
18XHBA	1150	380	565	–
25XHBA	1100	335	500	–
37XH3A	1040	435	475	315
20XH3A	700	300	345	235
30XMA	850	380	375	230
30XГСА	1150	535	520	245
30XH2	730	240	270	175
40XΦA	980	440	–	270
40CX	1030	530	–	270

σ_{-1limb} და $K=tg\alpha$ მნიშვნელობები, რომლებიც მოცემულია ცხრილებში 12.3...12.10, შეიძლება მიღებული იქნეს σ_b და σ_T მეშვეობით შემდეგი დამოკიდებულებებიდან:

ნახშირბადოვანი ფოლადებისათვის –

$$\sigma_{-1limb} = 0,29 \sigma_b + 79; \quad (12.10)$$

$$\sigma_{-1limb} = 0,45 \sigma_T + 95; \quad (12.11)$$

$$K = 0,04 \sigma_b + 33; \quad (12.12)$$

$$K = 0,17 \sigma_T + 4. \quad (12.13)$$

ლეგირებული ფოლადებისათვის –

$$\sigma_{-1limb} = 0,35 \sigma_b + 53; \quad (12.14)$$

$$\sigma_{-1limb} = 0,49 \sigma_b + 79, \text{ როცა } \sigma_T < 500 \text{ მპა}; \quad (12.15)$$

$$\sigma_{-1limb} = 0,13 \sigma_b + 280, \text{ როცა } \sigma_T > 500 \text{ მპა}; \quad (12.16)$$

$$K = 0,098 \sigma_b + 7; \quad (12.17)$$

$$K = 0,09 \sigma_T + 34. \quad (12.18)$$

მიუხედავად მასალების – ფოლადების მექანიკურ მაჩვენებლებს შორის დიდი განსხვავებისა, დაღლილობის მახასიათებლები – σ_{-1limb} და $K=tg\alpha$, რომლებიც განსაზღვრული არიან ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებით σ_b და σ_T მიხედვით, ერთმანეთთან საკმაოდ მიხლოებულია და შეიძლება მათი საინჟინრო პრაქტიკაში გამოყენება.

წინასწარი და საორიენტაციო გაანგარიშებების დროს დასაშვებია ცხრილში 12.11 მოყვანილი გამარტივებული დამოკიდებულებებით სარგებლობა.

რეკომენდებულია აგრეთვე $\sigma_{0limb}=(1,4...1,6)\sigma_{-1limb}$ [7] დამოკიდებულებით სარგებლობა.

ცხრილი 12.11

ამტანობის უნარის ზღვრის დამოკიდებულება მასალის მექანიკურ მაჩვენებლებზე საორიენტაციო გაანგარიშების დროს [3]

დეფორმაციის სახე	სიმეტრიული, ნიშანცვლადი ციკლი	პულსირებული მულტიციკლიანი ციკლი
ლუნვა ა) ფოლადი	$\sigma_{-1limb} = 0,43\sigma_b$	$\sigma_{0limb} = 0,6\sigma_b$
ბ) თუჯი	$\sigma_{-1limb} = 0,45\sigma_b$	—
გაჭიმვა-კუმშვა	$\sigma_{-1limb} = 0,36\sigma_b$	$\sigma_{0limb} = 0,5\sigma_b$
გრეხა	$\tau_{-1limb} = 0,22\sigma_b$	$\tau_{0limb} = 0,3\sigma_b$

ყოფილი სსრკ-ს სახელმწიფო სტანდარტი ГОСТ 21354-87* კბილების კონტაქტურ დაბეჭეზე ამტანობის უნარის ზღვრის — σ_{Hlimb} სისალის მექანიკური მაჩვენებლების მეშვეობით განსაზღვრისათვის კვთავაზობს შემდეგ დამოკიდებულებებს (ცხრ. 12.12).

ცხრილი 12.12

ამტანობის უნარის ზღვრის დამოკიდებულება სისალის მექანიკურ მაჩვენებლებზე

კბილების თერმული ქიმიური დამუშავების მეთოდები	კბილების ზედაპირების საშუალო სისალე	ფოლადები	σ_{Hlimb} -ის განსაზღვრის ფორმულები, მპა
მოწვა, ნორმალიზაცია ან გაუმჯობესება	HB 350-ზე ნაკლები	ნახშირბადოვანი და ლეგირებული	$\sigma_{Hlimb} = 2H_{HB} + 70$
მოცულობითი წრთობა	HRC 38-50		$\sigma_{Hlimb} = 18H_{HRC} + 150$
ზედაპირული წრთობა	HRC 40-50		$\sigma_{Hlimb} = 17H_{HRC} + 200$
ცემენტაცია და ნიტროცემენტაცია	HRC 56-ზე მეტი	ლეგირებული	$\sigma_{Hlimb} = 23H_{HRC}$
დაზოტება	HV 550-750		$\sigma_{Hlimb} = 1050$

შენიშვნა: ურთიერთთანაფარდობა სისალეებს შორის, რომლებიც გამოსახულია HRC (როკველის), HB (ბრინელის) და HV (ვიკერსის) ერთეულებში, მოცემულია გრაფიკებზე (ნახ.12.7, 12.8).

* შეესაბამება თანამედროვე ISO-სსაერთაშორისო ნორმებსა და სტანდარტებს

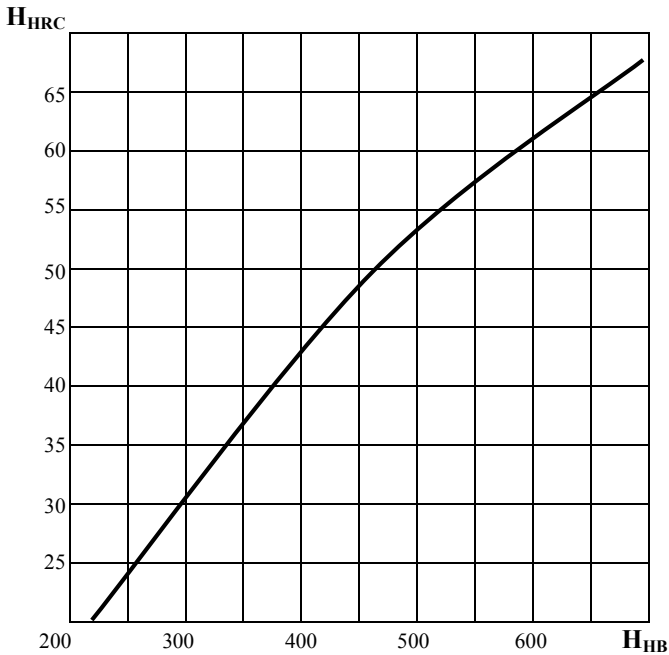
12.8 ცხრილში მასალის ძირითად მექანიკურ მაჩვენებლებთან – σ_b და σ_T ერთად მოცემულია დაღლილობაზე ამტანობის უნარის ზღვრის ცხრილური მაჩვენებლები გაჭიმვაზე, ლუნვაზე და გრეხაზე, როგორც ნახშირბადოვანი, ისე ლეგირებული ფოლადებისათვის. მასალის მექანიკური მახასიათებლებისა და ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებების (12.10...12.18) მეშვეობით მიღებული დაღლილობის საანგარიშო მახასიათებლების – σ_{-limb} და $K=iga$ მოსალოდნელი, საშუალო მნიშვნელობები ლუნვის ძაბვაზე ასევე მოყვანილია ცხრილში 12.10.

დაღლილობის მახასიათებლების – σ_{-limb} და $K=iga$ ცხრილური მონაცემებისა და საანგარიშოს (შესაბამისი მაჩვენებლები ლუნვის ძაბვებზე) შეთანხმებულობის გაანალიზება გვიჩვენებს მათ დამაკმაყოფილებელ ურთიერთსიახლოვეს, როგორც ნახშირბადოვანი, ისე ლეგირებული ფოლადებისათვის.

12.9 და 12.10 ცხრილებში მოცემულია დაღლილობის მახასიათებლები სხვადასხვა სახის ძაბვებისათვის.

როგორც აღვნიშნეთ, დაღლილობის მრუდის გარდატეხის წერტილს (N_0), გამოცდების ნორმალური პირობებისათვის და ტრადიციული კონსტრუქციული მასალების – ფოლადების გამოყენების დროს, შეესაბამება $2,1 \cdot 10^6 \dots 2,5 \cdot 10^6$ დიაპაზონი. თუმცა უმცირესი კვადრატების მეთოდით მიღებული ყველაზე მოსალოდნელი შედეგი $2,1 \cdot 10^6$ ციკლია [7].

ცხრილებში მოყვანილი σ_{-limb} , K და N_0 სიდიდეებით ფოლადებისათვის შესაძლებელია დაღლილობის მრუდის აგება. საჭიროა ხასგასმით ითქვას, რომ ასეთი გზით მიღებული შედეგები დაღლილობის მახასიათებლების ყველაზე მოსალოდნელი საშუალო მაჩვენებლებია და იგი განსხვავდება საინჟინრო პრაქტიკაში მიღებული საანგარიშო სიდიდეებისაგან, რომლებიც ითვალისწინებენ გარკვეულ მარაგს.



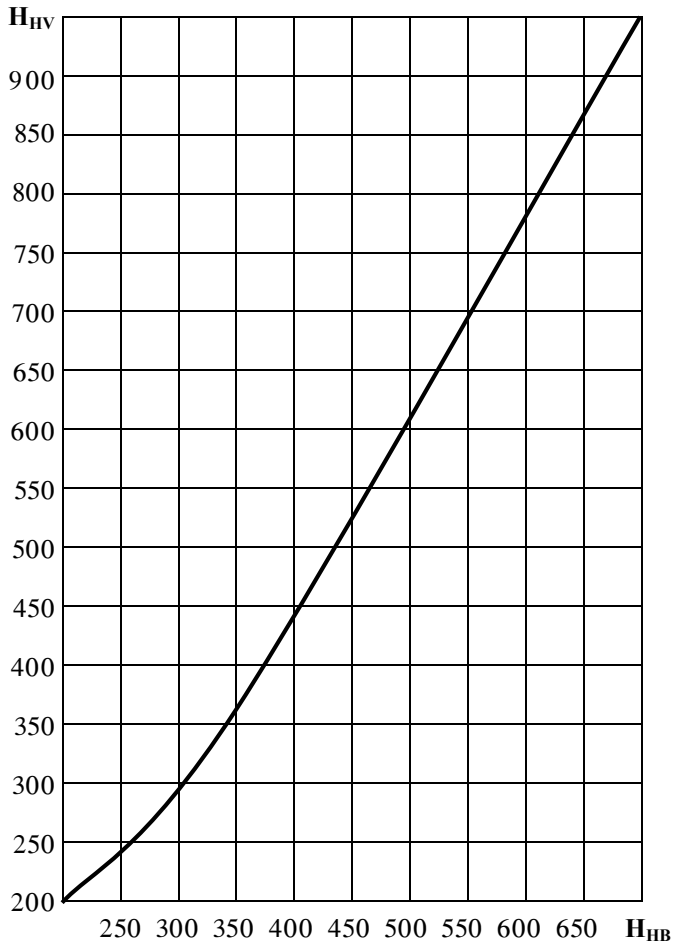
ნახ. 12.7. სისაღესა ურთიერთანაფარდობის გრაფიკი HB და HRC ერთეულებში

ტექნიკურ ლიტერატურაში ცნობილია აგრეთვე დეტალების დაღლილობაზე გაანგარიშებისათვის საანგარიშო ძაბვების დამოკიდებულებები ამპლიტუდურ, საშუალო, მაქსიმალურ და მინიმალურ ძაბვებზე:

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 + \sigma_a \cdot \sigma_m ; \quad (12.19)$$

$$\sigma^2 = \sigma_{max}^2 - \sigma_{max} \cdot \sigma_m ; \quad (12.20)$$

$$\sigma^2 = \sigma_{min}^2 + 2\sigma_m^2 - 3\sigma_{min} \cdot \sigma_m , \quad (12.21)$$



ნახ. 12.8. სისაღეთა ურთიერთანაფარდობის გრაფიკი HB და HV ერთეულებში

სადაც σ_a , σ_m , σ_{max} , σ_{min} შესაბამისად ამპლიტუდური, საშუალო, მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვებია.

საჭიროა კიდევ ერთხელ აღინიშნოს ის გარემოება, რომ ცვლადი დატვირთვების მოქმედების შედეგად აქ მოყვანილი მონაცემები მასალების

სიმტკიცეზე, შეესაბამება გარკვეული ზომის სტანდარტული ნიმუშების გამოცდების შედეგებს, ამიტომ და კიდევ მრავალი სხვა ფაქტორების გამო მანქანათა დეტალების ამტანობის უნარის შეფასებისათვის არსებული გრაფიკულ-ექსპერიმენტული მონაცემები საჭიროებს კორექტირებას ზემოთ აღნიშნული კოეფიციენტების მეშვეობით. გარდა ამისა, საჭიროა აღინიშნოს, რომ დაღლილობის მრუდების მიღების დროს ნიმუშების მონაცემების გაბნევა საკმაოდ დიდი სიდიდისაა. იგი უფრო მეტია მაღალი სიმტკიცის მქონე მასალებისათვის. საერთოდ, გაბნევის მიზეზებად შეიძლება ჩაითვალოს: გამოცდების ჩატარების იდენტურობის მიღწევის შეუძლებლობა, დამზადების ტექნოლოგიური ფაქტორები და მრავალი სხვა.

ზემოთ მოყვანილი მიზეზების გამო, დეტალების ამტანობის უნარზე შედარებით ზუსტი შედეგების მიღებისათვის მიზანშეწონილია გამოცდების ჩატარება ნატურალურ ნაკეთობაზე, ექსპლუატაციურთან მაქსიმალურად მიახლოებულ პირობებში.

დაღლილობის მრუდის აგების პროცესში საჭირო შემთხვევითი სიდიდეების ფიქსირებისათვის, დამაბულობათა სხვადასხვა დონეებისათვის, აუცილებელია ექსპერიმენტების საკმაოდ დიდი რაოდენობით ჩატარება. თუ ძაბვათა რომელიმე I – I დონისათვის დატვირთვების ციკლთა რიცხვზე $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ წყობიდან გამოვიდა n ნიმუში, მაშინ მრღვევი ციკლთა რიცხვი იმავე დონისათვის იქნება

$$\bar{N}_I = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \quad (12.22)$$

მიღებული შედეგი დაიტანება ასაკები დაღლილობის გრაფიკის (ნახ.12.6) I – I ძაბვათა დონეზე.

ანალოგიურად განისაზღვრება მრღვევი ციკლოთა რიცხვი სხვა ღონეებისათვისაც.

გაბნევას, რომელიც ახასიათებს მრღვევ N_i ციკლოთა რიცხვს, მაგალითად, საშუალო \bar{N}_I -ის მიმართ, ვპოულობთ ჩვეულებრივი სტანდარტული საშუალო კვადრატული გადახრით:

$$\sigma_{N_I} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N}_I)^2}}{n} \quad (12.23)$$

თუ ძაბვათა I – I ღონეზე ციკლოთა რიცხვის – N_I გაბნევა ხასიათდება განაწილების ნორმალური კანონით, მაშინ განაწილების იგივე კანონი ვრცელდება მრღვევი ძაბვების ციკლოთა რიცხვის სხვა ღონეებზეც.

12.5. დეტალის ამტანობის უნარის დასაშვები ძაბვა

მანქანათა დეტალის მუშაობის უნარის მთავარ პირობას წარმოადგენს დატვირთვების შედეგად გაჩენილი და დასაშვები ძაბვების შესაბამისობა. ორივე მათგანის სწორად შეფასება განსაზღვრავს კონსტრუირების და მამასადამე, მანქანის ხარისხს.

ბუნებრივია, დასაშვები ძაბვის დაუსაბუთებლად დიდი მნიშვნელობის აღებას, ნამზადის ეკონომიურობისა და ექსპლუატაციური მაჩვენებლების გაუარესებამდე მიყვავართ, ხოლო შემცირებული მნიშვნელობის აღებას ნაკეთობის მცირე სიმტკიცის მიზეზით – კონსტრუქციის არასაიმედოობამდე.

დასაშვები ძაბვების შერჩევის უმარტივეს და მოძველებულ მეთოდს წარმოადგენს ე.წ. ცხრილური მეთოდი. იგი გამოიყენებოდა მანქანათმშენებლობის განვითარების ადრეულ ეტაპებზე, როცა კონსტრუქციული მასალების ნომენკლატურა ფრიად შეზღუდული იყო და

ამდენად, მანქანათმშენებლობის ყველა უწყებისათვის არსებული მასალების დასაშვები ძაბვებისათვის ერთიანი ცხრილების გამოყენება გამართლებული გახლდათ. ამ მეთოდის ერთადერთ უპირატესობას წარმოადგენს მისი სიმარტივე. მეთოდი ნაწილობრივ და გარკვეული ასპექტით დღესაც გამოიყენება, კერძოდ, იმ ცალკეული უწყებებისათვის, რომლებისთვისაც არსებობს სპეციალიზებული ნორმები და რეკომენდაციები სიმტკიცის მარაგის განსაზღვრისათვის, და იმ შემთხვევებისათვის, როცა უკანასკნელს აქვს განსაკუთრებული მნიშვნელობა. ასე, მაგალითად, ამწე-სატრანსპორტო მანქანა-მოწყობილობისათვის საჭირო სპეციალური დეტალებისა და მექანიზმების (ბაგირები, კავები, ტვირთდამჭერი საშუალებები, მუხრუჭები, და ა.შ.) კონსტრუირების დროს, როცა მათი სიმტკიცის მარაგი განისაზღვრება სახელმწიფო სამთო-ტექნიკური ზედამხედველობის მიერ რეგლამენტირებული ნორმებით, დასაშვები ძაბვების დადგენისათვის ზოგჯერ იყენებენ ცხრილურ მეთოდს.

უმეტეს შემთხვევაში მანქანათმშენებლობის კონსტრუქტორი არ არის შეზღუდული ასეთი ნორმებით და იგი თავისი შეხედულებით (უკიდურეს შემთხვევაში რეკომენდაციების საფუძველზე) ირჩევს სიმტკიცის მარაგის საჭირო სიდიდეს. უკანასკნელი, როგორც წესი, მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე რეგლამენტირებული სიდიდეები.

კონსტრუირების პროცესისადმი ასეთ მიდგომას დღეს შეესაბამება დასაშვები ძაბვების შერჩევის ფართოდ მიღებული მეთოდი – ანალიზური განსაზღვრის მეთოდი. მანქანათა ნაწილების გაანგარიშების და მუშაობის უნარის შეფასების კრიტერიუმს დაღლილობაზე წარმოადგენს ცნობილი პირობა

$$\sigma \leq \sigma_p, \quad (8.24)$$

სადაც σ მოცემული დატვირთვისაგან აღძრული მაქსიმალური საანგარიშო ძაბვაა; σ_p – დასაშვები ძაბვა და ციკლური მრავალჯერადი დატვირთვების შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{lim} \cdot K}{S}, \quad (8.25)$$

აქ S უსაფრთხოების კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს მასალის არასაიმედოობას, არასტაბილურობას და დეტალის პასუხისმგებლობის მომენტს, ყოფილი სსრკ-ს სახელმწიფო სტანდარტების მიხედვით კბილანების კონტაქტურ ძაბვებზე ამტანობის უნარის ზღვრის გაანგარიშების დროს იგი აიღება 1,1...1,2 ფარგლებში და მხოლოდ საპასუხისმგებლო დეტალებისათვის შეიძლება გაიზარდოს 1,25...1,35-მდე. იგივე სტანდარტის მიხედვით კბილანების, ოღონდ ლუნვის ძაბვებზე ამტანობის უნარის ზღვრის გაანგარიშების დროს შესაბამისი კოეფიციენტი განისაზღვრება, როგორც S'_F და S''_F კოეფიციენტების ნამრავლი, რომელთაგანაც S'_F კოეფიციენტი ითვალისწინებს მასალის არასტაბილურობას და მოცემული კბილანური გადაცემის პასუხისმგებლობას. S'_F კოეფიციენტი თერმული, თერმულ-ქიმიური დამუშავების და დეტალის რღვევის ალბათობის (რომელიც აიღება – 0,99 და მეტი) მიხედვით მოცემულია ცხრილებში [16]. მთლიანად კოეფიციენტი S'_F აიღება ზღვრებში 1,75...2,2.

S''_F კოეფიციენტი ითვალისწინებს კბილანის დამზადების მეთოდს.

ნაჭედი და ნატიფი ნამზადებისათვის $S''_F=1$;

გლინული ნამზადისათვის $S''_F=1,15$;

სხმული ნამზადისათვის $S''_F=1,3$.

S''_F -ის ამავე მონაცემებით შეიძლება ვისარგებლოთ სხვა სახის დეფორმაციების დროსაც.

σ_{lim} ამტანობის უნარის ზღვარი დატვირთვების რაღაც ციკლთა რიცხვისათვის შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma_{lim} = \sigma_{limb} \cdot K_L, \quad (12.26)$$

სადაც σ_{limb} ამტანობის უნარის ზღვარია დეტალის დატვირთვების ბაზური ციკლთა რიცხვის დროს. შესაბამისად ამტანობის უნარის ზღვარი ნიშანცვლადი დატვირთვების დროს – σ_{limb} და ამტანობის უნარის ზღვარი პულსირებული დატვირთვების დროს – σ_{limb} შეიძლება შერჩეული იქნეს წინა პარაგრაფში მოყვანილი ერთ-ერთი მეთოდით. ამასთან, კონტაქტურ დატვირთვებზე ამტანობის უნარის ზღვრი მიზანშეწონილია განისაზღვროს მასალის სისალის მახასიათებლის მიხედვით, ე.ი. ისევე, როგორც ამას სახელმწიფო სტანდარტი ГОСТ 21354-87 ითვალისწინებს კბილანების ამტანობის უნარზე გაანგარიშების დროს.

K_L ხანგამძლეობის კოეფიციენტია და განისაზღვრება ფორმულით

$$K_L = m \sqrt{\frac{N_b}{N}}, \quad (12.27)$$

სადაც m მჩვენებელია და უმეტეს შემთხვევაში 6-ის ტოლია. $m=9$, როცა კბილანების ღუნვის დატვირთვებზე ამტანობის უნარის ზღვრის განსაზღვრის დროს კბილის სხვადასხვა ზედაპირების ერთმანეთში გადასვლის ადგილები არ არის გახეხილი და მისი სისალე არ აღემატება HB 350-ს;

N_b – დატვირთვათა ციკლური ცვლილებების საბაზო რიცხვი და კონსტრუქციული მასალებისაგან დამზადებული ნიმუშებისათვის აიღება $N_b = 10^7$. კბილანების კონტაქტურ დატვირთვებზე ამტანობის უნარის ზღვრის გაანგარიშების დროს N_b -ს იღებენ ზღვრებში (10...120) 10^6 და მასალის სისალის მიხედვით განისაზღვრება გამოსახულებით (12.4) ან გრაფიკით (ნახ.12.9).

კბილანების ღუნვის დაბვაზე ამტანობის უნარის ზღვრის გაანგარიშების დროს ზემოთ აღნიშნული სტანდარტის შესაბამისად იღებენ $N_b=4 \cdot 10^6$.

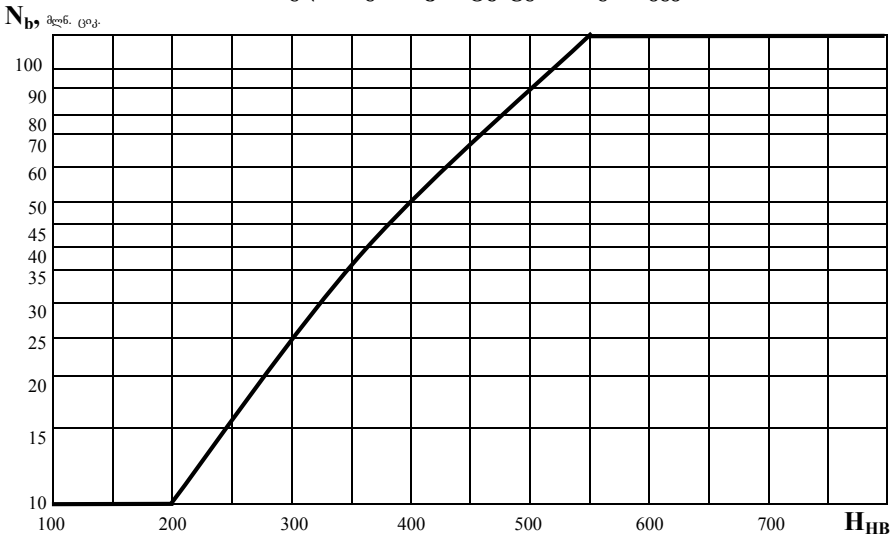
N – დაბვათა მოცემული ციკლური ცვლილებების რიცხვი.

ზუსტი გაანგარიშებების დროს საჭიროა ვისარგებლოთ სპეციალურ ლიტერატურაში არსებული მასალებით. ასეთად შეიძლება შერჩეული იქნეს წყარო [7].

კონტაქტურ დაბვებზე ამტანობის უნარის ზღვრის გაანგარიშების დროს თუ $N > N_b$ და დატვირთვა მუდმივი სიდიდისაა, $K_L=0,9...1,0$, ხოლო ცვალებადი სიდიდის დატვირთვის დროს $K_L=1,0$. თუ $N < N_b$, (12.27) ფორმულის შესაბამისად $K_L > 1$, მაგრამ აიღება არა უმეტეს 2,6-ის.

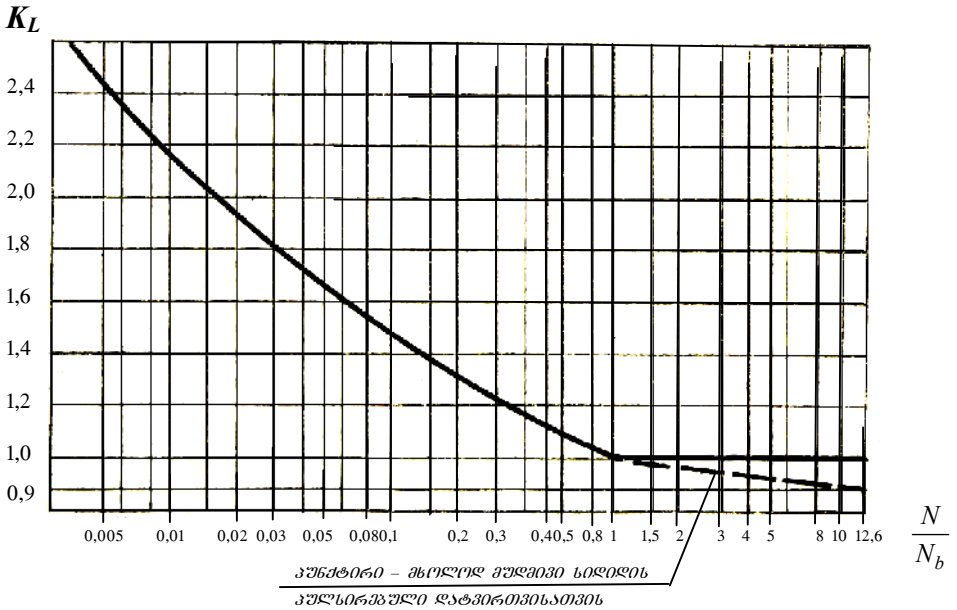
$K_L=1...2,6$ – ზედაპირების ჩვეულებრივი მდგომარეობისათვის და

$K_L=1...1,8$ – ზედაპირების განმტკიცების შემთხვევაში.



ნახ.12.9. დატვირთვათა ციკლების საბაზო რიცხვის განსაზღვრის გრაფიკი მასალის სისაღის მიხედვით

ლუნვის ძაბვაზე ამტანობის უნარის ზღვრის გაანგარიშების დროს, თუ $N > N_b$, K_L ყველა შემთხვევაში აიღება 1,0-ის ტოლი და თუ $N < N_b$, (12.27) ფორმულის შესაბამისად $K_L > 1$, მაგრამ აიღება არა უმეტეს 2-სა. ე.ი. $K_L = 1 \dots 2$, როცა $m=6$ და $K_L = 1 \dots 1,6$, როცა $m = 9$. (12.27) ფორმულის ნაცვლად პრაქტიკაში მოსახერხებელია გრაფიკით (12.10) სარგებლობა.



ნახ. 12.10. კოეფიციენტის განსაზღვრის გრაფიკი

კბილანური გადაცემის გაანგარიშების დროს, კერძოდ, ლუნვის ძაბვაზე ამტანობის ზღვრის – σ_{Flim} განსაზღვრისას საჭირო ხდება კიდევ ისეთი სპეციფიკური ტექნოლოგიური და ექსპლუატაციური პარამეტრების გათვალისწინება, როგორებიცაა: კბილის სხვადასხვა ზედაპირების ერთმანეთში გადასვლის ადგილების განმტკიცებისა და ხეხვის,

დატვირთვის ორმხრივი მოდების და სხვა ფაქტორები. მათ შესაბამისი სახელმწიფო სტანდარტების გაანგარიშების მეთოდოლოგია ითვალისწინებს.

K კოეფიციენტია, რომელიც შეიძლება შემდეგნაირად იქნეს წარმოდგენილი:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (12.28)$$

სადაც K_1 კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს დეტალის ზედაპირის სიმქისეს:

$K_1=1$ მე-7 კლასის (Ra 1,25...0,63) და უფრო მაღალი სიმქისის ზედაპირებისათვის;

$K_1=0,95$ მე-6 კლასის (Ra 2,5...1,25) სიმქისის ზედაპირებისათვის;

$K_1=0,9$ მე-5 და მე-4 კლასებისათვის (Rz 40...10);

K_2 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საანგარიშო სქემების შეუსაბამობას, გაანგარიშების სიზუსტე აიღება ზღვრებში 0,6...1,0.

K_3 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დეტალის გაბარიტულ ზომებს;

$K_3=1$ – მცირე და საშუალო ზომის დეტალებისათვის;

$K_3=0,96...1,0$ – 500...700 მმ-ზე უფრო დიდი ზომის დეტალებისათვის.

კბილანებისათვის K_3 -ის მნიშვნელობები მოცემულია შესაბამის სახელმწიფო სტანდარტში;

K_4 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვების დინამიკურ მაჩვენებლებს. კბილანებისათვის ეს წრეული სიჩქარეა და იგი დამოკიდებულია მასალის სისაღეზეც.

$K_4=1$, როცა $V=5$ მ/წმ;

$K_4=1,0...1,16$, როცა $V=5...24$ მ/წმ.

K_5 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ზეთის გავლენას და თუ მას არ ახასიათებს განსაკუთრებული ქიმიური აგრესიულობა, აიღება $K_5=1$.

K_1, K_2, K_3, K_4 და K_5 კოეფიციენტების შერჩევა შესაძლებელია აგრეთვე [7] ლიტერატურული წყაროს დანართებში (III0...III8) მოცემული მასალებით, სახელმწიფო სტანდარტის ГОСТ 21354-87-ის რეკომენდაციებით და სხვა მასალებით.

საჭიროა იმის საზგასმა, რომ ზემოთ აღნიშნული კოეფიციენტები გათვალისწინებული უნდა იქნეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ფაქტორები, რომლებსაც ისინი ასახავენ, მხედველობაში არ არის მიღებული σ_{lim} -ის განსაზღვრის დროს.

მაბალოთი. შევამოწმოთ სამაგრი ჭანჭიკის M16 (ფოლადი 45) დაღლილობაზე მუშაობის უნარი, თუ იგი განიცდის ნიშანცვლად სიმეტრიულ გაჭიმვა-კუმშვის დეფორმაციებს. ამასთან, აღძრული ძალა – $F_a=14000$ ნ, დატვირთვათა ციკლების რიცხვი – $N=10^6$.

მუშა დატვირთვისაგან აღძრული ძაბვა

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 14000}{3,14 \cdot 13,4^2} = 99,4 \text{ მპა (ნ/მმ}^2\text{)},$$

სადაც d_3 არის M16 ჭანჭიკის შიგა დიამეტრი და უდრის 13,4 მმ.

მუშა ძაბვა კორექციის კოეფიციენტის გათვალისწინებით

$$\bar{\sigma} = \sigma \cdot \bar{K} = 99,4 \cdot 1,5 = 149,2 \text{ მპა,}$$

სადაც \bar{K} კორექციის კოეფიციენტი მივიღოთ K_j კონცენტრაციის კოეფიციენტის ტოლად, $\bar{K} = K_j = 1,5$.

დასაშვები ძაბვა (12.25) გამოსახულების შესაბამისად

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{-lim} \cdot K}{S} = \frac{376,2 \cdot 0,72}{1,3} = 208,4 \text{ მპა,}$$

სადაც (12.26)-ის შესაბამისად

$$\sigma_{-1lim} = \sigma_{-1limb} \cdot K_L = 255,9 \cdot 1,47 = 376,2 \text{ მპა,}$$

სადაც σ_{-1limb} ანალიზურად განისაზღვრება 12.2 ცხრილიდან,

$$\sigma_{-1limb} = 0,29 \sigma_b + 79 = 0,29 \cdot 610 + 79 = 255,9 \text{ მპა,}$$

სადაც $\sigma_b = 610$ მპა ფოლადი 45-თვის (ცხრ. 123).

K_L – ხანგამძლეობის კოეფიციენტი (12.27) გამოსახულების მიხედვით

$$K_L = \sqrt[6]{\frac{N_b}{N}} = \sqrt[6]{\frac{107}{10^6}} = 1,47.$$

S – უსაფრთხოების კოეფიციენტი, ავიღოთ 1,3 ტოლი;

კოეფიციენტი

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,72$$

სადაც $K_1 = 0,9$ – მე-4 კლასის სიმქისის ზედაპირებისათვის (Rz 20);

$K_2 = 0,8$ – საშუალო სიზუსტით გაანგარიშებისათვის;

$K_3 = 1,0$ – საშუალო ზომის დეტალებისათვის;

$K_4 = 1,0$ – დინამიკური დატვირთვების გარეშე პირობებისათვის;

$K_5 = 1,0$ – როცა არ არსებობს ზეთის ფაქტორი.

ამრიგად, დაცულია დეტალის მუშაობის უნარის პირობა

$$\bar{\sigma} < \sigma_p = 208,4 \text{ მპა.}$$

ლიტერატურა

1. Бакрадзе И.И., Шилакадзе М.Е. Методика расчета пластмассовых подшипников скольжения при ограниченной смазке. Тбилиси: Мецниереба, 1967.-138с.
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1972.-472с.
3. Волков Д. П., Никалаев С. Н. Надежность строительных машин и оборудования. М.: Высшая школа, 1979.- 400с.
4. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1985.-424с.
5. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965.-524с.
6. Гаркунов Д.Н. , Поляков А.А. Повышение износостойкости деталей конструкции самолетов. М.: Машиностроение, 1974. -200с.
7. Гольц Б.В., Оболенский Е.П., Стефанович Ю.Г., Трофимов О.Ф. Прочность и долговечность автомобиля. М.: 1974.
8. Гриневич Г.П., Коменская Е.А., Алферов А.К., Златопольский А.В., Регирер Л.Е. Надежность строительных машин. Стройиздат, 1983.-296с.
9. Зорин В.А. Основы долговечности строительных машин. М.: Машиностроение, 1986. -245с.
10. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968.-480с.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: 1973.
12. Кос И.И., Зорин В.А. Основы надежности дорожных машин. М.: Машиностроение, 1978. -164с.
13. Мирцхулава Ц.Б. Надежность гидромелиоративных сооружений. М.: Колос, 1974. -278с.

14. Надежность в технике. Термины и определения. ГОСТ 27.002-83. М.: Изд-во стандартов, 1989. -11с.
15. Папок К.К., Рагозин Н.А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям. М.: Химия, 1975.-392с.
16. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Расчет на прочность. ГОСТ -21354-74. М., 1978.
17. Поляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. М.: Советское радио, 1971.-399с.
18. Решетов Д.Н. Детали машин. М.: Машиностроение, 1989.-496с.
19. Решетов Д.Н. Детали машин. М.: Машиностроение, 1964.-723с.
20. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей на прочность. М.: Машиностроение, 1975.-488с.
21. Справочник по триботехнике. В 3-х томах. Том 1. Под ред. М. Хебды, А.В.Чичинадзе. Москва, Варшава, 1989.
22. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. Т.1. М.: Машиностроение, 1979.-358с.
23. Федоров Д.И., Бондарович Б.А. Надежность рабочего оборудования землеройных машин. М.: Машиностроение, 1981.
24. Тимошенко С.П. Теория упругости. Л.-М.: ОНТИ, 1937.-451с.
25. Хазов Б.Ф. Обеспечение показателей надежности строительных и дорожных машин при проектировании. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1974.-51с.
26. Чернавский С.А. Подшипники скольжения. М.: Машгиз, 1963.-144с.
27. Чернавский С.А., Ицкович Г.М., Боков К.Н., Чернин И.М., Чернилевский Д.В. Курсовое проектирование деталей машин. М.: Машиностроение, 1979.-350с.

28. Шилакадзе М.Е. Исследование работоспособности и расчет подшипников скольжения с вкладышами из пластмасс при граничном трении. Автореферат диссертации на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Тбилиси, 1969.
29. Шилакадзе М.Е. Определение несущей способности подшипников скольжения из полимеров. Инженерная механика полимеров и применение пластмасс в промышленности. Материалы республиканского совещания. Тбилиси: Мецниереба, 1969.
30. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. М.Л.: Гостехиздат, 1949.-270с.
31. ვენტცელი ე. ალბათობის თეორია. თბილისი: განათლება, 1980. - 637გვ.
32. ნაძიჩიშვილი ო. საიმედოობის თეორია. თბილისი: თსუ, 1984. -236 გვ.
33. შილაკაძე მ. კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრა ტრიბოლოგიურ სისტემებში. საქ. მეც. “მომბე”. თბილისი, 1993, №2 ტ. 147. გვ. 286-293.
34. შილაკაძე მ. სამშენებლო მანქანების საიმედოობის საფუძვლები. თბილისი: სტუ, 1998.- 215 გვ.
35. შილაკაძე მ., სიორდია ა. კონტაქტური ძაბვებისა და მუშაობის უნარის განსაზღვრის თავისებურებანი ტრიბოლოგიურ სისტემებში. სტუ შრომები, №3(414) საიუბილეო გამოცემა. 1997.
36. შილაკაძე მ., თავხელიძე დ. ტრიბოტექნიკის საფუძვლები. თბილისი: სტუ, 2004წ. -182გვ.
37. Shilakadze M., Kashiashvili Z., Berishvili N. The Issues of Determination of the Calculative Flexibility Module in Sliding bearings, While Determining Contact Tensions. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 162, 4, 2000, Tbilisi pp10-15.

38. Bertsche B., Lechner G. Zuverlässigkeit im Maschinenbau. Springer – Verlag. Berlin, Heidelberg, NewYork, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barselona, 1990. – 188s.
39. Schlotmann D., Schnegas H. Auslegung von Konstruktionselementen. Sicherheit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit im Maschinenbau. VDI Springer.
40. VDI 4001 – Allgemeine Hinweise zum VDI-Handbuch Technische Zuverlässigkeit (1985-10).
41. VDI 4002 – Systemtechnische Grundlagen; Erläuterungen zum Problem der Zuverlässigkeit technischer Erzeugnisse und/oder Systeme (1986-07).
42. IEC 60300-1 – Dependability management systems (2003).
SN 29500 – Ausfallrate, Bauelement, Erwartungswert; weltweit anerkannte Hausnorm der Siemens AG (2005).
43. DIN 15018. Krane.
44. ISO 4301-1: 1986. Cranes and lifting appliances _ Classification _ Part 1: General.