

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რევაზ მოლოდინი

დენტური კონვეიერების ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო
ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევა

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი

დისერტაცია

სპეციალობა 05.05.06 – სამთო მანქანები

სამეცნიერო ხელმძღვანელი,
ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, პროფ. ვ. მუსხელიშვილი

საკრეჯი

შესავალი ----- 4

თავი I. ლენტური კონვეიერების ვაკუუმ-ამძრავების მუშაობის საერთო ანალიზი

- 1.1. ზოგადი მიმოხილვა ----- 15
- 1.2. ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციებისა და კონსტრუქციული სქემების კლასიფიკაცია და ანალიზი ----- 17
- 1.3. ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციები ----- 30
- 1.4. საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირებისადმი მიძღვნილი სამუშაოების ანალიზი ----- 37
- 1.5. დასკვნები და კვლევის შემდგომი ამოცანები ----- 42

თავი II. საკონვეიერო ამძრავების მოხახუნე ზედაპირების მაკროსიმქისის ანალიზი

- 2.1. ზედაპირების ტოპოგრაფიის (ტექსტურის) შესწავლის მეთოდები და პარამეტრები ----- 44
- 2.2. ვაკუუმ-ამძრავების, ხახუნის კვანძების საკონტაქტო ზედაპირების დახასიათება ----- 46
- 2.3. ვაკუუმ-ამძრავი, როგორც ლენტური საკისარი ----- 50
- 2.4. ვაკუუმ-ამძრავის ხახუნის კვანძების სტენდური გამოცდა ----- 53
 - 2.4.1. ხახუნის კვანძების გამოსაცდელი სტენდის მოწყობილობა ----- 53
 - 2.4.2. ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდოლოგია და გამზომი აპარატურა ---- 61

თავი III. ვაკუუმ-ამძრავების ოპტიმალური საკონტაქტო ზედაპირის დამუშავება და თეორიული გამოკვლევა

- 3.1. ტექნიკური მოთხოვნები საკონტაქტო ზედაპირის მიმართ ----- 66
- 3.2. ვაკუუმ-ამძრავის ახალი ტიპის საკონტაქტო ზედაპირი და მისი დახასიათება ----- 68

- 3.3. ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლის ლენტთან საკონტაქტო ჭვრიტეში სითხის შრის სისქის განსაზღვრა ----- 71
- 3.4. ვაკუუმ-დოლის რგოლური ჭვრიტის დგუშისეულ სივრცესთან შემაერთებელ ნახვრეტში სითხის უწყვეტ ნაკადად დინების კვლევა ----- 79

თავი IV. თეორიული, ექსპერიმენტული და კომპიუტერული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი

- 4.1. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი ---- 90
- 4.2. კომპიუტერული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი ----- 92

პირითადი დასკვნები ----- 97

ბამოყენებული ლიტერატურა ----- 100

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი, ეს არის მუდმივ გაუმჯობესებაში მყოფი მაღალმწარმოებლური ტექნოლოგიური პროცესისა და წარმოების იარაღების კომპლექსის გეგმიანი გამოყენება. მის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან რგოლს წარმოადგენს სატრანსპორტო მანქანა, რომლის სრულყოფილ ტექნოლოგიურ ფუნქციებზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული საწარმოების ეკონომიკა.

მრეწველობის და მეურნეობის განვითარებისათვის და მომსახურეობის სფეროს სრულყოფისათვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს არსებული სახის სატრანსპორტო საშუალებების ოპტიმალურ და მიზანსწრაფულ გამოყენებას, რისთვისაც საჭიროა მათი რეკონსტრუქცია და სრულყოფა, ცხოვრებისა და კონკრეტული პირობების მიერ დასმული პრობლემების შესაბამისად.

უდიდესი მნიშვნელობა აქვს როგორც სამთამადნო ასევე სხვა საწარმოების სატრანსპორტო მანქანების ოპტიმალურ და სრულყოფილ ექსპლუატაცია-მომსახურებას, რისთვისაც საჭიროა მათი პერსპექტიული სახეების, დანიშნულების, გაუმართაობის, მტყუნების მიზეზების და გაუმჯობესების მიმართულებათა ღრმად შესწავლა-ანალიზი.

მრეწველობისა და მეურნეობის მრავალ დარგებში დიდნაკადური ტვირთების გადაზიდვის ერთ-ერთ პერსპექტიულ სატრანსპორტო დანადგარს წარმოადგენს ლენტური კონვეიერი. მათი პროექტირების, სრულყოფის და წარმოების (მშენებლობის) პრობლემებით დაკავებულია სხვადასხვა ქვეყნის მრავალი ფირმა და საწარმო [46, 34, 35, 36]. პროექტირებისას დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს კონვეიერის გამოყენების არეს (პირობებს) და გადასაზიდი ტვირთების ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს. მათი გათვალისწინებით უნდა მოხდეს საკონვეიერო დანადგარის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა, სადაც უნდა ჩაიდოს ყველა ის ძირითადი მონაცემი, რომელიც საჭირო იქნება გაანგარიშებისა და მთლიანად პროექტის მკაფიოდ ჩამოყალიბებისათვის.

ლენტური კონვეიერის ამძრავის ძირითად მაჩვენებელს წარმოადგენს მაღალი წევის ფაქტორი, საკონტაქტო ზედაპრების მაღალი საექსპლუატაციო პარამეტრები, სამსახურის ვადა და ა.შ.

ცნობილია, რომ ლენტური კონვეიერის მაქსიმალური სიგრძე დამოკიდებულია: ამძრავის ტიპზე (წევის ფაქტორზე), ლენტის სიმტკიცეზე, მის

საწყის დაჭიმულობაზე, ტვირთის სატრანსპორტო ტრასის პროფილზე და საჭირო სიმძლავრეზე. ამასთანავე მითითებულია [35, 36], რომ ყველაზე მტკიცე რეზინ-გვარდიანი ლენტის სიმტკიცის ზღვარი ჩვეულებრივ შემოიფარგლება $6000 \div 6300$ დკნ/სმ. მისი შემდგომი გაზრდა კი ეკონომიკური და ტექნიკური თვალსაზრისით მიზანშეუწონელია. უფრო მტკიცე ლენტების წარმოებისას იზრდება მისი მასა და ღირებულება, ლენტის შეპირაპირების სიგრძე, დოლის დიამეტრი, რედუქტორის მგრები მომენტი, დგარის გაბარიტული ზომები და ლითონტევადობა და კონვეიერის სხვა მრავალი პარამეტრი [34].

ლენტური კონვეიერების მკვლევარები, ამ სიმტკიცის ლენტების ეფექტური (როდესაც $e^{\mu\beta}$ შედარებით დიდია) რეალიზაციისათვის გვთავაზობენ მრავალდოლიან ამძრავებს შუალედურ და კუდის ამძრავებთან კომპლექსში. მათივე კვლევების შედეგების მიხედვით $Q=4000$ ტ/სთ მწარმოებლობის ჰორიზონტალური კონვეიერის მაქსიმალური სიგრძე ერთდოლიანი ამძრავების შემთხვევაში არ აღემატება 850 მ, ორდოლიანისას კი 1300 მ. თუმცა, ლიტერატურულ წყაროებში მითითებულია 3,5 კმ სიგრძის კონვეიერის პროექტირების შესაძლებლობა ორდოლიანი ამძრავით. ასევე მითითებულია [36] 10 კმ სიგრძის ერთდგარიანი კონვეიერის პროექტირების შეუძლებლობა დოლური ტიპის ამძრავებით, ვინაიდან პრობლემის გადაწყვეტისათვის საჭიროა 10000 დკნ/სმ და უფრო მეტი სიმტკიცის ლენტი [34]. თანამედროვე ლიტერატურულ წყაროებში კი კონვეიერმშენებლობის მიღწევები ასე გამოიყურება: გერმანიის კარიერებზე “ფორტუნა” და “ხამბახი” ექსპლუატაციაში იყო 5 კმ სიგრძის ერთდგარიანი ლენტური კონვეიერი მწარმოებლობით $Q=40000$ ტ/სთ, ლენტის სიგანით $B=2,8$ მ და სიჩქარით $v=7,5$ მ/წმ, ამძრავების საერთო სიმძლავრით $N_{\Sigma}=6 \times 2000=12000$ კვტ [35].

ლაიპციგის საგამოფენო ბაზრობაზე 1977წ წარმოდგენილი იყო გერმანული ფორმა “ტაკრაფ“-ის ამძრავი მექანიზმი ძრავის სიმძლავრით 1500 კვტ. ასეთი სამბლოკიანი მექანიზმით აკრეფილი ორდოლიანი ამძრავის ბაზაზე მიღებული კონვეიერის მწარმოებლობა $Q=15400$ მ³/სთ-ია, ლენტის სიგანე $B=2,5$ მ, სიჩქარე $v=6,0$ მ/წმ, ამძრავების საერთო სიმძლავრე $N_{\Sigma}=3 \times 1500=4500$ კვტ [34].

მსოფლიოში ყველაზე დიდი საკონვეიერო სისტემა დააპროექტა და დაამონტაჟა გერმანულმა ფორმა “კრუპ“-მა. მისი საერთო სიგრძე შეადგენდა 100 კმ-ს, განლაგებული იყო ესპანეთის საჰარაში (აფრიკა) მაღარო “ბუ-კარაა“-დან

საზღვაო პორტამდე და ემსახურებოდა ფოსფატის ნედლეულის ტრანსპორტირებას. საკონვეიერო ტრასა შესდგებოდა 6,8-დან 11,7 კმ-მდე სიგრძის თერთმეტი კონვეიერისაგან 10 მლნ ტ/წ მწარმოებლობით. პორტში კონვეიერის განტვირთვის პუნქტი, საკონვეიერო სისტემის დატვირთვის პუნქტთან შედარებით 213 მ-ით დაბლა იმყოფებოდა. მთელ ტრასას ემსახურებოდა 51 ბაზისური ამძრავი მექანიზმი თითოეული სიმძლავრით 378 კვტ. ჯამური სიმძლავრე შეადგენდა 19278 კვტ-ს და ენერჯის ხარჯვის კოეფიციენტი შეადგენდა 0,0001 კვტ.სთ/ტმ სათავისა და კუდის ამძრავები აღჭურვილი იყო (საკუთარი) დამოუკიდებელი დამჭიმი მოწყობილობებით. ლენტის სიჩქარე შეადგენდა 4,5 მ/წმ და საბადოდან პორტამდე ტვირთი ჩადიოდა 6,18 სთ-ში [34].

საკონვეიერო ტრანსპორტის განვითარებაში მნიშვნელოვან ნაბიჯს წარმოადგენს დიდი ბრიტანეთის შახტა „სელბი“-ს დახრილ ჭაურში 1984-85წწ. ერთდგარიანი 14930 მ სიგრძის, D=2,674 მ დიამეტრის ერთამძრავლოლიანი ნახშირმზიდი კონვეიერის ექსპლუატაციაში შეყვანა. კონვეიერის პროექტი დაამუშავა ფირმებმა: „ანდერსონ სტარატკლაიდი“ (დიდი ბრიტანეთი) და „რეალიზაციონ დე ექვიფმენტს ინდუსტრი“ (საფრანგეთი). ამძრავი განლაგებულია შახტის ზედაპირზე და მოძრაობაში მოდის 2x5050 კვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ძრავით. ბრუნვის სიხშირე, პროგრამული ტექნიკის საშუალებით, 0-დან 60 წთ⁻¹-მდე ნარნარი რეგულირებით იცვლება კონვეიერის დატვირთვის რეჟიმის მიხედვით. ამუშავების მომენტი, რომელიც 4-5 წთ მიმდინარეობს, დამყარებულ რეჟიმში მუშაობის მომენტის 106 % არ აღემატება. ტვირთიანი დამჭიმი მოწყობილობა განლაგებულია უშუალოდ ამძრავთან. აწევის ვერტიკალური სიმაღლე 1000 მ-ია. მწარმოებლურობა 3200 ტ/სთ. გამოყენებულია ლენტი – ტიპი St-7100, რომლის სამსახურის ვადა გათვალისწინებულია 15 წელზე, ხოლო მთლიანად კონვეიერისა – 30 წელზე. ლენტის სიგანე 1,3 მ; მაქსიმალური სიჩქარე – 8,4 მ/წმ. აწევის ენერჯის ხარჯვის კოეფიციენტი – 0,00021 კვტ.სთ/ტმ [34, 79].

თანამედროვე კონვეიერების დამჭიმი მოწყობილობა ლენტის საწყისი დაჭიმულობის ავტომატური რეგულირების მიზნით აღიჭურვება გადამწოდებით. ისევ კვლევის სტადიაშია დამჭიმი მოწყობილობის მუშაობის ავტომატური რეგულირების სისტემა, რომელიც პროგრამული ტექნიკის საშუალებით უზრუნველყოფს ლენტის საწყის დაჭიმულობას გარემო პირობების, ამძრავის

საკონტაქტო ზედაპირების მდგომარეობისა და კონვეიერზე ტვირთაკადის სიდიდის მიხედვით [34].

მოტანილი ტექნიკური მაჩვენებლები სახასიათოა და მინიმალურად ასახავს დანარჩენი გრძელდგარიანი ლენტური კონვეიერების მრავალსახა პარამეტრებს, რომელთა დიდი რაოდენობა ამჟამად მუშაობს მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში.

განხილული მაგალითები და სხვა არსებული დანადგარებიც წარმოადგენს იმის უტყუარ საბუთს, რომ წვეის ძალების რეალიზაცია ძირითადად ხორციელდება: ლენტის საწყისი დაჭიმულობის (S_f) გაზრდით ან ამძრავზე მოქნილი საწვეი ორგანოს შემოხვევის კუთხის (α_p) მატების ხარჯზე მისი წვეის ფაქტორის ($e^{\mu\alpha}$) გაზრდით. უნდა აღინიშნოს, რომ პირველი ფაქტორი ზრდის დანადგარის ლითონტევადობას, ხოლო მეორე იწვევს მოქნილი საწვეი ორგანოს (ლენტის) დაღლილობით ცვეთას, – გაშრეგებას ან გვარლის მავთულების დაზიანებას და სიმტკიცის შესუსტებას. არსებობს სხვა პრობლემებიც, რომლებიც სრულადაა წარმოდგენილი შრომებში [72, 73].

ამძრავის წვეის ფაქტორის ($e^{\mu\alpha}$) გაზრდის ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს საკონტაქტო ზედაპირების ჩაჭიდების (ხახუნის) სტაბილური კოეფიციენტის მიღება-შენარჩუნება. ამ მიმართულებით შესრულებული კვლევითი სამუშაოები ითვალისწინებს: ამძრავი დოლის საკონტაქტო ზედაპირების, ან მისი ამონაგის (მაღალფრიქციული მასალით ფუტირების) სხვადასხვა კონფიგურაციის (სწორკუთხა, შევრონული და ა.შ.) ნაჭდევებს, ან სპეციალური ამძრავების გამოყენებას (ელექტრომაგნიტური, მაგნიტოელექტრული, მექანიკური-მიმჭერ მოწყობილობიანი, პნევმოკამერით, ვაკუუმური და ა.შ.) [41, 51, 22, 60, 93, 50, 70, 81 და სხვა].

ხახუნის მეცნიერული საფუძვლების ფუძემდებლად და ადრეული თეორიის შემქმნელად ითვლებიან: ლეონარდო და ვინჩი, ამონტონი, კულონი, დელია გირი, ტომლინსონი, პარენტი, ბელიდორი და ლეონარდ ეილერი. ამ უკანასკნელმა წინამორბედთა კვლევის შედეგების ახსნისათვის შეასრულა ზუსტი ანალიზის სერია. მან მიიღო ამძრავი მექანიზმებით (დოლით, ბორბლით) მწვევ ორგანოზე (ბაგირზე, ლენტზე) ხახუნის ძალის მათემატიკური გამოსახულება. ამ მკვლევარების შემდგომ დიდი ხნის მანძილზე ხახუნის თეორიაში მნიშვნელოვანი სამუშაოები არ შექმნილა. ამ პერიოდის მეცნიერები ხახუნის

კოეფიციენტის ანგარიშისას არ განიხილავდნენ არანაირი პირობების გავლენას და თვლიდნენ რომ $f=\text{const}=0,25\div 0,3$. [43].

ხახუნის თეორიის მოგვიანებითი მკვლევარები: ხარდი, ბირი, გუმბელი, ერნსტი, მერჩენტი და ბლოკი საკითხის შესწავლისას ითვალისწინებდნენ სტატიკურ და კინეტიკურ პირობებს, საკონტაქტო ზედაპირების მდგომარეობას (ტენიანობა, სიმქისე, ტემპერატურა) სრიალის სიჩქარეს და კუთრ წნევას, რაც სრულფასოვნადაა წარმოდგენილია შრომებში [54, 55, 43, 76, 82, 83, 84].

ლითონის, ელასტომერების და სხვა საკომპოზიციო მასალების ხახუნის ბუნების თანამედროვე შეხედულებები ჩამოყალიბდა მთელი რიგი დეტალური კვლევების საფუძველზე, რომელთა ავტორებიც არიან: კრაგელსკი, ჭიჭინაძე, გრინუდი, ვილიამსონი, ხანტი, ბოუდენი, ტეიბორი, რაბინოვიჩი, კურტელი, ფრეიტაგო, არიანო, დერე, როტი, ტირიონი, შალამახი, ბარტენევი, რატნერი, გროში, დერიაგინი და სხვა მრავალი. მათ კვლევებში ყურადღება გამახვილებულია ფაქტიური საკონტაქტო ფართობისა და შემზეთი ადსორბირებული შრის სისქის განსაზღვრაზე; ამჟამად ცნობილია რამდენიმე თვალსაზრისი გარეგანი ხახუნის ბუნებაზე და მისი განმარტებისათვის შემოტანილია ცნებები: მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთ გადაფარვის კოეფიციენტის [43] (ა. ჭიჭინაძის მიერ), ხახუნის ორმაგი ბუნების (მოლეკულურ-მექანიკური), საკონტაქტო ზედაპირებს შორის მესამე – ხახუნის შრის; პლასტიკური, დრეკადი და დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციის; ადგეზიური, კოგეზიური, სიმშვიდის, სრიალისა და გორვის, სველი, ზღვრული და მშრალი ხახუნის, ჰისტერეზისის, მოლეკულური (შედულების) ბოგირაკების, მყარი ფაზის წაკვეთის, ზედაპირზე კავშირების მიმართული რეკომბინაციისა [44] და სხვა მრავალი. ამგვარად ხახუნის დისპაციური პროცესია და იგი შესაბამისად მიმდინერეობს წინააღობების გადალახვაში და საკონტაქტო ზედაპირების ფორმის ცვლილებებში და დამოკიდებულია მრავალ რეოლოგიურ ფაქტორზე, ამიტომ ხშირად ავტორთა კვლევის შედეგები ურთიერთს სრულად არ ემთხვევა და იწვევს პოლემიკას. ასე მაგალითად, [82] კვლევების მიხედვით ხახუნის კოეფიციენტი უმნიშვნელოდ იცვლება და ნორმალური ძალის 16-ჯერადი გაზრდა ხახუნის კოეფიციენტს ზრდის მხოლოდ ორჯერ. გერმანიასა და ჩეხოსლოვაკიაში შესრულებული კვლევითი სამუშაოების მიხედვით კი დოლისა და ლენტის საკონტაქტო ზედაპირებზე კუთრი წნევის 10^5 -დან – 7×10^5 პა-მდე გაზრდით (დოლის საკონტაქტო ზედაპირის მაღალფრიქციული სწორკუთხა ნაჭდეგებიანი რეზინით

ამოგების მიუხედავად ხახუნის კოეფიციენტი მცირდება 0,7-დან 0,46-მდე, ხოლო თუ საკონტაქტო ზედაპირები ამავედროულად სველდება და კალიუმის მარილების ან თიხის შემცველი ხსნარით ჭუჭყიანდება, მაშინ ხახუნის კოეფიციენტი 0,7-დან 0,11-მდე და უფრო მეტადაც [35]. ხახუნის კოეფიციენტის ფუნდამენტალურ კვლევებში [43] აღნიშნულია, რომ დაშვებები ლაბორატორიული ექსპერიმენტების დროს, რომელიც ითვალისწინებს მხოლოდ მოხახუნე სხეულების ბუნების გავლენას ხახუნის კოეფიციენტის სიდიდეზე, არასაკმარისია და უფრო მეტად იგი დამოკიდებულია მოგვიანებითი და თანამედროვე კვლევებში მოტანილ ცნებებსა და პირობებზე, რომელსაც როგორც აღვნიშნეთ, ზოგადად რეოლოგიური ეწოდება.

ყურადსაღებია ერთი შენიშვნა [43]: თუ მყარი ტანის ზედაპირი გათავისუფლებულია აფსკისაგან (რაც შეიძლება განხორციელდეს ვაკუუმში ან მკაცრ-განსაკუთრებულ რეჟიმში ხახუნისას), მაშინ გარეგანი ხახუნი გადადის შინაგანში, ზედაპირები ეჭიდებიან-დუღდებიან და ერთიმეორის მიმართ გადაადგილებისას მნიშვნელოვნად ზიანდებიან. ზოგჯერ ამ მოვლენას „სუფთა ხახუნს“ უწოდებენ თუმცა მისი გარეგანი ხახუნად განხილვა არსებითად არ შეიძლება. პარადოქსულია შარლოტა იაკობის 1912 წელს შესრულებული პირველი სამუშაოს შედეგები. ვაკუუმში ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა აღმოჩნდა ბევრად დაბალი ვიდრე ჰაერზე [82]. შემდგომში მისი ცდის მეთოდის არასრულფასოვნება დადასტურდა. უახლესმა კვლევებმა უჩვენეს, რომ ვაკუუმში ხახუნი არ წარმოადგენს პრინციპულად ახალ პროცესს. იგი ემორჩილება იგივე ზოგად კანონზომიერებებს, რასაც ატმოსფერულ პირობებში. კერძოდ, ვაკუუმში ხახუნისათვის სრულიად მიზანშეწონილია ხახუნის მოლეკულურ-მექანიკური თეორია. ასევე მითითებულია, რომ ვაკუუმში ხახუნის ადგილობრივი მდგენელი გაცილებით მაღალია ვიდრე ჰაერის გარემოში, შესაბამისად, დიდი უნდა იყოს ხახუნის კოეფიციენტიც [82].

წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს ლენტური კონვეიერების ვაკუუმური ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევისადმი მიძღვნილ სამუშაოს, რომელიც ძირითადად ემყარება (სველი ხახუნის პირობებში) ამძრავის მოხახუნე ზედაპირების (ვაკუუმ-დოლი, საკონვეიერო ლენტი) სტანდარტულ პარამეტრებს (B, D, ν , μ , α) და ითვალისწინებს მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმის (p) თანაბრად განაწილების უზრუნველყოფას,

საკონვეიერო ლენტის პარამეტრების გათვალისწინებით (სიმქისე, სიხისტე, კონსტრუქცია, კუთრი დაწნევა (P), გაგლეჯვის ზღვარი (S_g) და ა.შ.).

ლიტერატურული მოკვლევის მიხედვით [34, 35] სამთამადნო საწარმოებში თანამედროვე მაგისტრალური საკონვეიერო ტრანსპორტის ლენტის მოძრაობის სიჩქარე იცვლება $v=5\div 8,4$ მ/წმ; ლენტის სიმტკიცის მარაგი (m) დინამიკური (სტატიკური) – რეზინქსოვილიანისათვის $m=6,0$ (9,5), ხოლო რეზინგვარლიანი-სათვის $m=6,3$ (10); ამძრავი დოლის მაქსიმალური დიამეტრი $D=2,45\div 2,674$ მ; გამოყენებული მაქსიმალურად მტკიცე ლენტის ტიპი (2PTL-6000, St-6000, ან St-7100), გაგლეჯვის ზღვარი $S_g=6000$ ან 7100 დკნ/სმ, სიგანე $B=2,438$ მ (ლენტის მაქსიმალური სიგანე **DIN-22102** გერმანული სტანდარტის მიხედვით $B=3,2$ მ).

გემრანიაში ჩატარებულმა თეორიულმა კვლევებმა, რეზინგვარლიანი ლენტების სიმტკიცის თეორიულ ზღვრად ჩათვალა $10\ 000$ და $20\ 000$ დკნ/სმ, შესაბამისი საორიენტაციო მასებით 84 და $152,5$ დკნ/მ² [34], ხოლო $v=5,2$ მ/წმ სიჩქარისა და $B=2,2$ მ ლენტის სიგანისას ამძრავის მოთხოვნილი სიმძლავრე შესაბამისად $10\ 700$ და $23\ 500$ კვტ-ის ტოლად. ლენტის სიმტკიცის ეს თეორიული შესაძლებლობები გვაფიქრებინებს, რომ ამძრავის წვევის ფაქტორის გაზრდის შესაძლებლობა ჯერ კიდევ არ ამოწურულა, მით უმეტეს, რომ ვაკუუმში ხახუნის კოეფიციენტი მაღალია და ამასთან სტაბილური [82];

ზემოთქმულის მიხედვით ვადგენთ ამძრავის ბაზისურ მოდელს შემდეგი პარამეტრებით: *St ტიპის ლენტის სიგანე $B=3,2$ მ, დოლის დიამეტრი $D=2,674$ მ; ლენტის მაქსიმალური სიჩქარე $v_{აკს}=8,4$ მ/წმ, სიმტკიცის ზღვარი გაგლეჯვაზე $S_g=7100$ დკნ/სმ (თეორიული $10\ 000\div 20\ 000$ დკნ/სმ), სიმტკიცის მარაგის დინამიკური (სტატიკური) კოეფიციენტი $m=6,3$ (10), მწარმოებლობა $Q=40\ 000$ ტ/სთ ($q=1323$ დკნ/მ), ამძრავის სიმძლავრე $N_d=12\ 000\div 15\ 150$ კვტ.*

ლენტის სიმტკიცის მარაგის დინამიკური კოეფიციენტის ($m_{დინ}=6,3$) მიხედვით დოლზე ლენტის სწრაფობის წერტილში შესაძლო მაქსიმალური მყისური დაჭიმულობა $S_{სწ.დინ}=S_{გამგ}B/m_{დინ}=7100\times 320/6,3=360\ 635$ დკნ.

ხოლო ლენტის სიმტკიცის მარაგის სტატიკური კოეფიციენტის ($m_{სტატ}=10$) მიხედვით $S_{სწ.სტატ}=S_{გამგ}B/m_{სტატ}=7100\times 320/10=227\ 200$ დკნ.

ამძრავის შერჩეული მოდელის მიერ გასავითარებელი წვევის ძალები ორი პირობის მიხედვით განისაზღვრება:

- 1) როდესაც $N_d=12000$ კვტ

$$F_1=102N_{ღ}\eta/v_{მ,კს}=102\cdot 12000\cdot 0,85/8,4=123\ 857\ \text{დკნ}$$

2) როდესაც $N_{ღ}=15\ 150$ კვტ (3×5050 – მუდმივი დენის ძრავით)

$$F_2=102N_{ღ}\eta/v_{მ,კს}=102\cdot 15150\cdot 0,85/8,4=156\ 370\ \text{დკნ}$$

შერჩეული მოდელის მიხედვით, ლენტის პროგრამული (საწყისი) დაჭიმულობები პირობებისათვის: $m_{ღინ}=6,3$; $F_1=123\ 857$ დკნ ($N_{ღ}=12000$ კვტ) და $F_2=156\ 370$ დკნ ($N_{ღ}=15150$ კვტ). იქნება

$$S_{f1}=S_{სწ.ღინ}-F_1=360635-123857=236778\ \text{დკნ}$$

$$S_{f2}=S_{სწ.ღინ}-F_2=360635-156370=204265\ \text{დკნ}$$

ხოლო პირობებისათვის: $m_{სტატ}=10$; $F_1=123\ 857$ დკნ ($N_{ღ}=12000$ კვტ) და $F_2=156\ 370$ დკნ ($N_{ღ}=15150$ კვტ). იქნება

$$S_{f3}=S_{სწ.სტატ}-F_1=227200-123857=103\ 343\ \text{დკნ}$$

$$S_{f4}=S_{სწ.სტატ}-F_2=227200-156370=70\ 830\ \text{დკნ}$$

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების [60] მიხედვით ვაკუუმ-დოლის გამოყენების ეფექტურ ზონად მიღებულია

$$S_{f,ოპტ}=(pRB)\div 2pRB=(0,47\times 66,85\times 160)\div (0,94\times 133,7\times 320)=(40217)\div 80434\ \text{დკნ.}$$

ამგვარად, შერჩეული ეტალონური მოდელის ვაკუუმ-დოლის შესაფერის ელექტროამპრავად შეგვიძლია მივიღოთ $N_{ღ}=3\times 5050=15150$ კვტ, როდესაც $m_{სტატ}=10$; $S_f=S_{f4}=70830$ დკნ; ვინაიდან $S_{f,ოპტ}=80434>S_{f4}=70830$ დკნ; საორიენტაციო წვევის ფაქტორი კი იქნება $e^{\mu\alpha}=S_{სწ}/S_f=227200/70830=3,2$

თუ გავითვალისწინებთ ნარნარი გაშვების შესაძლებლობებს მაშინ $e^{\mu\alpha}=360635/70830=5,09$ ($=227200/70830=3,2$).

$$S_{სწ.სტატ}=S_{გაგ}\cdot B/m_{სტატ}=10000\times 320/6,3=507\ 936,5\ \text{დკნ.}$$

$$S'_{სწ.სტატ}=S_{გაგ}\cdot B/m_{სტატ}=20000\times 320/6,3=1\ 015\ 873\ \text{დკნ}$$

თუ ჩავთვლით ვაკუუმ-დოლის ეტალონური მოდელის პარამეტრებს ზემოთქმულის შესაბამისს, მაშინ $S_{f,ოპტ}=80433$ დკნ.

ხოლო წვევის ფაქტორები:

$$e^{(10000)\mu\alpha}=S_{სწ.სტატ}/S_{f,ოპტ}=507936/80433=6,3150\ \text{და}$$

$$e^{(20000)\mu\alpha}=S'_{სწ.სტატ}/S_{f,ოპტ}=101587300/80433=12,63$$

სამუშაოს თემა: ლენტური კონვეერების ვაკუუმ-ამპრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევა, მაღალი წვევითი

თვისების ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის, კონსტრუქციული და საექსპლუატაციო პარამეტრების მეცნიერული დასაბუთებით.

სამუშაოს მიზანი მდგომარეობს ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირების ისეთი კონსტრუქციისა და ვაკუუმის ფორმირების ისეთი ტექნოლოგიური პროცესის დამუშავებაში, რომელიც უზრუნველყოფს რგოლურ ჭვრიტეში მაღალი და თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის შექმნას.

კვლევის მეთოდიკა: ეყრდნობა თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებს, მათემატიკურ მოდელირებას და მათ ამონახსნებს კომპიუტერული უზრუნველყოფით; მიღებული კვლევის შედეგების შემოწმებას ლაბორატორიულ სტენდზე ფიზიკური მოდელირებით.

მეცნიერული დებულებები:

- ❖ ავტონომიური ვაკუუმური მექანიზმების მოქმედების სისწრაფე განისაზღვრება დროის ერთეულში საკონტაქტო ზედაპირის დგუშისეულ სივრცესთან შემართებელ ნახვრეტის გეომეტრიული და მასში გადინებული სითხის ჰიდროდინამიკური პარამეტრებით;
- ❖ ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე მყისური, თანაბრად განაწილებული და აუცილებელი სიდიდის ვაკუუმის შექმნის პროცესი მნიშვნელოვნად მარტივდება და სრულყოფილი ხდება რგოლურ ჭვრიტესა და დგუშისეულ სივრცეში წვეთოვანი სითხის იძულებითი შეყვანით და შემდგომში მისი უწყვეტ ნაკადად გაწოვით.
- ❖ ამძრავის მუშაობის უხელსაყრელესი რეჟიმები, რომელთა დროსაც მნიშვნელოვნად იზრდება ამძრავის წვევის ფაქტორი, არაწრფივ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია მაკროელასტოჰიდროდინამიკის მართვად პროცესებთან, რომლებიც მხედველობაში მიიღება ვაკუუმ-დოლისა და ლენტურ საკისარს შორის მსგავსებისა და განმასხვავებელი ნიშნების განხილვისას.

მეცნიერული სიახლეა ვაკუუმ-დოლის მძლავრ ლენტურ საკისრად წარმოდგენა, რომლის საფუძველზე შეიქმნა ახალი საკონტაქტო ზედაპირი და მისი ოპტიმალური პარამეტრების საანგარიშო მეთოდიკა;

მაკროელასტოჰიდროდინამიკის პროცესისა და ზომერფედლის განზოგადებული რიცხვის მნიშვნელობების რეგულირებაზე დაყრდნობით წარმოდგენილია ვაკუუმის შექმნითა და მისი საჭირო დრომდე შენარჩუნებით

ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირის საკონვეიერო ლენტთან ჩაჭიდების კოეფიციენტის რეგულირების იდეა.

მეცნიერული შედეგების დასაბუთებულობა და უზრუნველყოფა დადასტურებულია ავტორის მიერ შესრულებულ თეორიული და მრავალი ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგების დასაშვებ ზღვრებში ურთიერთთანხვედნილობით და ემყარება დრეკადჰიდროდინამიკის, ვაკუუმში ფიზიკური პროცესების, მოცულობითი ჰიდრაულიკური მანქანების მუშაობის თეორიის, ტრიბონიკის და, საერთოდ, მექანიკის ზოგად დებულებებს.

დისერტაციაში ჩამოყალიბებული მეცნიერული სიახლეები და დებულებები დასაბუთებულია შერჩეული თეორიული მოდელის (წარმოდგენილია შესავალში, გვ.9. - ბაზისური მოდელის სახელწოდებით) შესაბამისობით და სტატისტიკური მონაცემების საკმარისი მოცულობით, რაც ეხება არა მხოლოდ ლენტური კონვეიერების მუშაობას, არამედ ზოგადად ტრიბოლოგიის საკითხებს.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება

— პირველად არის განხილული და გაანგარიშებული ლენტური კონვეიერის ვაკუუმ-დოლური ამძრავი, როგორც ლენტური საკისარი;

— რგოლურ ჭვრიტეში სითხის შრის სისქის გაანგარიშებისა და აპმ-ის დგუშისეული სივრცის რგოლური ჭვრიტის ვაკუუმ-არხებთან დამაკავშირებელ ნახვრეტში სითხის უწყვეტად გადადინების სიჩქარისა და ხარჯის განსაზღვრის მეთოდის დამუშავება;

— კომპიუტერული მოდელირებით ვაკუუმ-ამძრავის გაანგარიშების ზოგადი მეთოდის შექმნა;

— ვაკუუმ-დოლური ამძრავის ლენტურ საკისრად განხილვამ საშუალება მოგვცა იტერაციული მეთოდით დაგვემუშავებინა საკონტაქტო ზედაპირებისა და მთლიანად ამძრავის კონსტრუქციული და საექსპლუატაციო პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდიკა, რომელიც ზრდის ეფექტურობის განსაზღვრის შესაძლებლობას და გამოყენების არეს;

— აპმ-იანი ვაკუუმ-ამძრავების გამოყენებით მარტივდება მაღალი წვეის ფაქტორის მქონე ლენტური კონვეიერების საანგარიშო კონტურული სქემა;

— რგოლურ ჭვრიტეში თანაბრად განაწილებული და აუცილებელი ($0,95 \times 10^5$ პა) ვაკუუმის მიღებისათვის შემოთავაზებული მეთოდის (ხერხის) პრაქტიკულად რეალიზაციის შესაძლებლობა ამაღლებს ლენტური კონვეიერის ვაკუუმ-ამძრავების მუშაობის ეფექტურობას;

— მაღალი და სტაბილური წვეის ფაქტორი ამცირებს ლენტის მოთხოვნილ სიმტკიცეს (განსაკუთრებით, ჰორიზონტალური და მცირედ დახრილი დანადგარებისათვის), დგარის ლითონშემცველობას, ზრდის დანადგარის სამსახურის ვადას და კაპიტალური და საექსპლუატაციო დანახარჯების მაქსიმალურად შემცირების საფუძველზე ეფექტურს ხდის ვაკუუმ-ამძრავიანი ლენტური კონვეიერების გამოყენებას;

— თეორიული (კომპიუტერული) და ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ლენტური კონვეიერების რთულ ჰიდროტექნიკურ პირობებში მომუშავე სახუნის ამძრავი მექანიზმების წვეითი თვისებების ასამაღლებლად.

პრობლემა: ცალკეული თავები და მთლიანად სადისერტაციო ნაშრომი განხილულია სამთო მანქანების, მაღაროს სტაციონარული დანადგარებისა და ტრანსპორტის კათედრის სამეცნიერო სემინარზე. ამავე თემაზე შესრულდა სამაგისტრო ნაშრომი [66] და მოხსენება 1998 წლის სტუ-ს სტუდენტთა სამეცნიერო კონფერენციაზე.

პუბლიკაცია: სადისერტაციო ნაშრომის შინაარსის ძირითადი შედეგები ასახულია 5 გამოქვეყნებულ სამეცნიერო ნაშრომში.

სამუშაოს მოცულობა: დისერტაცია შედგება **შესავლის**, **4** თავისა და **დასკვნისაგან**. ლიტერატურის ნუსხაში მოტანილია **93** დასახელების ნაშრომი, მოიცავს **105** ნაბეჭდ გვერდს, **55** ნახაზს, **7** ცხრილს და **2** დანართს.

თავი 1. ლენტური კონვეიერების ვაკუუმ-ამძრავების მუშაობის საერთო ანალიზი

1.1 ზოგადი მიმოხილვა

ხახუნის ამძრავი მექანიზმების შექმნას და სრულყოფას ორ ასეულ წელზე მეტი ხნის ისტორია აქვს. თეორიული და ინჟინრული გაანგარიშებით და კონსტრუქციულ გადაწყვეტილებათა სისრულეში მოყვანით დაინტერესებული იყო მრავალი მეცნიერ-მკვლევარი, კონსტრუქტორი, გამომგონებელი, პრაქტიკოსი. ამ სფეროს ფუნდამენტალურ მკვლევართა რიცხვს ეკუთვნიან: ლ. ეილერი, მ. კრეტცი, მ. ურაზბაევი, გრაზგოფი, ნ. პეტროვი, ნ. ჟუკოვსკი, ო. კამმერი, ა. ფიბერი, ე. ივანოვი და სხვ.

მრავალი კვლევები აქვთ ჩატარებული: ვ. ანდრეევს, ნ. ბილიჩენკოს, ვ. დიმიტრიევს, მ. კოტოვს, ბ. კუზნეცოვს, ნ. პოლიაკოვს, ა. სპივაკოვსკის, გ. სოლოდს, ლ. შახმეისტერს, ი. შტოკმანს და სხვ.

ლ. ეილერის კვლევების მიხედვით ხახუნის ამძრავის წვევის ძალა იანგარიშება

$$F=S_{\beta}(e^{\mu\alpha} -1) \quad (1.1)$$

შემდგომში ამ გამოსახულებამ გამოყენების სფეროს მიხედვით სხვადასხვანაირი ინტერპრეტაცია განიცადა. უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც ლენტური კონვეიერების მუშაობის პრაქტიკული მაგალითები გვიჩვენებს, ამძრავის წვევის ფაქტორი ($e^{\mu\alpha}$) არასტაბილურია. იგი, გამოწვეულია დროში საკონტაქტო ზედაპირებისათვის რეოლოგიური და სხვა მრავალი გაუთვალისწინებელი პირობების ცვლილებებით. აღნიშნული ფაქტი კი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს კონვეიერის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე. ამძრავების მუშაობის სრულყოფისათვის წლების მანძილზე იხვეწებოდა მისი პარამეტრების მასტაბილიზებული კვანძები და იქმნებოდა ახალი ტიპის სპეციალური ამძრავებიც. მიუხედავად ჩატარებული ღონისძიებებისა მაღალი და სტაბილური ჩაჭიდების კოეფიციენტის (μ) მიღება-შენარჩუნების საკითხი, განსაკუთრებით ატმოსფერული პირობების ცვალებადობისას (როდესაც იცვლება ტემპერატურა და ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების ხახუნი მიმდინარეობს, მშრალი, ზღვრული, სველი ხახუნისას, თიხისა და სხვა სამთო ქანების წყალხსნარებით საკონტაქტო ზედაპირების დაჭუჭყიანებისას და ა.შ.) არ არის გადაწყვეტილი. ამიტომ,

რეზერვები სტაბილური წვეის ფაქტორის მიღებამდე, როგორც მე-20 საუკუნის ბოლო წლების შრომებიც გვიჩვენებს [87], ამოუწურავია; მისი გადაწყვეტის გზები მრავალნაირია, რომელთაგან ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს ვაკუუმ-ამძრავების გამოყენება. ამ ამძრავების კვლევებისას [22, 21, 60, 93], სხვა სპეციალურ და ჩვეულებრივი ამძრავებისაგან განსხვავებით, მიღებულია წვეის ძალებისა და წვეითი ფაქტორის მიღებისა და მისი შენარჩუნების სრულიად დამაკმაყოფილებელი შედეგები. შედეგების სამართლიანობა დასტურდება ხახუნის კლასიკური თეორიითაც [82]. ასე, მაგალითად: ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში ნებისმიერი სითხის (ზეთისაც კი) მოხვედრა [22, 60] იწვევს მშრალ ხახუნთან შედარებით წვეის ძალების გაზრდას და, მაშასადამე ვაკუუმ-ამძრავით მომუშავე ლენტური კონვეიერის ეკონომიკურობის გარანტია, სხვა ამძრავებთან შედარებით, გაცილებით მაღალია. ზემოთ მოტანილი ფაქტების მიხედვით ვთვლით, რომ ლენტური კონვეიერების ერთ-ერთ პერსპექტიულ ამძრავს წარმოადგენს ვაკუუმური, რომელთა მოქმედების პრინციპი შეიძლება საფუძვლად დაედოთ, როგორც დოლური ტიპის სათავისა და კუდის, ასევე რგოლურად შეკრულ წრფივ საწევორგანოებისა შუალედურ ამძრავებსაც.

მიუხედავად ამ სფეროში მეცნიერ-მკვლევართა მრავალწლიანი მუშაობისა, შედეგები კი დამაჯერებელია, მაგრამ, ჩვენი აზრით, შესაძლებლობის მხოლოდ მინიმუმია გაკეთებული. ლოგიკური ანალიზისა და მეცნიერულად დასაბუთებული დებულებების მიხედვით მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ვაკუუმ-ამძრავების რეკონსტრუქცია-სრულყოფისას გათვალისწინებული იქნას:

- ა) რეციპიენტების (ვაკუუმ-არხების) ნახერეცებამდე დაყვანით და ჰიდროაეროდინამიკის (მაკროელასტოჰიდროდინამიკის) თვალსაზრისით ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების უფრო მეტად (არსებულთან შედარებით) გამარტივება;
- ბ) დამოკიდებულება ამძრავი ვაკუუმ-დოლის კუთხურ სიჩქარესა (ბრუნვის სიხშირესა) და რგოლური ჭვრიტიდან სითხის (წვეთოვანის, გაზისებრის) დრენაჟირების სიჩქარეს შორის;
- გ) საკონტაქტო ზედაპირების (რგოლურ) ჭვრიტეში მაღალი და თანაბრად განაწილებული გაუხშობის მიღებისა და ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირიდან ლენტის ნარნარად (აგლეჯვის გარეშე) გაყრის (გაცილების) უზრუნველყოფა.

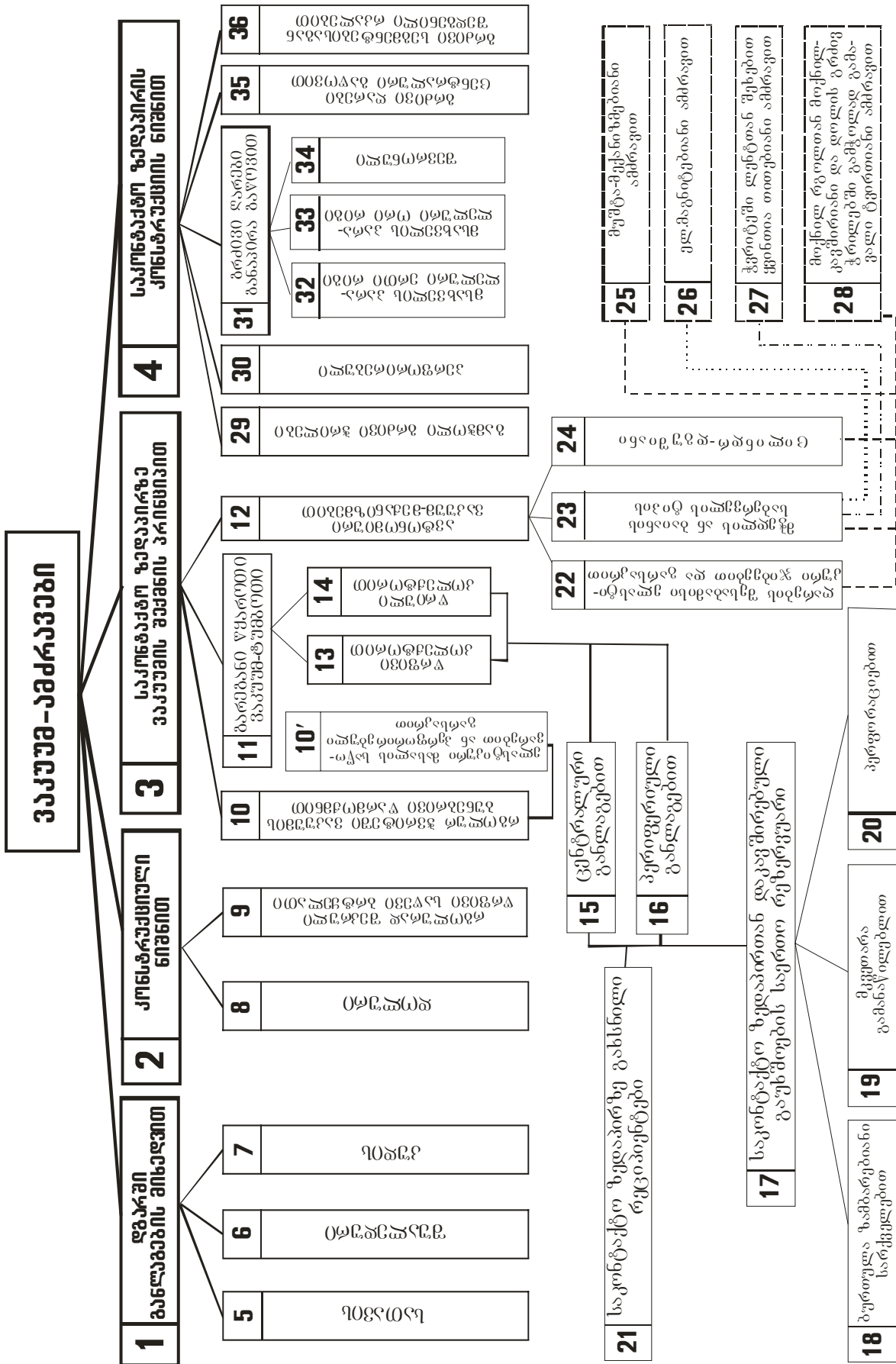
დასახული მიზნის განხორციელებისათვის ჩავატარეთ საპატენტო და ლიტერატურული მოკვლევა ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციების, კონსტრუქ-

ციული სქემების, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების სფეროში. მოკლედ აღწერილი მასალების ანალიზმა უჩვენა, რომ ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების პარამეტრების დადგენა ხდებოდა კონკრეტული პირობებისათვის, ნახვრეტებში, მილსადენებში, რეციპიენტების ფასონურ ნაწილებსა და რგოლურ ჭვრიტეში სითხის (ჰაერის) დინების წინააღმდეგობის გაუთვალისწინებლად, ხოლო ვაკუუმის ფორმირება საკონტაქტო ზედაპირებს შორის – პირობით რგოლურ ჭვრიტეში განიხილებოდა რაღაც t_0 დროში და არა დოლის (ამძრავის, ბრტყელას) ბრუნვის სიხშირის შესაბამისად. აღნიშნულია რეინოლდსის, პრანდტლის და ნუსსელტის კრიტერიუმების გამოყენების შესახებ [93, 20]; მიუხედავად ამისა არაფერია ნახსენები კნუდსენის კრიტერიუმისა, ვაკუუმ-ტუმბოს მოქმედების სისწრაფისა, საკონტაქტო რგოლური ჭვრიტის ეფექტური ამოტუმბვისა და რთული ლაბირინთოული რეციპიენტების გამტარუნარიანობის შესახებ. ბუნდოვნადაა წარმოდგენილი კოლექტორების (ურთიერთის მიმართ) მოძრავი ნაწილების ჰერმეტიზაციის ხარისხი მათი რესურსები და საიმედოობა. ყურადსაღებია კოლექტორიანი ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციების ნაკლებად ეფექტურობაც, იმ ცნობილი ფაქტის გათვალისწინებით, რომლის მიხედვით ბლანტ რეჟიმში გაზების (სითხეების) დინებისას, მრგვალი კვეთის მილსადენების გამტარობა უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია მისივე სიგრძისა და გაზის დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტის [22].

1.2. ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციებისა და კონსტრუქციული სქემების კლასიფიკაცია და ანალიზი

ნაირსახეობათაგან ამორჩეული და განხილული რამდენიმე სახასიათო ნიმუშის საშუალებით მოვახდინოთ ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციებისა და კონსტრუქციული სქემების კლასიფიკაცია და მათი შემდგომი ანალიზი. კლასიფიკაცია მოვახდინეთ: (1)* – კონსტრუქციის ნიშნით; (2) – კონვეიერის დგარში განლაგების ნიშნით; (3) – ვაკუუმის შექმნის პრინციპის ნიშნით და (4) – ზედაპირის კონსტრუქციის ნიშნით (ნახ. 1.1).

* ნახ.1.1-ზე მითითებულია, როგორც კლასიფიკაციის საფუძვლის ნომერი 1, 2, 3, ... 36.

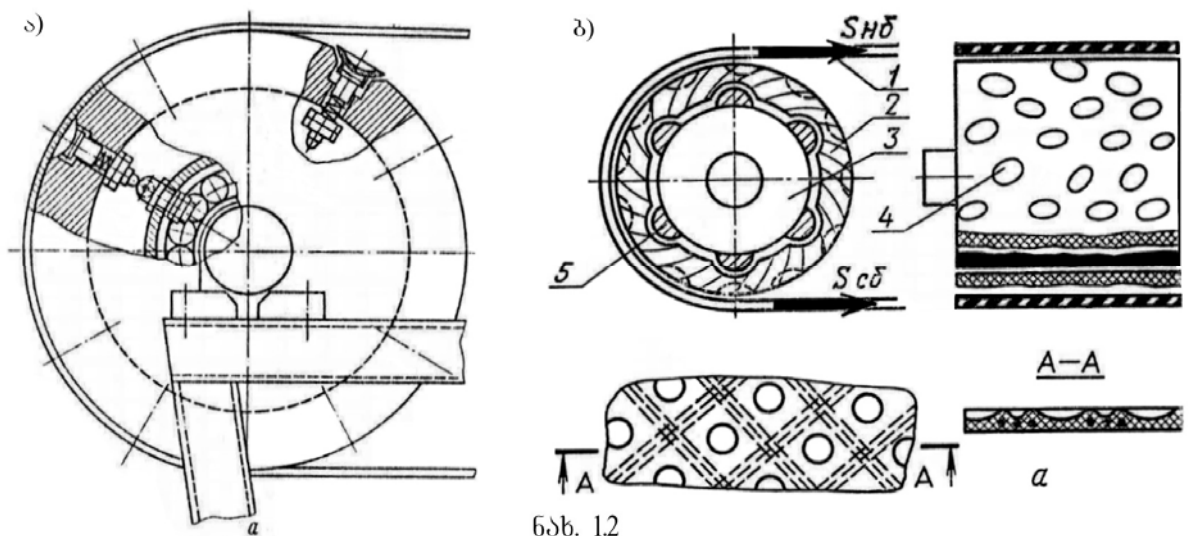


ნახ. 1.1. ვაკუუმ-ემბრაჟების კლასიფიკაცია

პირველი ნიშნის მიხედვით არსებობს (5) – დოლური [18, 61, 62] და (6) – რგოლურად შეკრული წრფივი საწვეი ბრტყელათი წარმოდგენილი ამძრავები [15, 18].

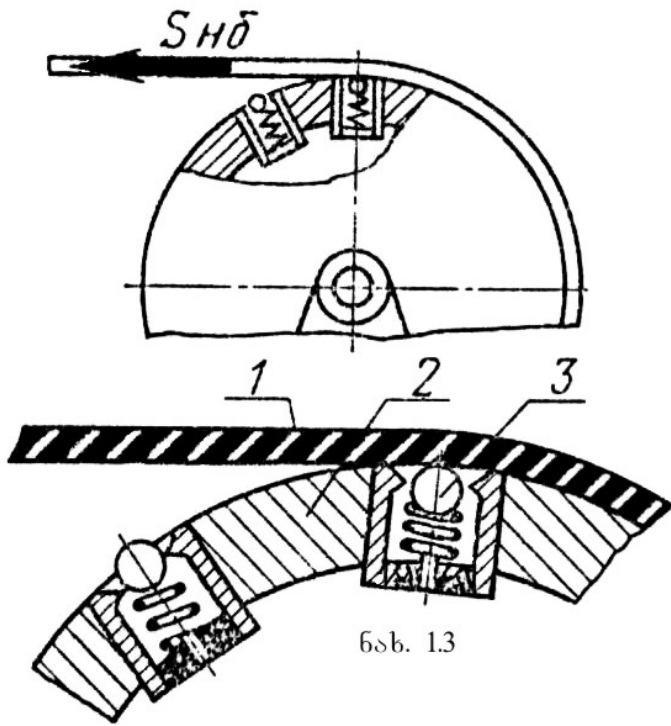
მეორე ნიშნის მიხედვით არსებობს (7) – შუალედური, (8) – სათავისა და (9) – კულის ამძრავები.

მიზანშეზონილად მიგვაჩნია, რომ გარდა დოლური ამძრავებისა, სათავისა და კულის ამძრავებად გამოვიყენოთ რგოლურად შეკრული წრფივი საწვეი ბრტყელათი წარმოდგენილი სრულყოფილი შუალედური ამძრავებიც. ეს საშუალებას მოგვცემს გამოვიყენოთ ერთი ტიპის ამძრავი მექანიზმები, სიგრძეში პრაქტიკულად შეუზღუდავი კონვეიერის მთელ დგარში. შესაბამისად კონვეიერის მთელი სიძლიერე თანაბრად განაწილდება დგარის უბნებში, რაც შეამცირებს საკონვეიერო ლენტის საწყის დაჭიმულობას (S_{β}) და მის საჭირო სიმტკიცეს (S_{γ}). ამძრავების აღნიშნული სახით წარმოდგენა უზრუნველყოფს უნიფიკაციის მაღალ დონეს და უფრო მოხერხებულს გახდის ექსპლუატაციისა და რემონტის პროცესს.



ნახ. 12

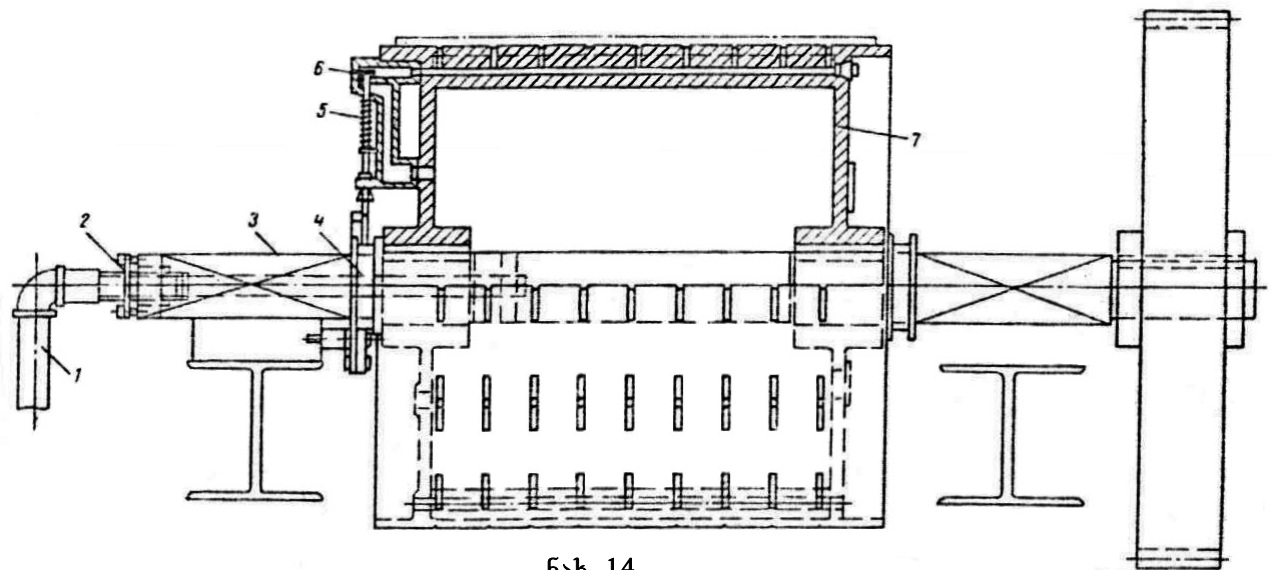
მესამე ნიშნის მიხედვით ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციებისა და კონსტრუქციული სქემების ფართო ასორტიმენტში გამოკვეთილია სამი ძირითადი ჯგუფი: (10) – ამძრავები ვაკუუმის ბუნებრივი წარმოქმნით; (11) – ამძრავები ვაკუუმის გარეგანი წყაროთი – ვაკუუმ-ტუმბოთი და (12) – ამძრავები ავტონომიური ვაკუუმური მექანიზმებით. საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის (10) ბუნებრივად წარმოქმნის იდეა, მაგალითად (10') ელასტიკური მასალით ან მისი საწოვარებით (ნახ.12) [52] (ს.მ. 543573) ხორციელდება და



ნახ. 1.3

მათივე მცირე სიმტკიცის გამო არაპრაქტიკულია. (11) – ვაკუუმტუმბოთი და (13) – წრფივი ან (14) – წრიული, (15) – ცენტრალური და თუნდაც (16) – პერიფერიული განლაგების კოლექტორებით გაუხშოების შექმნას (17) – საერთო რეზერვუარში, მისი შემდგომი დაკავშირებით საკონტაქტო ზედაპირთან (18) – ბურთულა-ზამბარული სარკველებით (ნახ. 1.3) (პ.1054010), (19) – მკვეთარ-გამანაწილებლით (ნახ. 1.4) [49]; ან უშუალოდ (20) – პერფორაციებით [15] (ს.მ. 1104070)

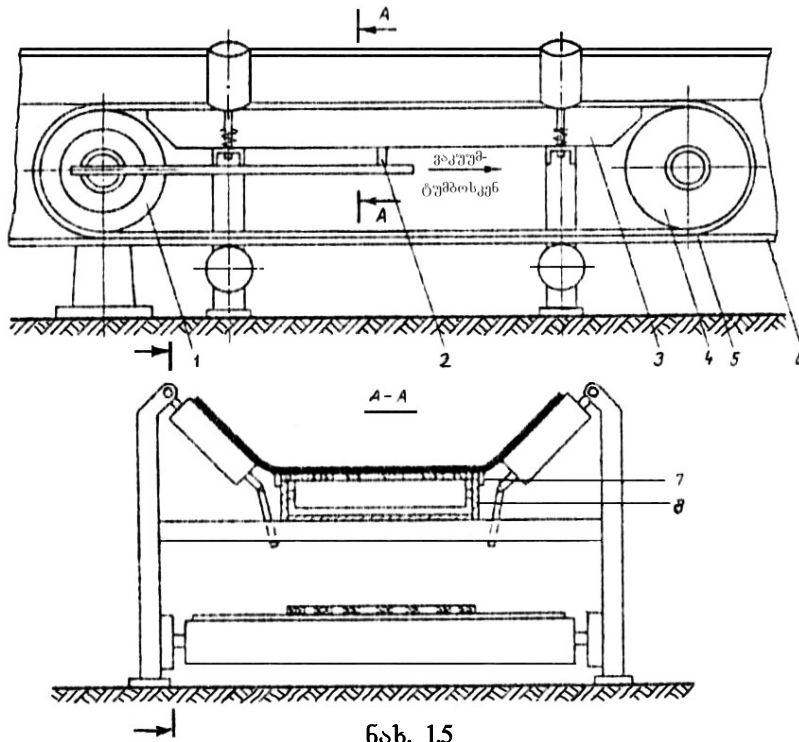
ნაკლებად საიმედოა, ვინაიდან თუნდაც ერთი ელემენტის (18, 19 ან 20) მტყუნება (ან ატმოსფეროსთან მოკლედ შერთვა) გამოიწვევს გაუხშოების საერთო (17) – რეზერვუარში ვაკუუმის კარგვას და შესაბამისად წვეის ძალების არასტაბილურობას (შემცირებას). რაც შეეხება 3, 11, (13 ან 14), (15 ან 16), 21 სქემებით (იხ. ნახ. 1.1) რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის შექმნის (ცხრ. 1.1), მრავალგზით ნაცადი პრაქტიკულად განსორციელებული [7, 8] ხერხებია.



ნახ. 1.4

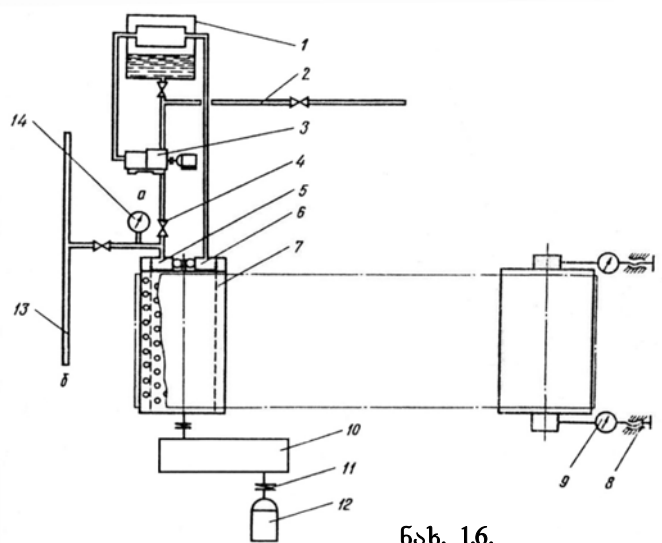
ლიტერატურული წყაროებით [71, 54, 55] ცნობილია, რომ ბლანტ რეჟიმში გაზების (სითხეების) დინებისას, მრგვალი კვეთის მილსადენების გამტარუნარი-

ნობა უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია მისივე სიგრძისა და გაზის დინა-



ნახ. 15

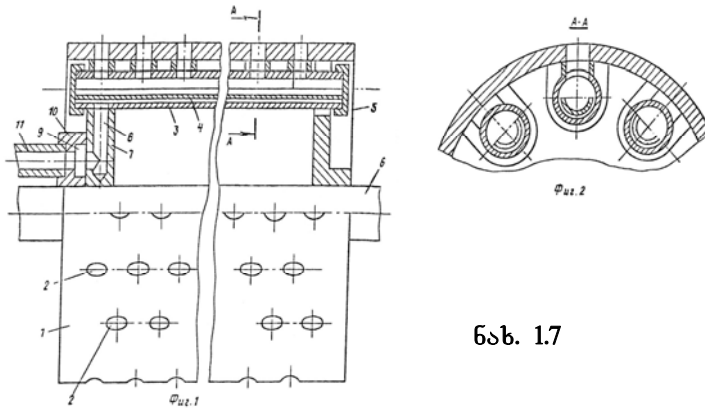
(ს.მ.543572) და კოლექტორის მოძრავი ნაწილების ჰერმეტიზაციის საკითხსაც გავითვალისწინებთ, ნათელი წარმოსადგენი გახდება რთული და საკმარისად დიდი სიგრძის ვაკუუმ-არხების მცირე (U) გამტარუნარიანობის გამო გამაუხშობელი მექანიზმის მოქმედების სისწრაფისა ($S_{\text{გ}}$) და საკონტაქტო ზედაპირებს შორის რგოლური ჭვრიტიდან სითხის დრენაჟირების (გაწოვის), ანუ ეფექტური ამოტუმბვის სისწრაფის ($S_{\text{ეფ}}$) შეუსაბამოდ მცირე მნიშვნელობა ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის საზოგადოებრივი სიჩქარესთან. და ბოლოს, როგორც კოლექტორიანი ვაკუუმ-ამძრავების კვლევის შედეგებიდან ჩანს [5, 17] კოლექტორი მნიშვნელოვნად ამცირებს ტუმბოს გამოყენების კოეფიციენტს, რადგან ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტიდან სითხის გაწოვა და მასში საჭირო გაიშვიათების მიღება ხორციელდება (რეციპიენტების) რთული, დიდი სიგრძის ვაკუუმ-არხების საშუალებით (რეციპიენტს ადგენს: ვაკუუმ-ტუმბოს გარე ქსელი



ნახ. 16.

მიკური სიბლანტის კოეფიციენტის. ზემოთ აღნიშნულისა და ვაკუუმ-ამძრავი სადგურის (ნახ. 1.6) [12] (ს.მ.581030) გარე ქსელის მიხედვით შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, ასეთი – კოლექტორიანი ამძრავების საექსპლუატაციო და სარემონტო ხარჯების ნაკლებად ეკონომიკურობაზე. თუ დოლის რეციპიენტების ლაბორინტებს (ნახ. 1.7) [11]

[12] (ს.მ.581030), კოლექტორის წრფივი ან რგოლური საკანი, ამძრავის ტორსული ბადროს რადიალური ხვრეტები, დოლის მსახველის პარალელური გრძივი



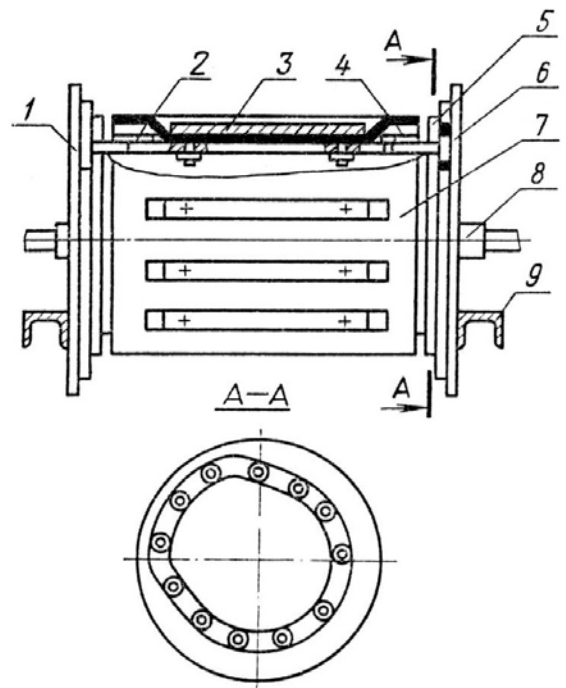
ნახ. 1.7

არხები მასში ჩამონტაჟებული გამოსაცვლელი ფილტრებით (ნახ.1.7) [11] (ს.მ.543572) და ბოლოს რგოლურ ჭვრიტესთან დამაკავშირებელი პერფორაციები ან გრძივი ღარები).

მოტანილი კრებსითი ცხრილი 1.1, რომელშიც წარმოდგენილია საავტორო მოწ-

მობის ან პატენტის ყველა სახასიათო ვარიანტი, მათ შესაბამის გრაფიკულ ნაწილთან ერთად უფრო ნათელს ფენს პრობლემის აქტუალობას.

მეოთხე ნიშნის მიხედვით ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციის ნიშნით (იხ. ნახ. 1.1) შვიდი ძირითადი სახეა გამოკვეთილი. (29) – გამჭოლი გრძივი ჭრილებით (ნახ.1.8 და 1.9); (30) – პერფორირებული ზედაპირით (იხ. ნახ. 1.6, 1.7, 1.17, 1.18); (31) – გრძივი ღარებიანი განაპირა გაწოვით (ნახ. 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14)*, სადაც ღარები (32) ერთ რიგად ან (33) ორრიგად – ამძრავი ზედაპირის მსახველის პარალელურადაა განლაგებული (მაგ. ნახ. 1.12, 1.13, 1.14); სხვა კონსტრუქციაში ღარები (34) შევრონული განლაგებისაა (მაგ. ნახ. 1.11). კონსტრუქციებსა და კონსტრუქციულ სქემებში მრავლადაა წარმოდგენილი (35) – გრძივი ღარებიანი ცენტრალური გაწოვის საკონტაქტო ზედაპირები (მაგ. ნახ. 1.15, 1.16) და ბოლოს (36) – გრძივი ღარებიანი დოლის სეგმენტებისაგან შედგენილი ზედაპირები (იხ. ნახ. 1.10).



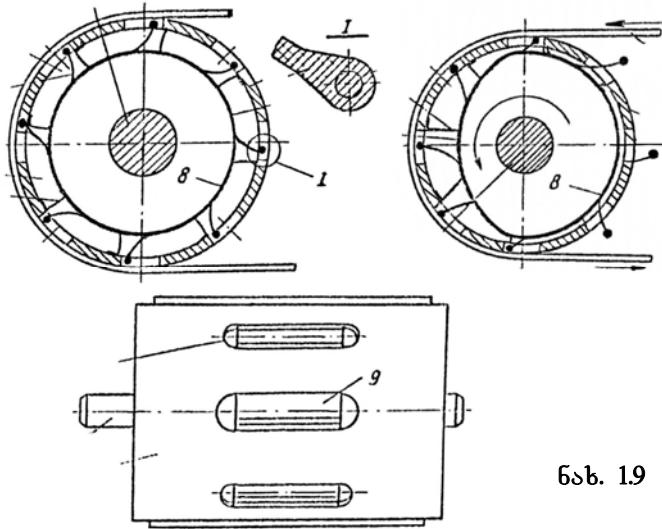
ნახ. 1.8

* 1.14 ნახაზში – ვინაიდან კოლექტორი ცენტრალური განლაგებისაა, ამიტომ მიიღება ცენტრალური გაწოვის იმიტაცია და განსხვავდება ნახ. 1.11-ზე ნაჩვენები კონსტრუქციისაგან, ვინაიდან ამ კონსტრუქციულ სქემაში კოლექტორები პერიფერიებშია განლაგებული.

ცხრილი 1.1.

რი	ვაკუუმ-ამბრაგების კონსტრუქციის პრინციპიალური სქემის ფორმულა (კლასიფიკაციის რიგითი ნომრების მიხედვით)	საავტორო მოწოდების ან პატენტის ნომერი და ქვეყანა	ტექნიკური ნაბაზის ან ლიტერატურაში რიგითი ნომერი	ავტორები	საკონტაქტო ზედაპირი	შენიშვნა
1	2	3	4	5	6	7
1	1-5; 2-8; 9; 3-11, 14, 16, 21; 4-30	გფრ პატ.№ 1028041	[5]		პერფორირებული	1958წ დისკური კოლექტორი
2	1-5; 2-8; 9; 3-11, 14, 16, 21; 4-30	გფრ პატ.№ 1036159	[5]		პერფორირებული	1959წ დისკური კოლექტორი
3	1-5; 2-8; 9; 3-11, 14, 16, 17, 18; 4-30	გფრ პატ.№ 1054010	[5] ნა.ხ. 1.3		პერფორირებული	ბუთონულა-ზამბარებიანი სარკველი
4	1-5; 2-8; 9; 3-11, 14, 15, 21; 4-30	გფრ პატ.№ 1056051	[5]		პერფორირებული	ცენტრალური კოლექტორი
5	1-5; 6; 2-7; 3-11, 13, 14, 16, 21; 4-31	გფრ პატ.№ 1146028	[5]		პერფორირებული	1957წ 1 028 041+ შუალედური ამბრაგის კლემენტები
6	1-6; 2-7; 3-11, 13, 16, 21; 4-31, 36	აშშ პატ.№ 2650695	[5]		კომბინირებული (გრძელ დატვირთვით)	1953წ არსებულ ამბრაგები ფორფიტოვანი რგოლურად შეკრული ჯაჭვებით
7	1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 21; 4-31, 32	სსრკ სმ№ 280309	[25] ნა.ხ. 1.12	ი. ვოლნეკო	გრძელ დატვირთვით	1970წ წრიული კოლექტორი
8	1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 21; 4-31, 34	სსრკ სმ№ 447330	[26] ნა.ხ. 1.11	ი. ვოლნეკო, ხ. სმირნოვი	შეკრინული დატვირთვით	1975წ წრიული კოლექტორი
9	1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 21; 4-36	სსრკ სმ№ 502805	[28] ნა.ხ. 1.10	ი. ვოლნეკო	გრძელ დატვირთვით	1977წ წრიული კოლექტორი
10	1-5; 2-8; 3-10, 10; 4-30	სსრკ სმ№ 543573	[52] ნა.ხ. 1.2ა	ბ. ლუნევი	ვლასტიკური საწარმოები	1977წ
11	1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 21; 4-30	სსრკ სმ№ 543572	[11] ნა.ხ. 1.7	კ. ვასილენკო, ა. კირილიჩევი	გრძელ დატვირთვით	1977წ დარბეზი-ფილტრებით
12	1-5; 2-8; 3-11, 14, 15, 21; 4-31, 33	სსრკ სმ№ 580153	[30] ნა.ხ. 1.14	კ. ვოლნეკო, დ. იუნგენსტერი	გრძელ დატვირთვით	1977წ ცენტრალური კოლექტორით
13	1-6; 2-9; 3-11, 13, 16, 17, 20; 4-30	სსრკ სმ№ 865729	[5]	კ. ვასილენკო, დ. იუნგენსტერი	პერფორირებული	1981წ გ.პ.№35, შუალედური ამბრაგები
14	1-5; 2-8; 3-12, 22, 25; 4-29	სსრკ სმ№ 132536	[3] ნა.ხ. 1.8	კ. ატეშევი და სხვ. [2]	გამჭვლი გრძელ დატვირთვით	1960წ ვლასტიკური გარსაკრი
15	1-5; 2-8; 3-12, 23, 27; 4-30	სსრკ სმ№ 475323	[10] ნა.ხ. 1.18	კ. ვასილენკო, ა. კირილიჩევი	პერფორირებული	1975წ ცენტრალური კოლექტორი
16	1-5; 2-8; 9; 3-12, 24, 25; 4-35	სსრკ სმ№ 543574	[6] ნა.ხ. 1.15	ნ. მოლოდინი	გრძელ დატვირთვით	1977წ
17	1-5; 2-8; 9; 3-12, 24, 25; 4-35	სსრკ სმ№ 676506	[62]	კ. მუსხელიშვილი, ა. ქუთათელაძე, ნ. მოლოდინი	გრძელ დატვირთვით	1979წ მრეწველობა წყალი, საქმენიდან
18	1-5; 2-8; 3-12, 28; 4-29	სსრკ სმ№ 655614	[40] ნა.ხ. 1.9	ი. ერმაკოვი [3]	გამჭვლი გრძელ დატვირთვით	1979წ
19	1-5; 2-8; 3-12, 22, 25; 4-30	სსრკ სმ№ 725965	[58]	კ. მორევი და სხვ.	პერფორირებული	1980წ
20	1-5; 2-8; 3-12, 24, 25; 4-31, 32	სსრკ სმ№ 753727	[57] ნა.ხ. 1.13	კ. მორევი და სხვ.	გრძელ დატვირთვით	1980წ
21	1-5; 2-8; 3-12, 23, 26; 4-30	სსრკ სმ№ 823238	[13] ნა.ხ. 1.17	კ. ვასილენკო, ა. კირილიჩევი	პერფორირებული	1981წ კლ.მ.გ.მ.წრიული ამბრაგები
22	1-5; 2-8; 3-12, 23, 25; 4-35	სსრკ სმ№ 967896	[56] ნა.ხ. 1.16	კ. მაკაროვი, კ. საკენკო	გრძელ დატვირთვით	1982წ
23	1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 17, 19; 4-30	-	[49] ნა.ხ. 1.4	ი. კოვანი	პერფორირებული	1953წ მკვლელობა გამანაწილებელი
24	1-6; 2-9; 3-11, 13, 16, 17, 20; 4-30	სსრკ სმ№ 1104070	[5] ნა.ხ. 1.5	კ. ვასილენკო, დ. იუნგენსტერი	პერფორირებული	1984წ გ.პ.№27 შუალედური ამბრაგები

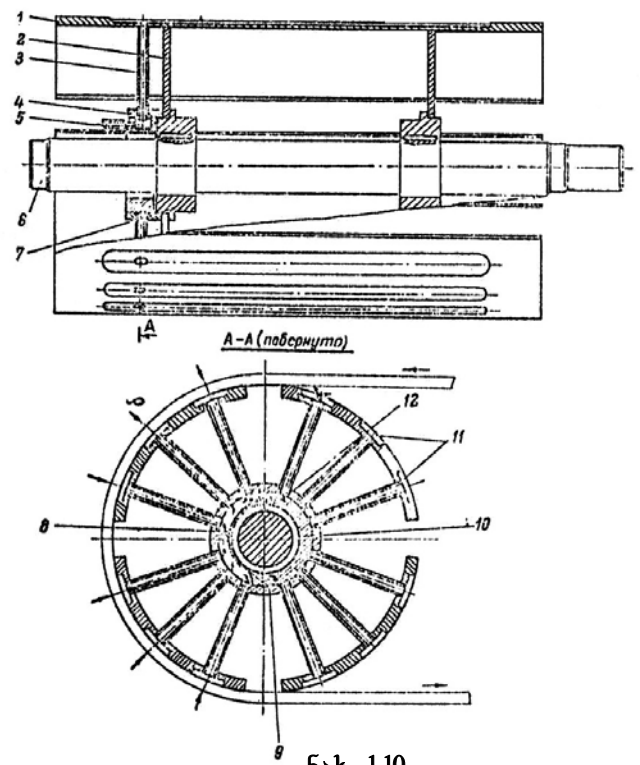
საკონტაქტო ზედაპირებით შექმნილ რგოლურ ჭვრიტეში საჭირო და სტაბილური ვაკუუმის მიღების გარანტია, მოძიებული სამეცნიერო-კვლევითი მასალების გათვალისწინებით, განსაკუთრებით კოლექტორიანი ვაკუუმ-ამძრავებისათვის შეუძლებელია ან ნაკლებად ეფექტური. ეს იმით აიხსნება, რომ (ჰიდრო)აეროდინამიკური წინაღობები ლითონ-ელასტომერს შორის (რგოლურ ჭვრიტეში) გაცილებით დიდია (პლასტიკურობისა და დრეკადი დეფორმაციის გამო) ვიდრე კოლექტორის მოძრავ კვანძებს (ლითონი-ლითონი) შორის. წინა



ნახ. 1.9

შრომებში [17, 18, 21] საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირების საკითხი შეისწავლეს სტატიკაში, ზონდირების მეთოდით, ამძრავისა და საკონვეიერო ლენტის ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში, კოლექტორით, მუდმივად ჩართული ვაკუუმ-ტუმბოს მაგალითზე; რაც ნიშნავს ამძრავის ბრუნვის სიხშირის გათვალისწინებლობას ანუ მეისიერი ვაკუუმის ფორმირების ცნების უხეშ დარღვევას. ეს საკითხი შედარებით კარგადაა წარმოდგენილი საკვალიფიკაციო ნაშრომში [60] სადაც დოლის ბრუნვის სიხშირის მიხედვით მიღებულია ვაკუუმის ფორმირების ოსცილოგრამები საკონტაქტო ზედაპირების მშრალი, ზღვრული და სველი ხახუნის პირობებისათვის. ექსპერიმენტების შედეგები ნათლად ადასტურებს იმ აუცილებლობას, რომ ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმების, ამ შემთხვევაში, უკუქცევით-წინსვლით მოძრავი ელემენტების ჰერმეტიზაციის ხარისხი (მსგავსად კოლექტორის მოძრავი ნაწილების ჰერმეტიზაციისა) გაცილებით მაღა-

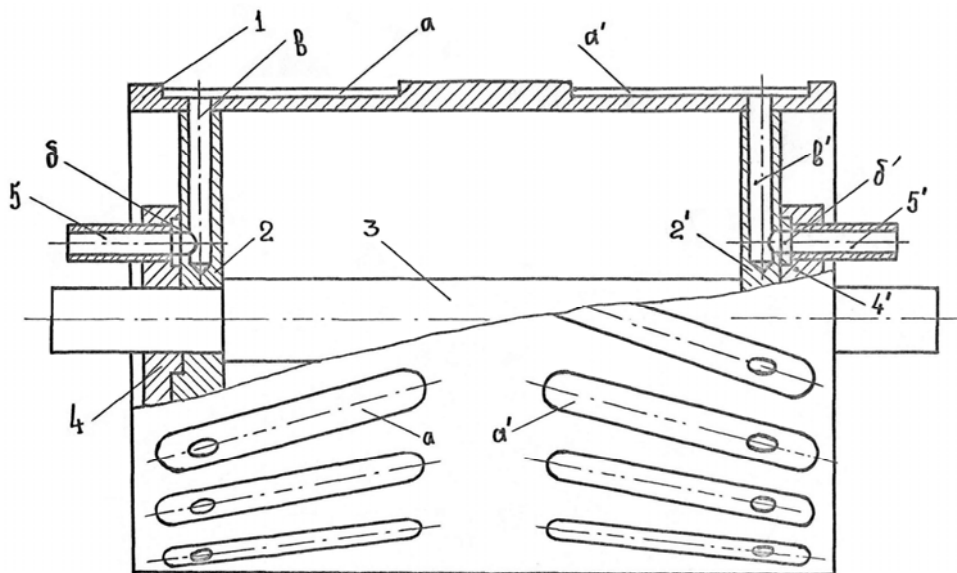
ტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირების საკითხი შეისწავლეს სტატიკაში, ზონდირების მეთოდით, ამძრავისა და საკონვეიერო ლენტის ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში, კოლექტორით, მუდმივად ჩართული ვაკუუმ-ტუმბოს მაგალითზე; რაც ნიშნავს ამძრავის ბრუნვის სიხშირის გათვალისწინებლობას ანუ მეისიერი ვაკუუმის ფორმირების ცნების უხეშ დარღვევას. ეს საკითხი შედარებით კარგადაა წარმოდგენილი საკვალიფიკაციო ნაშრომში [60] სადაც დოლის ბრუნვის სიხშირის მიხედვით მიღებულია ვაკუუმის ფორმირების ოსცილოგრამები საკონტაქტო ზედაპირების მშრალი, ზღვრული და სველი ხახუნის პირობებისათვის. ექსპერიმენტების შედეგები ნათლად ადასტურებს იმ აუცილებლობას, რომ ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმების, ამ შემთხვევაში, უკუქცევით-წინსვლით მოძრავი ელემენტების ჰერმეტიზაციის ხარისხი (მსგავსად კოლექტორის მოძრავი ნაწილების ჰერმეტიზაციისა) გაცილებით მაღა-



ნახ. 1.10

(მსგავსად კოლექტორის მოძრავი ნაწილების ჰერმეტიზაციისა) გაცილებით მაღა-

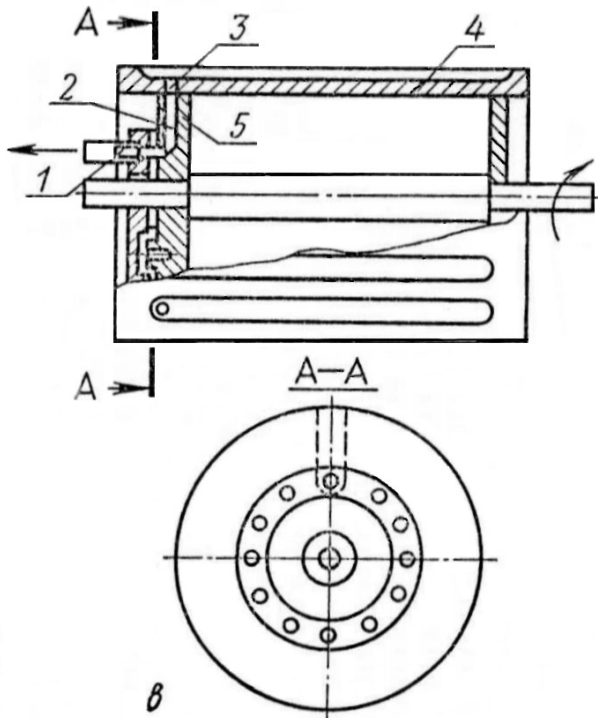
ლი უნდა იყოს, რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაციასთან შედარებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ვაკუუმის სიდიდის ოსცილოგრამები ჩაწერილია არა უშუალოდ რგოლურ ჭვრიტეში, არამედ განივი ღარების მოცულობებში, რის გამოც შეიძლება ოსცილოგრამების შედეგებსა და საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში მიმდინარე პროცესებს შორის იყოს გარკვეული შეუსაბამობა, თუმცა ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით, ლოგიკური ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნები [60] პირობით რგოლურ ჭვრიტეში თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის წარმოქმნის შესახებ. ამასთან უნდა შევნიშნოთ, რომ საკითხის უფრო ღრმა ანალიზისათვის საჭიროა ელასტოპიდროდინამიკის, მაკროელასტოპიდროდინამიკის, ჰისტერეზისის და ადგეზიის მოვლენების გათვალისწინებით, საკონტაქტო რგოლურ და ცილინდრ-დგუშის ჭვრიტეებში სითხის (წვეთოვანის, აირის) მოძრაობის ექსპერიმენტული და თეორიული შესწავლა.



ნახ. 1.11

ხახუნის კლასიკური თეორიისა და მაღალი სიზუსტის ექსპერიმენტული კვლევების [54] მიხედვით, დატვირთვის ქვეშ მყოფი ცილინდრის ელასტომერზე სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი შედგება ორი კომპონენტისაგან: ადგეზიურისა და ჰისტერეზისულის, ხოლო ხახუნის განზოგადოებული კოეფიციენტი $f/tg\delta$ წარმოადგენს წნევისა და დრეკადობის მოდულის ფარდობის (P/E) ფუნქციას. სრიალის სიჩქარის გაზრდით ეს თანაფარდობა პრაქტიკულად არ იცვლება. შესაბამისად, ხახუნის განზოგადოებული კოეფიციენტი მშრალი ხახუნისას (შეხეთვის გარეშე) რჩება დაახლოებით ერთ დონეზე. გრინვუდისა და ტეიბორის

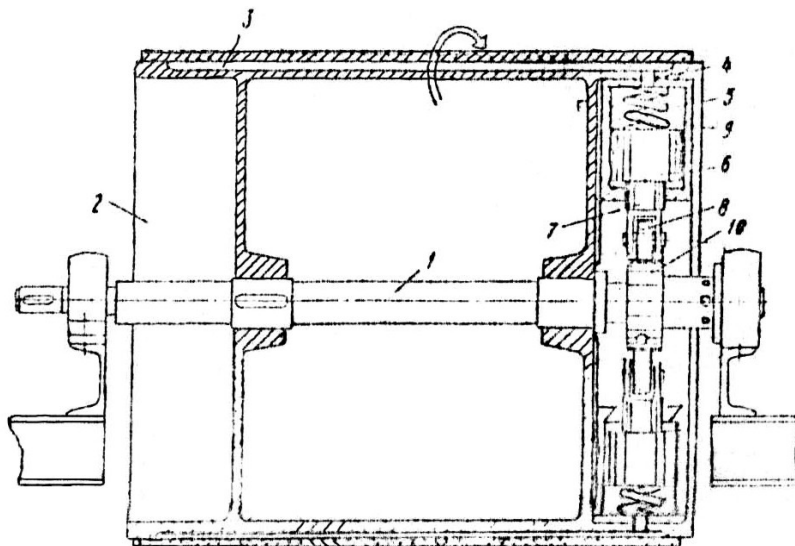
[54] მიხედვით ლითონის ელასტომერზე სრიალისას ან გორვისას ერთნაირ გავლენას ახდენს ჰისტერეზისის მოვლენა. ნორმანმა კი ხისტი ცილინდრის



ნახ. 1.12.

ელასტომერზე გორვის ხახუნის კოეფიციენტის კვლევისას თეორიულად დაადგინა, რომ ჰისტერეზისით (დეფორმაციით) [54] განპირობებული ხახუნის კოეფიციენტი წარმოადგენს რბილი მასალის (მაგ. რეზინის) მექანიკური დანაკარგის კუთხის ტანგენსის რთულ ფუნქციას. ხოლო ხახუნის ადგეზიური მდგენელის გავლენა ელასტომერზე შეისწავლა ბალდუინმა და შალამახმა. მათ დასკვნებში აღნიშნულია, რომ ადგეზიური ხახუნის კოეფიციენტი პირდაპროპორციულ

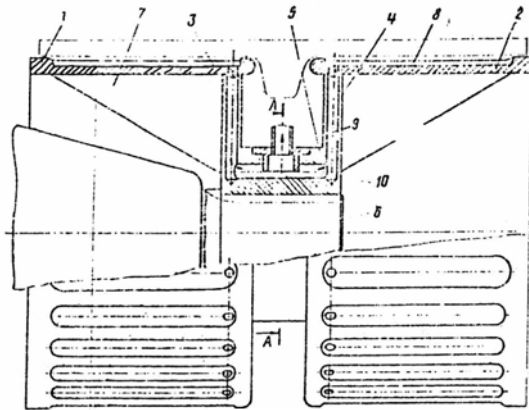
დამოკიდებულებაშია ელასტომერის მექანიკური დანაკარგის კუთხის ტანგენსის და უკუპროპორციულია მისი სიმაგრის.



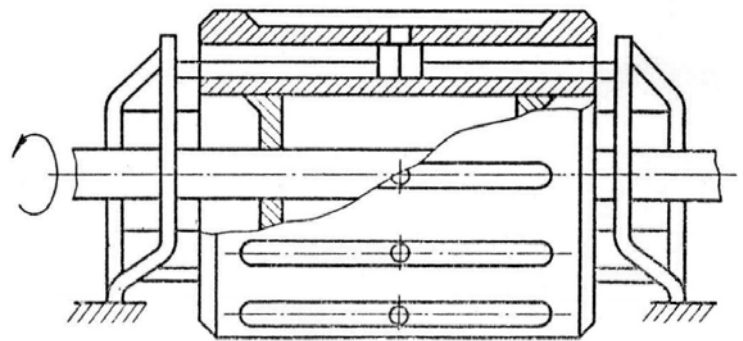
ნახ. 1.13.

ჩვენი სამუშაოს სწორი მიმართულების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მამტიციებელ ფაქტად მიგვაჩნია დ. მურის [54] განზოგადოებული თეორია გადაჯერებულად სველი საკონტაქტო ზედაპირებისათვის. მასში აღნიშნულია,

რომ საკონტაქტო ზედაპირების სითხით უხვად დასველებისას, მაღალი ხახუნის კოეფიციენტის უზრუნველსაყოფად საჭიროა ზედაპირიდან სითხის მნიშვნელოვანი სადრენაჟო ეფექტის ღონისძიებების ჩატარება [54]. ზემოთ მოტანილი ანალიზის მიხედვით, ჩვენი კვლევის მოდელად ვირჩევთ კლასიფიკაციით (იხ. ნახ. 1.1) გათვალისწინებულ ვაკუუმ-ამძრავის შემდეგ სქემას: 5, 8, 12, 24, 25, 35+წრიული ამონაჩარხები (ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირი წარმოადგენს ახალ კონსტრუქციას იხ. ნახ. 1.20თ).

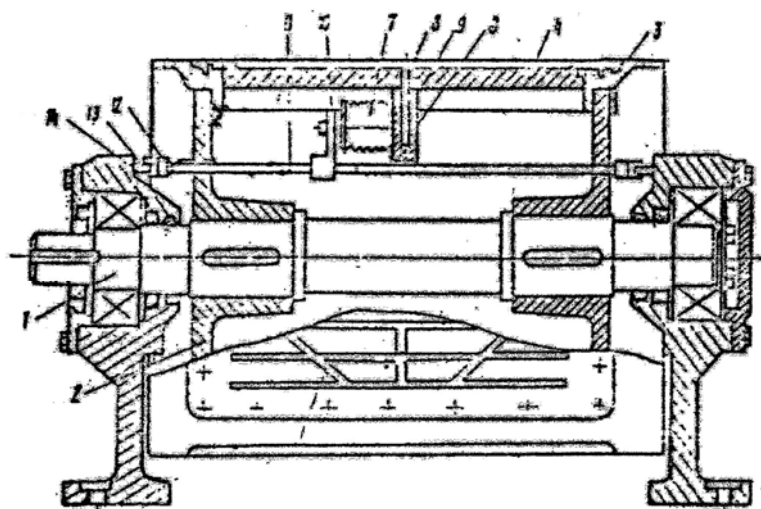


ნახ. 1.14

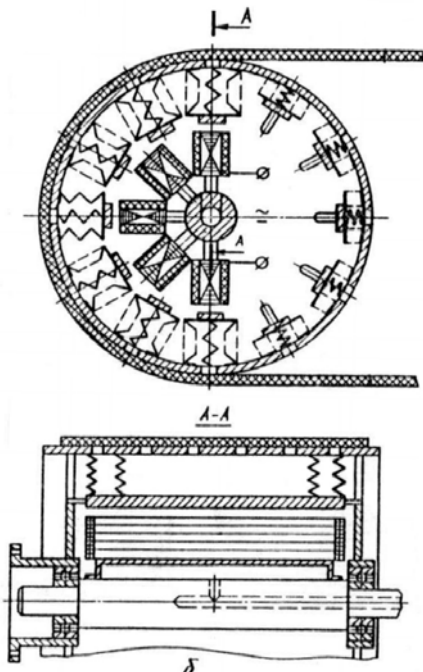


ნახ. 1.15

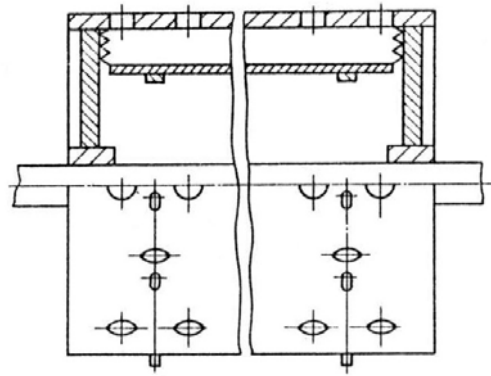
ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციებისა და კონსტრუქციული სქემების კლასიფიკაციამ და მათმა ანალიზმა (შესწავლამ) გვიჩვენა, რომ საკონტაქტო ზედაპირებს შორის ვაკუუმის შექმნის ქვემოთ წარმოდგენილი მექანიკური მოდელები [66] სრულად მოიცავს ამძრავის რგოლურ ჭვრიტეში გაუხშობის დღემდე არსებულ ყველა მეთოდს.



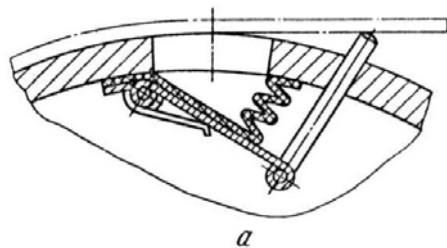
ნახ. 1.16



ნახ. 1.17



ნახ. 1.18



პირველი მექანიკური მოდელით მომუშავე ვაკუუმ-ამპრაგები წარმოადგენს (წრიულ ან წრფივ) კოლექტორში ამპრაგის საკონტაქტო ზედაპირზე და ტორსულ ბადროში (ბადროებში) არსებული ვაკუუმ-არხების ერთობლიობას დამატებული ვაკუუმ-ტუმბოს შიგა და გარე ქსელი კოლექტორამდე (იხ. ნახ. 1.6). ამ მოდელის სრული დახასიათება მოცემულია § 1.2-ში, რომლის მიხედვით და მეცნიერული დებულებების (იხ. შესავალი) ზოგიერთი პუნქტის გათვალისწინებით რეციპიენტების სირთულისა და ტუმბოს გამოყენების კოეფიციენტის სიმცირის გამო აღნიშნული მოდელი ნაკლებად ეფექტურია.

მეორე მექანიკური მოდელით მომუშავე ვაკუუმ-ამპრაგები (იხ. ნახ. 1.8.) ვფიქრობ არასიცოცხლისუნარიანია, ვინაიდან ერთ ელემენტში (დოლზე შემოკრულ გარსში) ცვეთამდეგობის, ელასტიკურობის და ამონაგისათვის საჭირო თვისებების შეთავსება შეუძლებელია, ხოლო თუ ეს გარსი დანიშნულებისამებრ დაიშალა და ისე შეირჩა შესაბამისი საკომპოზიციო მასალები, მაშინ კონსტრუქცია მონტაჟისა და ექსპლუატაციისათვის გაუმართლებლად რთული იქნება. თუმცა უნდა აღინიშნოს დანარჩენ მოდელებთან შედარებით მისი ვაკუუმ-არხების სიმარტივე.

მესამე მექანიკური მოდელით მომუშავე ვაკუუმ-ამპრაგები (იხ. ნახ. 1.17. და 1.18.) მუშაუნარიანია და თითქოს ექვემდებარება არხების თვითგაწმენდასაც, მაგრამ ვაკუუმ-არხების დიდი საწყისი მოცულობა, გაწმენდას დაქვემდებარე-

ბული რთული ფორმის საკნები და კარგების შემთხვევაში ვაკუუმის კომპენსაციის შეუძლებლობა ამცირებს აღნიშნული კონსტრუქციის მუშაუნარიანობას.

მეთხე მექანიკური მოდელით მომუშავე ვაკუუმ-ამძრავებში (იხ. ნახ. 1.15.) რგოლური ჭვრიტის გაუხშობა ხდება ცილინდრ-დგუშიანი და მუშტა მექანიზმებიანი მოწყობილობის გამოყენებით. მისი რეციპიენტების საწყისი მოცულობა თითქმის ნულის ტოლია, ხოლო გაიშვიათება ამძრავის საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში შეიძლება განხორციელდეს რეციპიენტების მოცულობებში წინასწარ მიწოდებული წვეთოვანი სითხის გაწოვით. გაიშვიათების ეს მოდელი ამცირებს დგუშების სვლის სიდიდეს, აუმჯობესებს საკონტაქტო ზედაპირზე თანაბრად განაწილებული გაიშვიათების შექმნის პირობას და წინამორბედი მკვლევარების შედეგების მსგავსად ჩვენს შემთხვევაშიც ზრდის ვაკუუმში სველი ხახუნით გამოწვეულ წევით თვისებებს.

ამ მეთოდებიდან მწვეი ორგანოს საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევისათვის, ვირჩევთ მეთხე მექანიკურ მოდელს, როგორც, ჩვენი აზრით, ყველაზე სრულყოფილს სადაც ვაკუუმის ფორმირებისათვის გამოყენებულია მრავალჯერ ნაცადი და მრავალმხრივ გამოცდილი, უტყუარი მოქმედების, ტრადიციული ცილინდრ-დგუშიანი და მუშტა მექანიზმებიანი მოწყობილობები. გარდა ზემოთ ჩამოთვლილისა კონსტრუქციულ უპირატესობაში აღსანიშნავია ვაკუუმ-მექანიზმისა და გაუხშობის ობიექტის (რგოლური ჭვრიტის) ურთიერთ კავშირი მარტივი ნახვრეტის საშუალებით. საკითხისადმი კომპლექსურად მიდგომის მეთოდით: საკონტაქტო ზედაპირი (რგოლური ჭვრიტე) – ვაკუუმ მექანიზმი, ვიხილავთ თანაბრად განაწილებული გაუხშობის შექმნის უზრუნველყოფის აუცილებელ პირობებს:

1) ვაკუუმ-ტუმბოს მოქმედების სისწრაფე (S_{δ}) უნდა ეთანადებოდეს ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირებს შორის რგოლური ჭვრიტიდან სითხის (წვეთოვანის, გაზისების) სრულფასოვანი დრენაჟირების (გაწოვის) ანუ ობიექტის ეფექტური ამოტუმბვის სისწრაფის ($S_{\text{ეფ}}$) უზრუნველყოფას.

2) ვაკუუმის წყაროსა და ამძრავის რგოლური ჭვრიტის შემაერთებელი კვანძის (უმჯობესია იყოს ნახვრეტი და არა რთული ლაბირინთული რეციპიენტი) გამტარობა (U) უნდა უზრუნველყოფდეს ვაკუუმის შმქმნელი მექანიზმის გამოყენების კოეფიციენტის (K_{δ})-ს დაახლოებით ერთთან ტოლობას ე.ი. $K_{\delta} = S_{\text{ეფ}} / S_{\delta} \approx 1$ ანუ $K_{\delta} = U / (U + S_{\delta}) \approx 1$ რაც ამძრავის კვლევისა და პროექტირების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პირობას წარმოადგენს.

3) ამძრავის რგოლური ჭკრიტიდან სითხის (წვეთოვანის, გაზობრივის) მყისურად გამწოვი მექანიზმის (ვაკუუმ-მექანიზმის, ვაკუუმ-ტუმბოს კოლექტორის) ვაკუუმური სისტემის ჰერმეტიზაცია უნდა იყოს რგოლური ჭკრიტის ჰერმეტიზაციაზე უფრო სრულყოფილი (მაღალი მონაცემების), ამასთან ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების პარამეტრები უნდა უზრუნველყოფდეს გარემოდან რგოლურ ჭკრიტეში სითხის მინიმალურ შეწოვას.

4) ტუმბოს მოქმედების სისწრაფე ($S_{ტ}$), ობიექტის ეფექტური ამოტუმბვის სისწრაფე ($S_{გვ}$) და მათი შემაერთებელი მილსადენების (ნახვრეტის) გამტარობა (U) უნდა განიხილებოდეს ამძრავისა და ტვირთმზიდი ლენტის შესაბამისი კუთხური და ხაზოვანი სიჩქარეების აუცილებელი გათვალისწინებით.

1.3. ვაკუუმური ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციები

წარმოდგენილი ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციებისა და კონსტრუქციული სქემების (იხ. ნახ. 1.1. და ცხრ. 1.1) შესწავლისას, საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციის ნიშნის მიხედვით გამოკვეთილი შვიდი ტიპიდან (ნახ. 1.1; 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36) პრაქტიკული (ლაბორატორიული, ნახევრადსამრეწველო და სამრეწველო) გამოცდა გაიარა: პერფორირებულმა – (30) და გრძივღარებიანმა – (31, 32 და 35) საკონტაქტო ზედაპირებმა. ამ ზედაპირებს დეტალურად განვიხილავთ წინამდებარე თავის დასკვნით ნაწილში. ქვემოთ კი მოტანილია დანარჩენი თითოეული ზედაპირის დახასიათება-შეფასება შესაბამის ვაკუუმის შემქმნელ მექანიზმთან კომპლექსში:

1. გამჭოლი გრძივღარებიანი (4-29) ზედაპირის რგოლურ ჭკრიტეში ვაკუუმის შექმნა (სქემა 1-5; 2-8; 3-12, 22, 25; 4-29; ნახ.1.8; ან 1-5; 2-8; 3-12,28; 4-29; ნახ. 1.9) ხორციელდება მარტივი კონსტრუქციის მოწყობილობით, მაგრამ მათ უარყოფით მხარეებს წარმოადგენს: (ნახ. 1.8)-თვის საკომპოზიციო მასალის – ელასტიკური გარსის, როგორც ამონაგის და ამავე დროს ვაკუუმის შემქმნელ ელასტიკად მუშაობის შეუძლებლობა, გამოყენების სფეროთა ფიზიკური თვისებების შეუთავსებლობის გამო; (ნახ.1.9)თვის – ამუშავებისათვის არასაკმარისი ცენტრიდანული ძალის განვითარება, დოლისა და ლენტის დაბალი სიჩქარისას და ვაკუუმის კარგისას კომპენსაციის შეუძლებლობა. ამ ზედაპირის მიმართ

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები სამცნიერო ლიტერატურულ წყაროებში ვერ მოვიძიეთ. საპატენტო ფონდის მისეულ წყაროებში [40] კი კარგადაა გადმოცემული კოლექტორიანი და ზოგიერთი ავტონომიურ მექანიზმიანი ამძრავების უარყოფითი მხარეები.

2. გრძივლარებიანი სეგმენტებისაგან შედგენილი რკალები (4-36), რომლის ზედაპირის რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის შექმნა (სქემა 1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 21; 4-36; ნახ. 1.10) ხორციელდება ვაკუუმ-ტუმბოსა და პერიფერიული განლაგების წრიული კოლექტორით, მოძიებული წყაროების მიხედვით, პრაქტიკულად არ გამოცდილა, მაგრამ კონსტრუქციული სქემის თეორიული და ლოგიკური ანალიზით შეიძლება აღვნიშნოთ მისი უარყოფითი მხარეები, რის მიხედვით შეიძლება გააკეთდეს პრაქტიკულად მისი გამოყენების ვარგისიანობა. კერძოდ, სეგმენტებს შორისი ღრეჩოების ხარჯზე საკონტაქტო ზედაპირების ურთიერთ გადაფარვის კოეფიციენტის კიდევ უფრო შემცირება (ეს კი გამოიწვევს დოლის ზედაპირზე კუთრი ნორმალური ძალების სიდიდის გაზდას) და დოლის მსახველის მთელ სიგრძეზე სეგმენტების ღრეჩოებს შორის ლენტის ჩაღუნვა და მისი მოდება დოლის რკალის მთელ განივ ჭრილზე. ეს ფაქტები უარყოფითად იმოქმედებს ლენტის სამსახურის ვადაზე. ამგვარად გამოყენების ძირითადი დედააზრი – ლენტის თვითგაწმენდის შესაძლებლობა, რომლის მიხედვით ეს კონსტრუქციული სქემაა ცნობილი (რომელიც საფუძვლად უდევს გამოგონების ფორმულას), არაეფექტურია იმის გამო, რომ ამ კონსტრუქციაში წვევის ძალების რეალიზაცია მოხდება უფრო უშუალო მოდებით, ვიდრე გარეგანი ხახუნით.

3. განაპირა გაწოვის შევრონულდარებიანი (4-31,34) ზედაპირის ორ კოლექტორიანი ვაკუუმ-დოლის კონსტრუქციული სქემა (ნახ. 1.11) შექმნილია ლენტის ცენტრირების გაუმჯობესების მიზნით. ცენტრირების პირობა შეიძლება მართლაც გაუმჯობესდეს, მაგრამ შევრონულდარებიანი ზედაპირის რგოლურ ჭვრიტეში, სადაც გაუხშობა ხორციელდება (სქემა. 1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 21; 4-31, 34. ნახ. 1.11) წრიული კოლექტორისა და ვაკუუმ-ტუმბოს საშუალებით, მთელი ვაკუუმ-სისტემის ჰერმეტიზაციის უზრუნველყოფის მიზნით საჭიროა ამძრავიდან ლენტის ჩამოქანებისა და სწრაფობის უბნებში, თითო წყვილი შევრონული ღარის ამორთვა. ღარების ამორთვა გამოიწვევს ვაკუუმის გავრცელების ზონის შემცირებას, რაც დაუშვებელია განსაკუთრებით რგოლური ჭვრიტის ღრეკადი სრიალის რკალისათვის [60]. აღნიშნულის გამო შევრონულ ღარებიანი საკონტაქტო ზედაპირები, ვფიქრობ არა რაციონალურია.

4. ვაკუუმ-დოლი მისი მსახველის პარალელური, ორ რიგი, განაპირა გაწოვის გრძივდარებიანი ზედაპირით (4-31, 33) და კოლექტორული რგოლის ცენტრალური განლაგებით (ნახ. 1.14). გაიშვიათების ეს სქემა (1-5; 2-8; 3-11, 14, 15, 21) შეიქმნა საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის ფორმირების მიზნით. ეს კონსტრუქციული სქემა ფაქტიურად იმუშავებს, როგორც ცენტრალური გაწოვის გრძივდარიანი ვაკუუმ-დოლი. მაგრამ ამ სქემაშიც რჩება კოლექტორიანი და რთული – ლაბირინთებიანი რეციპიენტები. ამასთან დოლი შესდგება ორი ცილინდრისაგან, რომელთა შორის განლაგებულია ლენტის არა მუშა ზედაპირის ფიგურული ნაწილი. მძლავრი საკონვეიერო ამძრავებისათვის ასეთი კონსტრუქციის დოლი მიუღებელია [78, 79] მისი კონსტრუქციული არარაციონალურობის გამო. იმის გათვალისწინებით, რომ მისი ლენტისა და რგოლურ ჭვრიტეზე იმოქმედებს რამოდენიმე ათასი კილოვატი სიმძლავრის შესაბამისი მგრეხი მომენტი. წინა კვლევით სამუშაოებში [60] მინიშნებულია ცენტრალური გამწოვი ნახვრეტების ანუ „დაბალი ვაკუუმის“ ცენტრალურ ნაწილში განლაგების კონსტრუქციულ უპირატესობაზე. ამ ჭეშმარიტად რეალურ ფაქტზეა დამყარებული (ნახ. 1.15) [61, 62] და მისი შემდგომი, გვიანი პერიოდის საავტორო მოწმობები (იხ. ნახ. 1.14 და 1.16 და სხვ.). მიუხედავად აღნიშნული საკითხის წინა პლანზე წამოწევისა განხილული კონსტრუქციული (იხ. ნახ. 1.14) სქემა, ვაკუუმის შექმნის რთული სისტემისა და საკონტაქტო ზედაპირის ფიზიკური არასრულყოფილი კონსტრუქციის გამო, ითვლება კვლევის სუსტ ობიექტად.

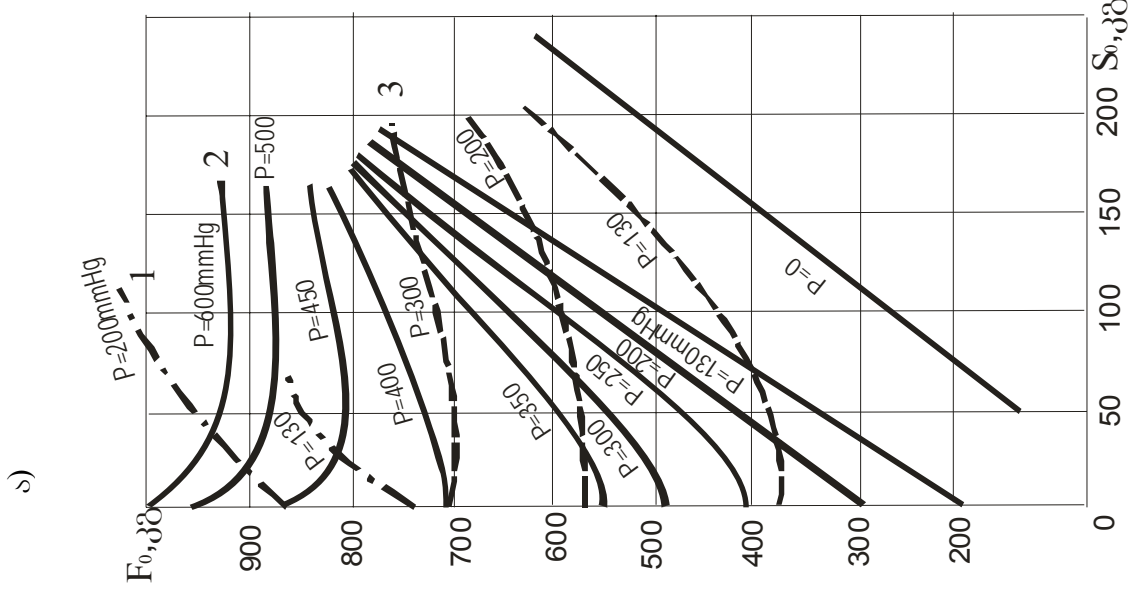
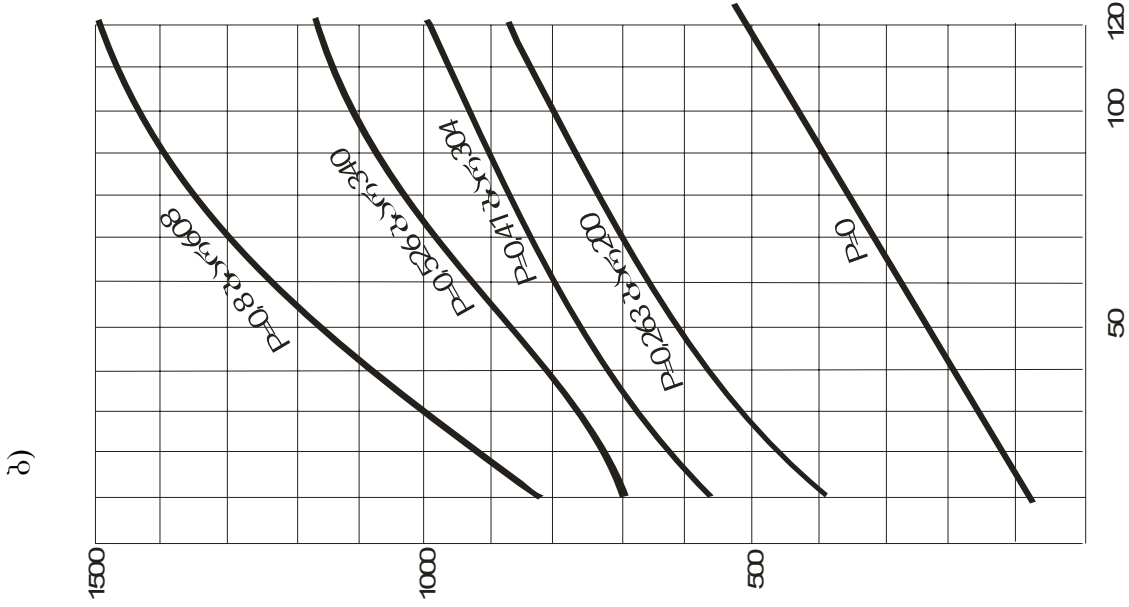
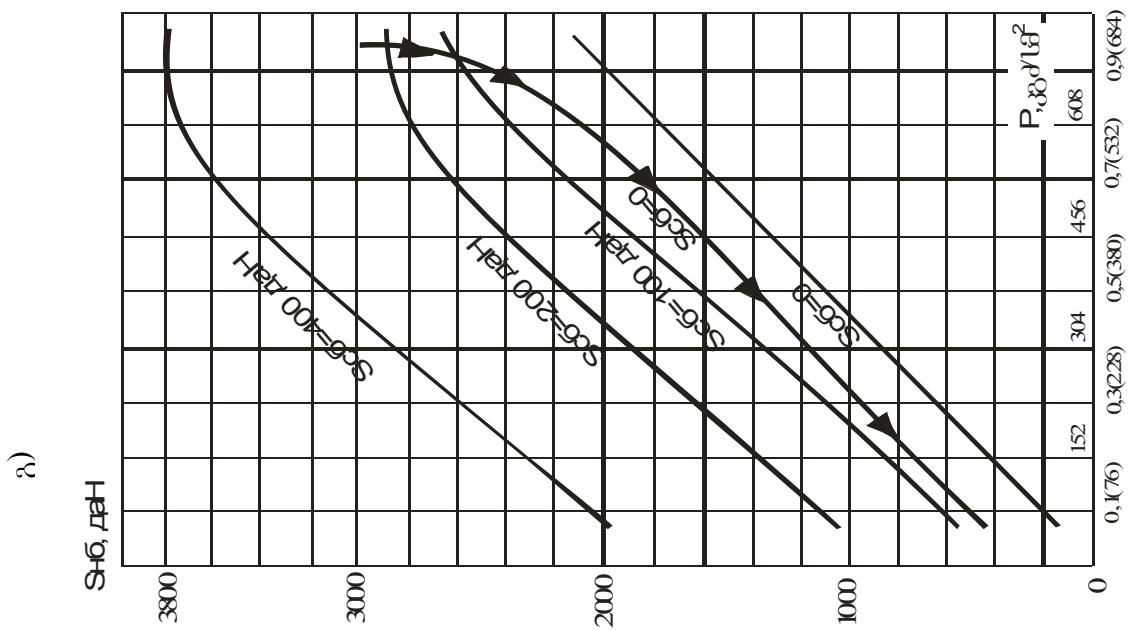
5. ვაკუუმ-დოლი მსახველის პარალელური, ერთ რიგი განაპირა გაწოვის გრძივდარებიანი (4-31, 32) ზედაპირით და ერთ პერიფერიულ კოლექტორიანი ვაკუუმ-არხებით (რეციპიენტებით) (სქემა: 1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 21; 4-31, 32; ნახ. 1.12), წარმოადგენს ლენტური კონვეიერის სათავო დოლურ ვაკუუმ-ამძრავს, მისი პარამეტრების შესწავლის პირველ ობიექტს, რომელზეც ჩატარდა ფართომასშტაბიანი კვლევითი სამუშაოები [22]. რის შედეგად გამოვლინდა ვაკუუმ-დოლის მრავალი უპირატესობა. ეს შედეგები შემდგომ კვლევებში [21, 60] კიდევ უფრო გამოიკვეთა და ბევრად უფრო აღმატებული მნიშვნელობები მიიღო. ადრეული კვლევის მონაცემები წარმოდგენილია სამეცნიერო ლიტერატურულ წყაროებში [92]. ზოგიერთი გვიანი შედეგი კი მოტანილი იქნება წინამდებარე ნაშრომშიც.

პარაგრაფის დასაწყისში აღვნიშნეთ, რომ დეტალური განხილვის ობიექტად მიგვაჩნია გრძივდარებიანი და პერფორირებული ზედაპირები, მათი თეო-

რიული და ექსპერიმენტული კვლევების დაწვრილებითი ანალიზი. შედეგები წარმოდგენილია ამ პარაგრაფის (6) და (7) პუნქტებში.

6. ვაკუუმ-დოლი მსახველის პარალელური, ერთრიგი, ცენტრალური გაწოვის გრძივდარებიანი ზედაპირით (4-35) და რგოლურ ჭვრიტეში ავტონომიურ ვაკუუმურ მექანიზმებიანი (აჰმ) გაუსშოების წყაროთი (სქემა: 1-5; 2-8, 9; 3-12, 24, 25; 4-35; ნახ. 1.15) წარმოადგენს პირველ აჰმ ამძრავს, – ობიექტს, რომელზედაც გაკეთდა შემაჯამებელი კვლევითი სამუშაოები [60]. ნაშრომის შედეგების მიხედვით, დასკვნით ნაწილში, აღნიშნულია ცენტრალური გაწოვის გრძივ დარებიანი (35) საკონტაქტო ზედაპირის უპირატესობა განაპირა გაწოვის გრძივდარებიანთან (31) შედარებით; პირველადაა ჩატარებული რგოლური ჭვრიტის ვაკუუმური ზონის უპირატესი ადგილმდებარეობის თეორიული და ექსპერიმენტული დასაბუთება [60]; შემოტანილია ცნებები ვაკუუმ-ამძრავის საკუთარი წვევის ფაქტორისა და ლენტის ოპტიმალური საწყისი (ჩამოქანების შტოს) დაჭიმულობის შესახებ ($S_{\beta} \leq 2pRB$). აღნიშვნის ღირსია ის ფაქტორიც, რომ ამავე ნაშრომში გაკეთებულია მიმდინარე პარაგრაფის მე-5 და მე-6 პუნქტებში განხილული საკონტაქტო ზედაპირების ტიპების ერთნაირი ტიპზომის ვაკუუმ-დოლების წვევის ძალების ანალიზი (იხ. ნახ. 1.19). ნახ. 1.19ა-ზე მოცემულია [22, 32] კვლევის შედეგები. ნახ. 1.19ბ-ზე წარმოდგენილია იმავე დოლის წვევითი თვისებები, სპეციალური სამარჯვებით (თამასებით) ცენტრალური გაწოვის იმიტაციის გაკეთების შემდეგ [60]. ნახ. 1.19გ-ზე კი იგივე ტიპზომის სტუ-ს სამთო მანქანების, მაღაროს სტაციონარული დანადგარებისა და ტრანსპორტის კათედრის ლაბორატორიაში შექმნილი ცენტრალური გაწოვის გრძივდარებიან წრფივ კოლექტორიან ვაკუუმ-დოლზე შესრულებული ექსპერიმენტებით მიღებული წვევითი თვისებები [60].

წარმოდგენილი შედეგების მიხედვით ცენტრალური გაწოვის გრძივდარებიანი ზედაპირის მქონე ვაკუუმ-დოლის წვევის ძალები თითქმის სამჯერ აღემატება (იხ. ნახ. 1.19გ; $p=608$ მმ.ვ.წყ.სვ; $S_{\beta}=2800$ დკნ, $S_{\beta}=200$ დკნ) განაპირა გაწოვის გრძივდარებიანი ზედაპირის ვაკუუმ-დოლის წვევის ძალებს (იხ. ნახ. 1.19ა; $p=600$ მმ.ვ.წყ.სვ; $S_{\beta}=950$ დკნ., $S_{\beta}=200$ დკნ). გარდა აღნიშნულისა, ყურადსაღებია ის ფაქტორიც, რომელიც შეინიშნება ნახ. 1.19ა-ზე, კერძოდ, საწყისი დაჭიმულობის (S_{β}) ზრდით 0-დან რაღაც მნიშვნელობამდე მცირედ, მაგრამ მაინც, ვაკუუმის თითქმის ყველა სიდიდისთვის მცირდება, სწრაფობის წერტილში ლენტის დაჭიმულობა, ხოლო შემდეგ ზოგიერთ შემთხვევაში კვლავ მატულობს.

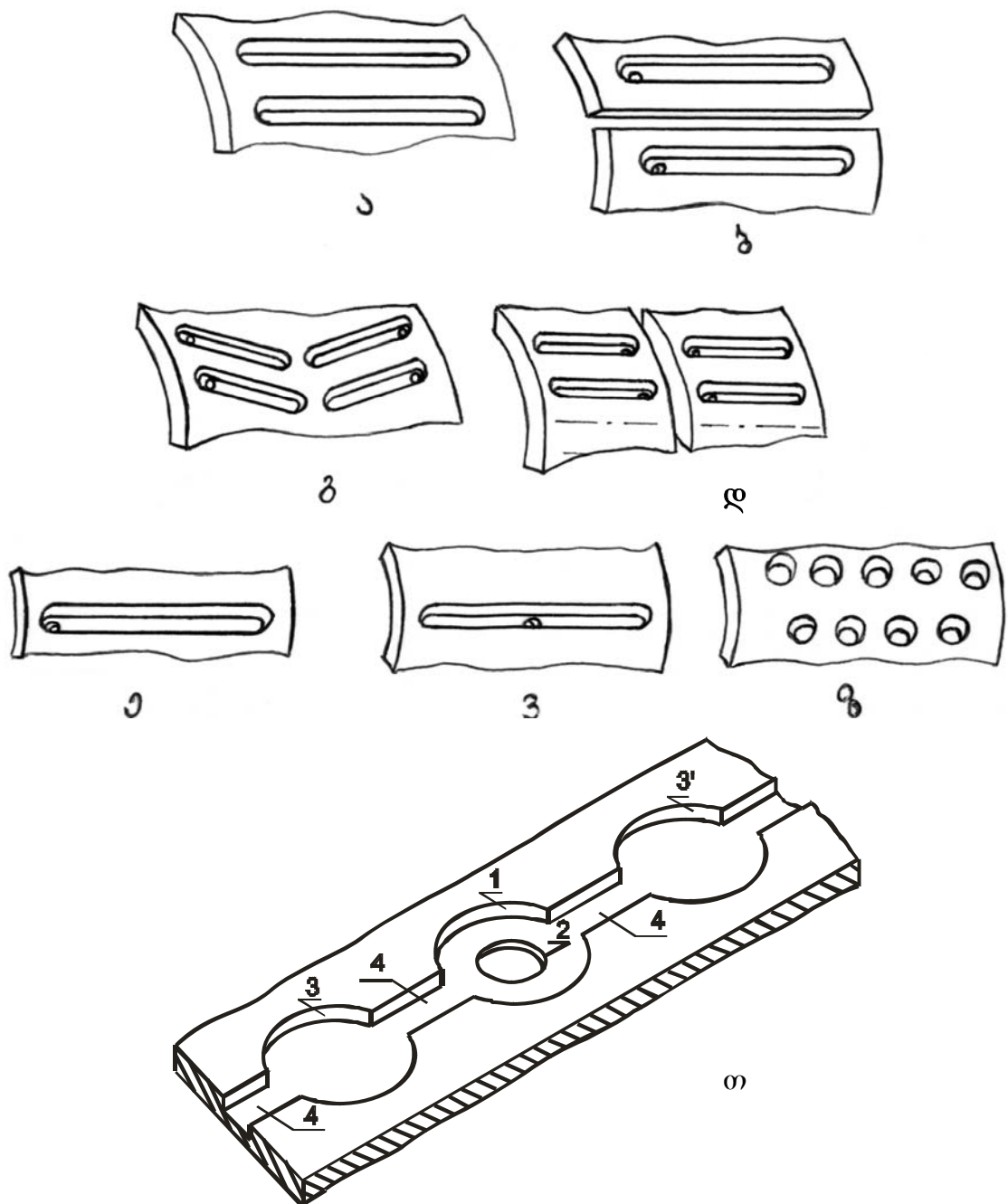


6.5b. 1.19

ეს მოვლენა არ აღინიშნება ნახ. 1.19ბ და გ-ზე დაფიქსირებულ ექსპერიმენტების შედეგებში, რაც მიგვანიშნებს იმაზე, რომ „ჭვრიტული ელასტიკური მოდებით“ წვევის ძალების რეალიზაცია (ამძრავის მუშაობისას, განსაკუთრებით, როდესაც $S_f \neq 0$) ან არ არსებობს ან უმნიშვნელოა. ამ საკითხის ანალიზსა და ნათელმოფენას უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ ახალი კონსტრუქციის საკონტაქტო ზედაპირის დამუშავება-შექმნისას და ლენტის რესურსების ანგარიშისას.

7. პერფორირებულ ზედაპირიანი (4-30) კონსტრუქციის ვაკუუმ-ამძრავები წარმოადგენს კვლევის ერთ-ერთ საინტერესო ობიექტს (1-5 ან 1-6; 2-7, 2-8 ან 2-9; 3-10, 3-11 ან 3-12), რომელიც გამოყენებულია ვაკუუმ-ამძრავების თითქმის ყველა კონსტრუქციული ნიშნის შემთხვევაში. ამით აიხსნება მეცნიერულ კვლევებში [21, 19, 20, 93] მათზე ვრცლად წარმოდგენილი ნაშრომები, როგორც ვაკუუმის ფორმირების ასევე ამძრავისა და მოქნილი საწვევი ორგანოს უერთიერთქმედების საკითხებზე. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ბოლო მონაცემების მიხედვით [93] შეიქმნა და გამოიცადა შუალედური ვაკუუმ-ამძრავი, რომელმაც ერთხელ კიდევ თვალსაჩინოდ დაადასტურა რგოლური ჭვრიტის გაუხშობებაზე მომუშავე ამძრავების უპირატესობა სხვა ამძრავებთან შედარებით. უნდა აღინიშნოს, რომ დღემდე წარმოდგენილ ყველა კვლევით სამუშაოში მითითებულია წვევის ძალების მნიშვნელოვან წილზე, რომელიც დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე ლენტის ჭვრიტული მოდებით „ელასტიკური კბილანური მოდებით“ ხორციელდება. ეს მოვლენა არასასურველია ამძრავის ნორმალური მუშაობის უზრუნველყოფისათვის და ყველანაირი ღონისძიებაა მოსაძებნი და მისაღები, რათა წვევის ძალების რეალიზაცია ხდებოდეს გარეგანი ხახუნით, ამასთან, საკონტაქტო ზედაპირზე რგოლურ ჭვრიტეში მაქსიმალური და თანაბრად განაწილებლი ვაკუუმის პირობებში. შრომებში მითითებულია, რომ გაიშვიათების გარეგან წყაროდ გამოყენებულ ვაკუუმ-ტუმბოებს შეუძლია 70-80 კპა-ის გაიშვიათების უზრუნველყოფა [20]. ლიტერატურულ წყაროებში [19] ისიც ცნობილია, რომ რაღაც მიზეზების დროს და არც თუ ისე იშვიათად, საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმი მცირდება $5 \div 10$ კპა-მდე. ეს კი იმაზე მიუთითებს, რომ გამაუხშობელი მექანიზმის, მაგალითად ტუმბოს გამოყენება არასრულფასოვანია. ჩვენს მიერ მოძიებული მასალების მიხედვით კი მისი სტაბილიზაციისა და ამაღლების შესაძლებლობა მნიშვნელოვანია. ამის რეალურ მაგალითს წარმოადგენს თუნდაც ნახ.1.19-ზე წარმოდგენილი შედეგები.

ვითვალისწინებთ რა ყოველივე ზემოთთქმულს, ვიზუალურად, წინასწარი ანალიზის გაადვილების მიზნით, საკონტაქტო ზედაპირების არსებული კონსტრუქციების შეიდივე ტიპის ილუსტრაციისათვის მოგვყავს მათი გამოკვეთილი ფრაგმენტები (ნახ. 1.20 ა, ბ, გ, დ, ე, ვ, ზ). არსებული თეორიული, ექსპერიმენტული კვლევითი მასალებისა და საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციებისა და კონსტრუქციული სქემების ანალიზის საფუძველზე ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ამძრავების ახალი საკონტაქტო ზედაპირი წრიული ამონაჩარხისა (პერფორაციის მსგავსი არაგამჭოლი) და გრძივი ღარის სინთეზის სახით (ნახ. 1.20 თ).



ნახ. 1.20

1.4. საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირებისადმი მიძღვნილი სამუშაოების ანალიზი

ვაკუუმის ცნება ფიზიკასა და ტექნიკაში განისაზღვრება, როგორც გაზის მდგომარეობა, ატმოსფერულზე გაცილებით დაბალი წნევის პირობებში ე.ი. ვაკუუმი რაოდენობრივად განისაზღვრება გაზის აბსოლუტური წნევით. ვაკუუმის ფიზიკაში გამოყენებული ძირითადი პოსტულატები ჩამოყალიბებულია შემდეგი სახით:

1. გაზი შესდგება ცალკეული მოლეკულებისაგან;
2. არსებობს, სიჩქარის მიხედვით, გაზის მოლეკულების მუდმივი განაწილება, ანუ მოლეკულების ერთნაირი რიცხვი ყოველთვის ერთსა და იმავე სიჩქარეს ფლობს;
3. გაზის მოლეკულების მოძრაობისას არ არსებობს უპირატესი მიმართულება ანუ გაზის მოლეკულების სივრცე იზოტროპულია;
4. გაზის ტემპერატურა წარმოადგენს მისი მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერჯიის საზომს;
5. მყარი ტანის ზედაპირთან ურთიერთქმედებისას გაზის მოლეკულა ადსორბირდება.

გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ვაკუუმში მიმდინარე მრავალი ფიზიკური პროცესი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მოლეკულების რეციპიენტების კედლებზე დაჯახებათა საშუალო რიცხვისა (K_j) და მოლეკულების ურთიერთ დაჯახებათა რიცხვის (K_g) ფარდობაზე – $K_{jg} = K_j/K_g$; K_{jg} – არის კნუდსენის კრიტერიუმის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომლის მიხედვით განისაზღვრება ვაკუუმის ხარისხი: დაბალი, საშუალო, მაღალი და ზემადალი.

დაბალი ვაკუუმის დროს $K_{jg} \ll 1$, ხოლო მოლეკულების თავისუფალი გზის საშუალო სიგრძე (L), ვაკუუმ-კამერის ეფექტურ ზომაზე (d_{eff}) მნიშვნელოვნად მცირეა.

საშუალო ვაკუუმი – ეს არის გაზის მდგომარეობა, რომლის დროს მოლეკულების ურთიერთ დაჯახებათა რიცხვი და მოლეკულების რეციპიენტების კედლებთან დაჯახებათა რიცხვი ერთნაირია, ამ დროს $L \approx d_{eff}$ ხოლო $K_{jg} \approx 1$;

მაღალი და ზემადალი ვაკუუმისას $K_{jg} \gg 1$, და $L/d_{eff} \gg 1$ ამ პირობისათვის საკმარისია აბსოლუტური წნევის მნიშვნელობა p_g არაუმეტეს 10^{-9} პა.

ამგვარად, უნდა ვიგულისხმოდ, რომ ვაკუუმ-ამძრავებში შექმნილი

გაუხშობა დაბალი და საშუალო ვაკუუმის ხარისხის ზღვრებშია კნუდსენის კრიტერიუმის მიხედვით და გაუხშობით მიღებული დოლზე ლენტის მიჭერის კუთრი ძალა $(0,1 \pm 0,95) \times 10^5$ პასკალის ფარგლებშია მოქცეული.

ვაკუუმ-ამძრავების თეორიის კვლევით სამუშაოებში [39, 21, 22] საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის თანაბარი განაწილება გათვალისწინებულია დოლის როგორც განივი, ასევე წრიული მიმართულებით. თუმცა, [22, 32] შრომებში ხაზგასმითაა მითითებული ლენტის და ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირების, „ელასტიკურ კბილანურ მოდებაზე“, რაც ეწინააღმდეგება ვაკუუმის თანაბარი განაწილების პირობას. ამგვარად, აღნიშნულ შრომებში გაუხშობების თანაბრად განაწილების იდეა არავითარ მამტკიცებელ დებულებებს არ შეიცავს, პირიქით, „ელასტიკური კბილანური მოდებით“ უფრო მეტ წინააღმდეგობაში ვარდება.

პერფორირებულ საკონტაქტო ზედაპირიანი ვაკუუმ-დოლის კვლევებში [21] მითითებულია წინამორბედ მკვლევართა უზუსტობები, რომლებიც ოთხი პუნქტის სახითაა ჩამოყალიბებული [21]. სამუშაო მიზნად ისახავდა ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტებში გაზის მოლეკულების მოძრაობის წინააღმდეგობის თეორიული შესწავლით საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში თეორიული გაუხშობების განსაზღვრას და შემდგომ მის ექსპერიმენტულად შემოწმებას. წარმოდგენილია ვაკუუმ-დოლის სისტემაში ნარჩენი წნევის ცვლილების განმსაზღვრელი ფორმულები: ჰაერის ტურბულენტური მოძრაობისას, სწორკუთხა ფორმის გრძივი ღარებისათვის, წრიული კვეთის რეციპიენტებისათვის, საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმ-დოლის პერფორაციების ირგვლივ და შემოთავაზებულია გასაშუალოებული თეორიული წნევათა სხვაობის განმსაზღვრელი ფორმულა, რომლითაც დოლის ზედაპირს აწვება ლენტი. მიღებული ნორმალური ძალების საფუძველზე განსაზღვრულია ამძრავი ვაკუუმ-დოლის წვევითი შესაძლებლობა (W_0) და მოცემულია ფორმულა ჰაერის პოლიტროპული პროცესით გაფართოებაზე მომუშავე ვაკუუმ-ტუმბოს მწარმოებლობის (Q) განსაზღვრისათვის.

$$W_0 = S_{\beta}(e^{f\alpha} - 1) + K_1 P_3 [0.8 K_2 R \alpha' B + m n F_1 (1 - K_2)] (e^{f\alpha'} - 1) / 736 \alpha'$$

$$Q = 60 K_{\alpha} (V_{\alpha} \alpha' + V_{\alpha} \alpha'') \times 2.3 \lg P_1 / P_2 / R \alpha' t$$

ამ გამოსახულებებში:

K_1 – არის კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს წნევის ცვალებადობას ვაკუუმ-დოლის ვაკუუმ სისტემის შემავალ მილტუხსა და მისი საკონტაქტო ზედაპირის პერფორაციას შორის;

K_2 – კოეფიციენტი, ითვალისწინებს რგოლური ჭვრიტის ნებისმიერ წერტილში ვაკუუმის ვარდნის ხარისხს, ამ წერტილის გაიშვიათების ზონის ცენტრიდან (პერფორაციიდან) დაშორების შესაბამისად;

P_3 – ვაკუუმეტრის ჩვენება, მმ.ვრ.წყ.სვ;

R – ამძრავი ვაკუუმ-დოლის რადიუსი, სმ;

m – პერფორაციის რიცხვი მსახველის გასწვრივ-რეციპიენტებზე;

n – რეციპიენტების რიცხვი რგოლურ ჭვრიტში;

α' – რგოლურ ჭვრიტში ცენტრალური კუთხე, რომელზეც იქმნება ვაკუუმი;

α'' – ვაკუუმ-დოლის ორ მეზობელ რეციპიენტს შორის ბიჯი;

F_1 – პერფორაციის ფართობი, სმ²;

B – ლენტის სიგანე, სმ;

K_{rel} – კოეფიციენტი ითვალისწინებს, რგოლური ჭვრიტიდან და ვაკუუმ-სისტემის სხვა ღრეჩოებიდან შეწოვილი ჰაერის რაოდენობას;

$V_{არხ}$ – ერთი ღარის ერთეულოვანი ვაკუუმ-სისტემის, – რეციპიენტის მოცულობა;

$V_{კოლ}$ – კოლექტორის საკნის მოცულობა;

R – პოლიტროპიის მაჩვენებელი;

t – ამოტუმბვის დრო;

P_1 და P_2 – ამძრავი ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტებში საწყისი და საბოლოო წნევები.

ექსპერიმენტულ ნაწილში პერფორაციებს შორის საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმის გაზომვა წარმოებდა ზონდირების საშუალებით და მიღებული შედეგი უდარდებოდა კოლექტორის წინ ვაკუუმ-ტუმბოს ქსელში ჩართული ვაკუუმეტრის ჩვენებას. ექსპერიმენტები შესრულებულია სხვადასხვა სიდიდის ვაკუუმისა და საკონვეიერო ლენტის დაჭიმულობისას, აგრეთვე მშრალი და სველი საკონტაქტო რგოლური ჭვრიტის შემთხვევებისათვის. მიმდინარეობდა დაკვირვებები გავლენაზე, რომელსაც ახდენდა ლენტის სიხისტე და დაჭიმულობა თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის ფორმირებაზე. გაკეთებულია თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზი და მიღებულია შესაბამისი დასკვნებიც.

მაგრამ საკონტაქტო ზედაპირის კონფიგურაცია და მისი პარამეტრებიც განსაზღვრულია მხოლოდ ამძრავის კონსტრუქციული (კოლექტორის საკნის ზომები, რეციპიენტების ბიჯი და ა.შ.) მოსაზრებით, სადაც არ ფიგურირებს

ისეთი აუცილებელი პარამეტრები როგორებიცაა დოლის ბრუნვის სისწორე, კოლექტორული რგოლის ჰერმეტიზაციის ხარისხი, ვაკუუმ-ტუმბოს გარე ქსელისა და საკუთრივ ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტების ჰაერის გამტარუნარიანობა ნაშრომში [21] წარმოდგენილი $\nabla R=55 \times 10^{-3}$ სმ სისქის რგოლური ჭვრიტის შემთხვევაშიც კი კოლექტორული რგოლის ღრეხოს (ლითონი-ლითონთან) აეროდონამიკური წინაღობა გაცილებით მცირე იქნება ამძრავის საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტის წინაღობასთან შედარებით, რაც საგრძნობლად გაზრდის $K_{\text{დ-კოეფიციენტს}}$ (იხ. ვაკუუმ-ტუმბოს მწარმოებლობის გამოსახულება) და არარაციონალურს გახდის კონსტრუქციას. დასკვნებში ნათქვამია, რომ სველი რგოლური ჭვრიტის შემთხვევაში უმჯობესდება ვაკუუმ-დოლისა და ლენტის ჩაჭიდულობის პირობა, ვაკუუმის ზონის ჰერმეტიზაციის ამაღლების ხარჯზე. ჩვენი მოსაზრებები ამ საკითხზე სრულად ემთხვევა ხახუნის კლასიკურ თეორიას და განხილულიც გვაქვს თანაბრად განაწილებული გაუხშობის შექმნის უზრუნველყოფის აუცილებელ პირობებში. (იხ. I თავის § 1.2 დასკვნითი ნაწილი; ოთხი პირობა).

ვაკუუმ-ამძრავების რგოლურ ჭვრიტებსა და ფრიქციულ საკონტაქტო ფართობებზე გაუხშობის ფორმირების პროცესის აღწერისადმი მიძრვნილ შრომებში [18, 19, 20, 17, 93] გამოყენებულია რეინოლდსის, პრანდტლის და ნუსსელტის კრიტერიუმები [93], ხოლო ლაბორატორიული ექსპერიმენტებისათვის, სტატიკურ რეჟიმში ტარდებოდა ზონდირების მეთოდით ვაკუუმის სიდიდის გაზომვა პერფორაციებსა, გრძივ დარებში და მათ შორის საკონტაქტო ფართობებზე, რაც არ შეესაბამება ვაკუუმის მყისურად ფორმირების რეალურ სურათს.

ვაკუუმ-ტუმბოს თეორიული მწარმოებლობის განმსაზღვრელი ფორმულა წარმოდგენილია ვაკუუმ-არხებში (რეციპიენტებში-მილსადენებში) ჰაერის მოძრაობის წინააღმდეგობის გაუთვალისწინებლად და აქვს სახე [20].

$$Q = \frac{V_s}{t_0} \ln \frac{p_1}{p_2}$$

სადაც, V_s – არის გასაუხშობელი (ობიექტის) აპარატის მოცულობა;

t_0 – გასაუხშობელი მოცულობიდან ამოტუმბვის დრო (და არა მოძრავი რეციპიენტის კოლექტორის საკანში ყოფნის დრო ($t_0=L_{\text{ს.ფ.}}/v$), სადაც $L_{\text{ს.ფ.}}$ – შუალედი ამძრავის სიგრძეა; v – ამძრავის ბრტყელას მოძრაობის სიჩქარე).

p_1 და p_2 – აპარატში საწყისი და საბოლოო წნევა.

ამ შრომების ნაკლოვან მხარეებში შეიძლება სრულად აღვნიშნოთ იგივე, რაც წარმოდგენილია ზემოთ [21] შრომის ანალიზისას.

მიუხედავად სადისერტაციო ნაშრომში [60] ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებისა, რომელიც მიეძღვნა საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში მიმდინარე პროცესებს, მაინც მცირე ყურადღება აქვს დათმობილი ავტონომიურ ვაკუუმურ მექანიზმებიანი (აჰმ) ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების მთელ ფართობზე ვაკუუმის გავრცელების ხასიათის თეორიულ შესწავლას. ნაშრომში [60] მითითებულია, რომ ვაკუუმში მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე თანაბრად ვრცელდება იმის გამო, რომ ზედაპირების მაკრო მოცულობები და ვაკუუმ-არხები (შევსილია) დასველებულია სითხით, რომელის გაწოვით ხდება ვაკუუმის შექმნა რგოლური ჭვრიტის მთელ ფართობზე. მტკიცება სარწმუნოა, და მაინც ვაკუუმის გავრცელების სიჩქარისა და ხასიათის თეორიული შესწავლა ამ შემთხვევაშიც აქტუალურია და კვლევის საინტერესო ამოცანას წარმოადგენს. ჩვენი აზრით მხოლოდ ამ ამოცანის სრულფასოვანი გადაწყვეტა მოგვცემს ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდიკას. სადისერტაციო ნაშრომში [60] წარმოდგენილი საერთო დასკვნები, როგორებიცაა: 1) ახალი მეთოდით ვაკუუმის შექმნა; 2) ცენტრალური გაწოვის მარტივ რეციპიენტებიანი აჰმ-იანი ამძრავის უპირატესობა; 3) ვაკუუმის ფორმირების ზონად “შედარებითი სიმშვიდის რკალის” აღიარება; 4) ვაკუუმ-ამძრავების გამოყენების ეფექტურ ზონად $S_{\leq 2pRB}$ – პროგრამული (ლენტის საწყისი) დაჭიმულობის მიჩნევა; 5) “დრეკადი სრიალის რკალზე” მყისური “საშუალო” სიდიდის ვაკუუმის (იხ. 2.5 პარაგრაფის დასაწყისი) შენარჩუნებით, ამძრავისათვის შესაძლებელი ყველაზე დიდი წევითი თვისებების უზრუნველყოფა; 6) რომ ვაკუუმ-ამძრავი ხასიათდება საკუთარი წვეის ფაქტორებით – $S_{\leq pRB}$ სავსებით მისაღებია და მათი გათვალისწინებით ვირჩევთ თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შემდგომ ეტაპს. ამ ეტაპის ძირითად მიზანს წარმოადგენს (ვაკუუმის წყაროსთან და ვაკუუმ-ამძრავთან კომპლექსში) საკონტაქტო ზედაპირის რაციონალური კონსტრუქციისა და მისი ოპტიმალური პარამეტრების საანგარიშოდ ისეთი მეთოდიკის დამუშავება, რომელიც მართებული იქნება თანამედროვე ნებისმიერი სტანდარტული ტიპ-ზომის საკონვეიერო (ვაკუუმ-) ამძრავის საანგარიშოდ.

ახალი საკონტაქტო ზედაპირის ყველა პარამეტრის ანგარიში და მათი შემდგომი შემოწმება ექვემდებარება ჩვენს მიერ შერჩეული ბაზისური ვაკუუმ-

დოლის (იხ. შესავლის დასკვნითი ნაწილი) მისადაგებას და შემდგომ მიღებული ახალი, – მოდიფიცირებული ამპრავის იტერაციულ გაანგარიშებას, რომელმაც საშუალებაა მოგვცა შეგვექმნა ამპრავის საკონტაქტო ზედაპირის გეომეტრიული ზომებისა და სხვა აუცილებელი პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდიკა.

1.5. დასკვნები და კვლევის შემდგომი ამოცანები

ლიტერატურული და საპანტენტო მოკვლევის საფუძველზე მიღებული შედეგებიდან დასკვნების სახით გამოვყავით ვაკუუმ-ამპრავების კონსტრუირების რამდენიმე ყველაზე მნიშვნელოვანი საკითხი, ხოლო საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის მიღებისათვის კვლევის ამოცანები

დასკვნები:

1. ვაკუუმის ფორმირების ერთ-ერთ პერსპექტიულ ტექნოლოგიურ სქემას წარმოადგენს, უმარტივესი რეციპიენტებითა და აპმ-ის რგოლურ ჭვრიტესთან შემაერთებული მოხერხებული კვანძებით აღჭურვილ ავტონომიური ვაკუუმ მექანიზმებიანი (აპმ) ვაკუუმ-ამპრავების კონსტრუქციებში მიმდინარე გაუხშობის პროცესი;

2. ვაკუუმის შექმნის ეფექტურ ($\alpha_{\text{ეფ}}$) ზონად მივიღოთ, “შედარებითი სიმჭიდროდის” რკალი (დგუშის სვლის სიდიდეზე დამოკიდებულებით $\alpha_{\text{ეფ}} \approx (0,05 \div 0,2) \cdot \alpha_{\text{კ}}$), ხოლო წვეის ძალების რეალიზაციის ეფექტურ საკონტაქტო უბნად “დრეკადი სრიალის რკალი“, სადაც საჭიროების შემთხვევაში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს ვაკუუმის კარგების კომპენსაცია.

3. აპმ-იანი ვაკუუმ-დოლის რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირება და მისი თანაბრად განაწილება უნდა განვიხილოთ კომპლექსურად, აპმ-იანი დოლის ბრუნვის სიხშირისა და დგუშის სვლის სიდიდის გათვალისწინებით.

4. ყველა ტექნიკური მოთხოვნა, რომელიც ჩამოყალიბებულია ნაშრომში [60], მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ვაკუუმ-ამპრავის კონსტრუირების ნებისმიერი ეტაპისათვის.

5. ვაკუუმის შექმნის უხელსაყრელეს პირობას წარმოადგენს რეციპიენტებში ჩაკეტილი სითხის ადიაბატური ან ჰიპერადიაბატური გაფართოება, რომლის დროს ოპტიმალური სიდიდის გაუხშოვება $p=(0,9-0,95) \cdot 10^5$ პა.

6. ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის კონსტრუქცია უნდა უზრუნველყოფდეს რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაციის აუცილებელ პირობებს: აზმების ურთიერთ დამოუკიდებელ მუშაობას (არ უნდა ხდებოდეს მეზობელი რეციპიენტებიდან სითხის გაწოვა) და ლენტის ნაპირებიდან (ჰაერის) სითხის შეუღწევადობას.

კვლევის ამოცანები:

1. კონსტრუქციის თვალსაზრისით რგოლური ჭვრიტის საკონტაქტო ზედაპირებზე ხახუნის წყვილში ლითონ-საკონვეიერო ლენტი (ელასტომერი), ფრიად მნიშვნელოვანია იმის ცოდნა, თუ რა პირობებია მოჭარბებული (გაბატონებული) შეხეთვა თუ მშრალი ხახუნი. შესაბამისად შესწავლილი უნდა იქნეს ჰიდროდინამიკურ, ზღვრულ და დრეკადჰიდროდინამიკურ რეჟიმებში სითხის (წვეთოვანის ან ჰაერის) მოძრაობის კანონზომიერება.

2. რგოლურ ჭვრიტეში ხახუნის ძალის წარმომშობი მექანიზმის განხილვა უნდა მოხდეს ინჟინრული კვლევისათვის სრულიად მისაღებ მაკროსკოპულ დონეზე, შედარებით უხეში, მაგრამ სარწმუნო (დამაჯერებელი) მოდელის საფუძველზე (სიმქისე გაიზომოს მმ-ში).

3. უნდა დამუშავდეს მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ვიანგარიშით საკონტაქტო ზედაპირის ოპტიმალური პარამეტრები: ვაკუუმ-არხების ბიჯი — t , საკონვეიერო ლენტის საყრდენი სეგმენტის სიგანე — δ , ღარის სიგანე — β , პერფორაციის დიამეტრი — a და ა.შ.

4. მიღებული თეორიული შედეგებისა და ძირითადი პარამეტრების შემოწმება ლაბორატორიის ფიზიკურ და კომპიუტერულ მოდელზე.

თავი II. საკონვეიერო ამძრავების კვანძების მოხაზუნე ზედაპირების მაკროსიმქისის შესწავლა და ანალიზი

2.1 ზედაპირების ტოპოგრაფიის (ტექსტურის) შესწავლის მეთოდები და პარამეტრები

ხაზუნის პროცესის ერთ-ერთ საინტერესო საკითხს წარმოადგენს ზედაპირების მექანიკური ურთიერთქმედების ბუნება. აღნიშნულ საკითხზე თუნდაც მხოლოდ წარმოდგენის შექმნისათვის საჭიროა ზედაპირების ტექსტურის შესწავლა, რისთვისაც საჭიროა სიმქისის გაზომვის მეთოდის შერჩევა. არსებობს სიმქისის გაზომვის: მექანიკური, ჰიდრაულიკური და ოპტიკური მეთოდები [54, 55].

ზედაპირების ტოპოგრაფიის დახასიათებისათვის, საჭიროა მისი აუცილვებული პარამეტრების დაზუსტება. დღეისათვის ცნობილია ერთპარამეტრიანი მოდელის 12 ვარიანტი; მათგან ყველაზე პირველი იყო 1933 წელს ნიკურაძის მიერ შემოთავაზებული. მკვლევარები იმედოვნებდნენ, რომ ერთპარამეტრიანი მოდელირებით შეიძლებოდა ზედაპირის პროფილის სრული აღწერა, მაგრამ ვერ შეთანხმდნენ თუ, რომელი იქნებოდა ამისათვის ყველაზე შესაფერისი პარამეტრი. ზედაპირების დახასიათებისათვის ერთპარამეტრიანი მოდელირების არასრულფასოვნებაში დარწმუნების შემდეგ რუხის, მურის და სხვა მკვლევართა მიერ შემოთავაზებული იყო სამ-სამ პარამეტრიანი მოდელები; უფრო მოგვიანებით ზედაპირის ტექსტურის სრულყოფილი აღწერისათვის მურმა ჩამოაყალიბა (მკაფიოდ გამოხატული) ხუთი პარამეტრისაგან შედგენილი მოდელი. არსებობს ზედაპირის ტექსტურის აღწერის სხვა მეთოდებიც, მაგალითად, ებბოტის “საყრდენი ზედაპირის” ცნობილი მრუდი, რომელიც წარმოადგენს ზედაპირის უსწორმასწორობების შუა სიბრტყის მიმართ შვერილებისა და ღრმულების პროცენტულ განაწილებას [54, 55].

ამგვარად ზედაპირის გეომეტრიის სრული დახასიათებისათვის, ზოგიერთი ცალკეული შემთხვევისათვის, საკმარისია სამ პარამეტრიანი მოდელირება, ხოლო ზედაპირის ტექსტურის განსაკუთრებულობების ზოგადი აღწერისათვის კი ხუთი შემდეგი პარამეტრია შემოთავაზებული: 1. ზომა; 2. ფორმა; 3. შვერილებს შორის მანძილი; 4. უსწორმასწორობების პიკების მიკროსიმქისე; 5. უს-

წორმასწორობების სიმაღლეთა განაწილება. ჩამოთვლილთაგან პირველი სამი, ტექსტურის აღწერისათვის აუცილებელია. აღნიშნულის გამო რუხის და მურის მიერ ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად შემოთავაზებული იყო შემდეგი პარამეტრები: 1. ზომის ფაქტორი – ε/L ; 2. ფორმის ფაქტორი – $L\bar{r}/\varepsilon$ (სპრ-საშუალო ჰიდრაულიკური რადიუსი) და 3. შვერილებს შორის მანძილის ფაქტორი – $(1-a/a_s)$: სადაც ε -არის ზედაპირის უსწორმასწორობების შვერილის სიმაღლე (ითვლება მუდმივად [54]), სპრ-განისახდვრება სითხის ნაკადისათვის არხის ტიპურ მონაკვეთზე (ნაკადის ზედაპირის ფართობის შეფარდებით სველ პერიმეტრთან); L – წარმოდგენილი პროფილის სიგრძეა, a – “პლატო” ანუ $L \times L$ ზედაპირის შვერილების წვეროების საერთო (ჯამური) ფართობი; a_s -ზედაპირის ნომინალური ფართობი ანუ L^2 .

ზედაპირის შვერილების სიმაღლის ცვალებადობა ნათლად აისახება კონტურული გრაფიკების საშუალებით [54], რომელიც შეიძლება აიგოს სამგან-ზომილებიანი ტვიფრის მოცულობითი რეპლიკების (მიკრორელიეფის გამომხატველი თხელი აპკის) საშუალებით. რეპლიკების მიღება შეიძლება შესასწავლ ზედაპირზე მასტიკის ჩაწნევით (მაგალითად არალდიტის [55]) ან მეიერის მეთოდით – შესასწავლ ზედაპირზე ალუმინის ფოლგის (კილიტას) ფურცლის მოთავსებით, მასზე შემდგომი – რეზინის სადებით დარტყმითი მოქმედებით.

საკონტროლო ზედაპირების უწესრიგო ტექსტურის გამო, მისი აღწერისათვის საყოველთაოდ მიღებულია მათი წარმოდგენა იდეალური ფორმის ერთ ან შვერილთა ჯგუფად; მიღებულია კუბის, კონუსის და სფეროს ფორმის შვერილები. არსებობს აზრი სხვა იდეალიზებულ ფორმებზე: კუბი, პირამიდა და ნახევარსფერო [54]. რეალური ზედაპირის წარმოდგენისათვის, უმჯობესია ყველა ფორმის შვერილის (კუბის, კონუსის პირამიდის...) ერთ მოდელში გაერთიანება. არსებობს სხვა მნიშვნელოვანი შეხედულებებიც [54]. აღნიშნულის გამო ჩამოყალიბებულია მოთხოვნები ტექსტურის (პროფილის) უწესრიგობების შეხედულებაზე. ჩვენი სამუშაოს შინაარსის მიხედვით მნიშვნელოვან მოთხოვნას წარმოადგენს ზედაპირზე დრენაჟირების თვისებების შენარჩუნება, რისთვისაც აუცილებელია, რომ სარინი არხები არ იყოს ძალიან გრძელი და ამასთან ძალიან ღრმა.

დერიაგინის კვლევების მიხედვით „სითხის მოცულობითი თვისებები იკარგება მხოლოდ ღრეჩოს (არხის) 0,1 მკმ-მდე შემცირების შემდეგ“ [71]; 6. პეტროვმა ასეთ ღრეჩოებში სითხის მოძრაობის ლამინარულობის დაშვების სამართლიანობა დაამტკიცა; ლითონების მექანიკურად დამუშავებისას კი მათი

ზედაპირების გეომეტრიის შესწავლამ [33] მაკროსიმქისის ზომების შემდეგი ხარისხობრივი მონაცემები უჩვენა: სახარატო ჩახზე ჩარხვისას – $0,25 \div 2,0$ მმ; ხეხვისას – $12,0 \div 75,0$ მკმ; წმინდა ხეხვისას – $2,0 \div 25,0$ მკმ; გაპრიალებისას – $0,2$ მკმ. თუ იმასაც აღვნიშნავთ, რომ ვაკუუმ-ამძრავების ლენტთან საკონტაქტო ზედაპირის დამუშავება ხდება ჩარხვით და სხვა მექანიკური ოპერაციებით, მაშინ აღნიშნულზე დაყრდნობით შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ საკონვეიერო ლენტთან წარმოქმნილ ჭვრიტეში სითხის მოძრაობა ძირითადად იქნება ლამინარული, შენარჩუნებული იქნება სითხის მოცულობითი თვისებები, ხოლო ჭვრიტეში სითხის დინების ანგარიშისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ უკუმშვადი ბლანტი სითხის მოძრაობის ცნობილი განტოლებებით.

2.2 ვაკუუმ-ამძრავების ხახუნის კვანძების საკონტაქტო ზედაპირების დახასიათება

ვაკუუმ-ამძრავების ხახუნის კვანძები წარმოდგენილია სხვადასხვა საკომპოზიციო მასალების კონსტრუქციული შეთანწყობის სახით. ამ კვანძების საკონტაქტო, ურთიერთის მიმართ მიმოძრავი ზედაპირებით ხდება არხებსა (რეციპიენტებსა) და რგოლურ ჭვრიტეებში ვაკუუმის შექმნაც და გარკვეული პერიოდით მისი შენარჩუნებაც. დღემდე ცნობილ ვაკუუმ-ამძრავებში, შეიძლება გამოიყოს ხახუნის სამი ძირითადი კვანძი:

1. ნებისმიერი კონსტრუქციის კოლექტორი, რომლითაც ხდება ვაკუუმის გარე წყაროსთან (ვაკუუმ-ტუმბოსთან) ვაკუუმ-ამძრავის მუშა რეციპიენტების დაკავშირება.

2. ამძრავისა და ლენტის საკონტაქტო ზედაპირებით შექმნილი რგოლური ჭვრიტე, რომლითაც ხდება წვევის ძალების რეალიზაცია. ამ კვანძში რგოლური ჭვრიტის დოლისეულ ზედაპირებში წარმოდგენილია (განხილური გვაქვს) [67,68] ყველა ცნობილი საკონტაქტო ზედაპირის კონსტრუქცია, მათ შორის ჩვენს მიერ შემოთავაზებული – გრძივდარიანი, წრიული ამონაჩარხებით (იხ. ნახ. 1.20თ).

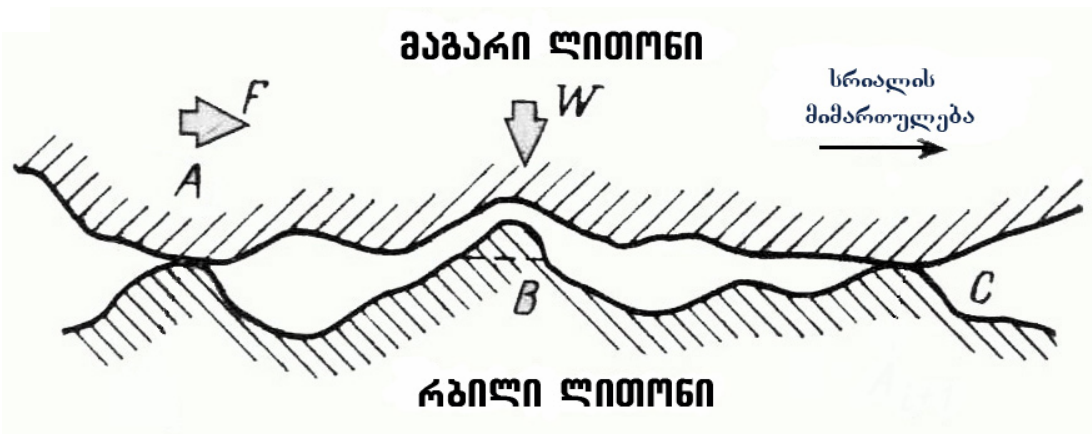
3. ცილინდრ-დგუშიანი აპმ (ავტომატური ვაკუუმური მექანიზმი), რომლითაც დოლის ბრუნვის თანხვედნილად, დგუშების უკუქცევით-წინსვლითი

მოძრაობით მარტივი ვაკუუმ-არხების და ნახვრეტების საშუალებით, რგოლურ ჭვრიტეში იქმნება გაუსშობა.

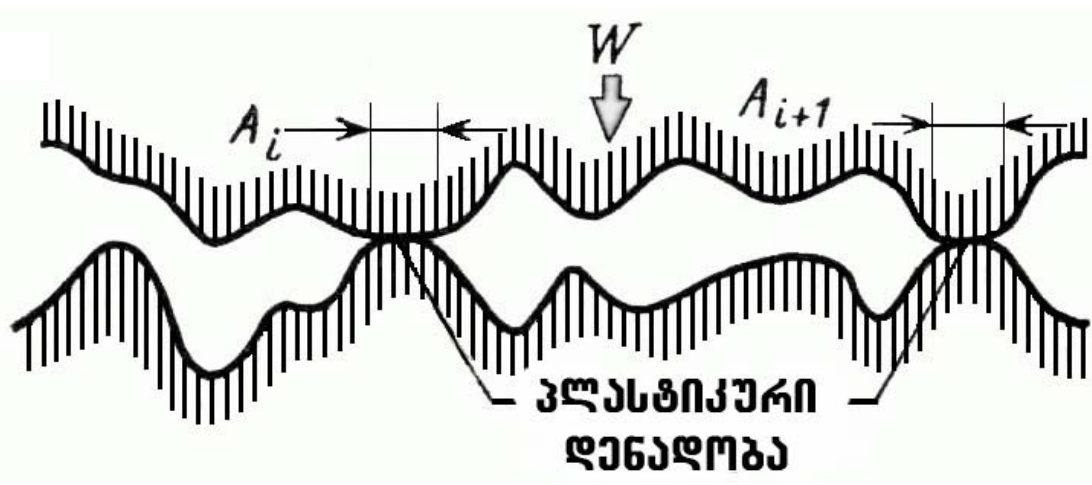
განვიხილოთ თითოეული.

1) ვაკუუმ-დოლის კოლექტორის მოხახუნე ზედაპირები ლითონისაა და მისი წმინდა ხეხვით დამუშავებისას სიმქისე იქნება $2\div 25$ მკმ-ის ზღვრებში. ამ კვანძზე ლითონის-ლითონზე ხახუნის კვლევეების შედეგად მიღებული შეხედულებები გავრცელდება, როგორც ხახუნის თეორიის შესწავლისას, ასევე ზედაპირების ტექსტურის განხილვისას [54, 55, 76, 82, 83, 84].

ა)



ბ)

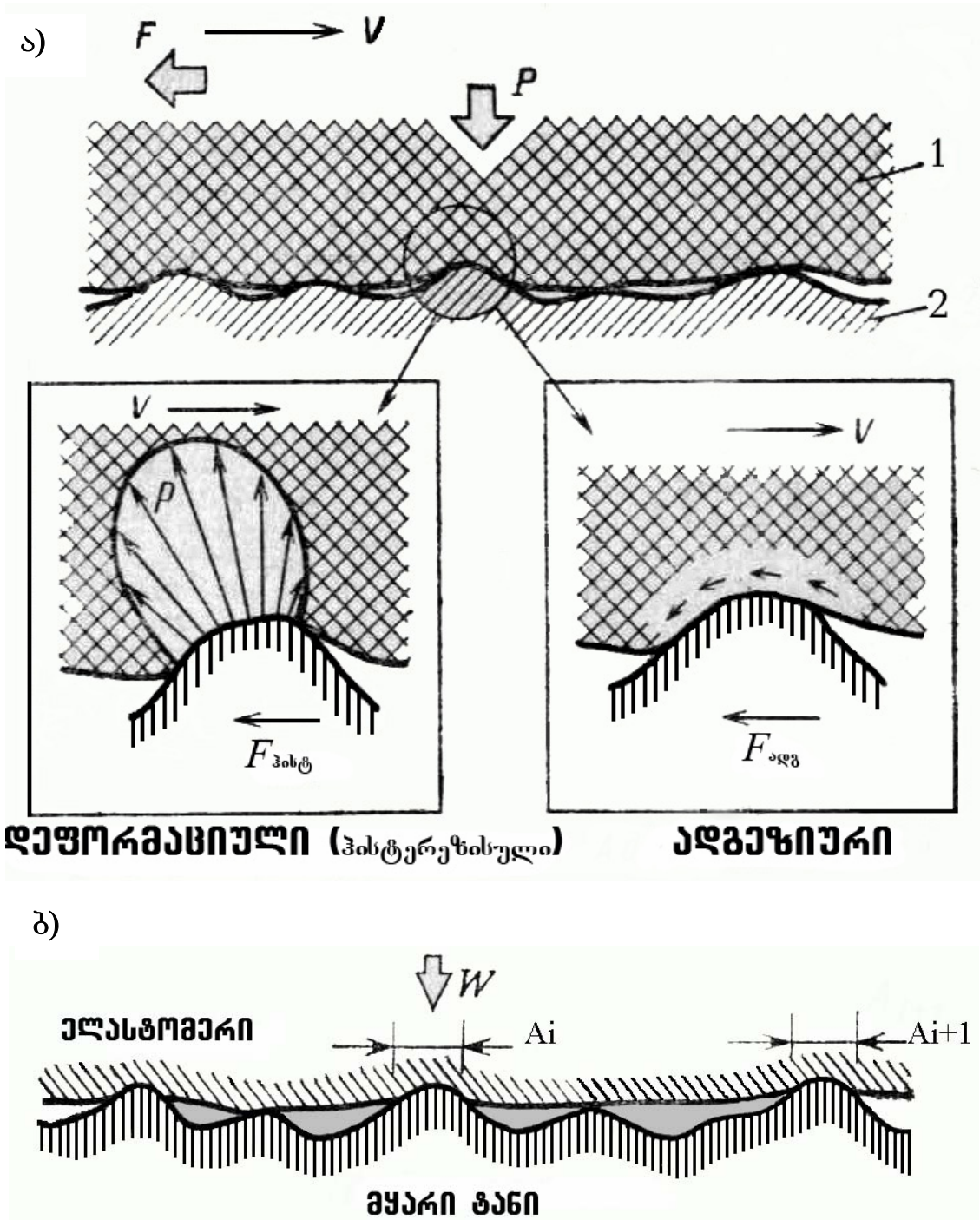


ნახ. 2.1.

ნახ. 2.1.-ზე წარმოდგენილის მიხედვით თითოეული ზედაპირის სიმქისის მიერ შექმნილი „პლატო“ ზედაპირი მცირეა (განსაკუთრებით მაშინ, თუ ზედაპირები თერმულად დამუშავებულია და დრეკადი და დრეკადპლასტიკური ეფექტი შემცირებულია). ამგვარად დიდია რგოლური ჭვრიტის მაკროსიმქისე. შესაბამისად დიდი იქნება სიჩქარეც და ჭვრიტეში გამავალი სითხის ხარჯიც. ყოველივე ეს მოითხოვს დამატებითი ჰერმეტიზაციის ღონისძიებების ჩატარებას,

კოლექტორიდან რეციპიენტების ატმოსფეროსთან მოკლედ შერთვის გამოსარიცხად.

2) დოლისა და ლენტის რგოლური ჭვრიტის გეომეტრიული მაკროზომები კოლექტორის ზედაპირებით შექმნილ ჭვრიტესთან შედარებით, შემდეგნაირ შესაბამისობაში იქნება: გაჩარხვით დამუშავებისას დოლის ზედაპირის სიმქისის ზღვრები 0,25÷2 მმ-ის ფარგლებშია; ხოლო თუ ელასტომერებზე ხახუნის კვლევის შედეგად მიღებულ შეხედულებებს გავითვალისწინებთ, მაშინ მას ნახ. 2.2.-ზე წარმოდგენილი სახე ექნება [54, 55].



ნახ. 2.2.

როგორც ნახ. 2.2-დან ჩანს, – აღნიშნულ შემთხვევაში, დოლის ზედაპირის სიმქისეზე (მაკროშვერილებზე) დიდია ელასტომერის დეფორმაციის ხარისხი. შედეგად დიდია „პლატო“ ზედაპირი. ამგვარად საკონტაქტო ზედაპირზე გვექნება ერთი-მეორესთან კაპილარული არხებით დაკავშირებული, ორივე ზედაპირის სიმქისეებით წარმოქმნილი (ე.წ. შემზეთი) სითხის ლოკალური რეზერვუარები.

ნახ. 2.1 და 2.2. და აგრეთვე ელასტოპლასტიკური შეზეთვის თეორიის [76, 55] გათვალისწინებით ვაკუუმის სისტემებს დაქვემდებარებული ზედაპირები: კოლექტორების შემთხვევაში, ლითონის-ლითონთან ხახუნისას (ნახ. 2.1) მაკროსიმქისეებში განუწყვეტლივ მიმდინარეობს შედუღების, წაკეთისა და დაკაწვრის (დახვნის) პროცესები, ხოლო ლითონის – ელასტომერთან ხახუნისას ლითონის სიმქისეებზე დეფორმირდება და მჭიდროდ ებჯინება მას ელასტომერი, შესაბამისად მიღებული ჭვრიტის კაპილარული არხები და ლოკალური რეზერვუარები კოლექტორის (ლითონის-ლითონთან) ჭვრიტის მაკრო სიმქისეზე მცირე იქნება.

რეზერვუარებიდან გაწოვისათვის, კი კაპილარულ არხებში სითხის ჰიდროაეროდინამიკური წინააღმდეგობები კოლექტორული მოწყობილობის ჭვრიტის წინააღმდეგობაზე ნაკლები უნდა იყოს, წინააღმდეგ შემთხვევაში სითხის (ჰაერის) შეწოვა ვაკუუმ-ტუმბოთი მოხდება კოლექტორს გარე სივრციდან (მაგ. ატმოსფეროდან) და არა ამძრავი დოლის და საკონვეიერო ლენტის რგოლური ჭვრიტიდან.

3. ცილინდრ-დგუშიანი მუშტა მექანიზმი, რომელიც შრომებში [60, 65, 66] მოხსენიებულია, როგორც ავტონომური ვაკუუმური მმქანიზმები (ავმ) წარმოადგენს სტანდარტული ზომების U -ს მაგვარი რეზინის (და მისთ.) სამაჯურების (მანუეტების) – დგუშების, მთლიანადხილული უჟანგავი მილების – ცილინდრების და დაკალიბრებული დეროებისაგან (დგუშების ჭოკებისათვის) შედგენილ მექანიზმებს. ამ მექანიზმების დგუშისეული სივრცის ჰერმეტიზაციის გაუმჯობესებისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ U -ს მაგვარი სამაჯურების ერთობლიობა, ხოლო მისი მუშაობის საიმედოობის გაზრდის მიზნით (კონსტრუირებისას და ამძრავი დოლის საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციების კვლევისას), უნდა გავითვალისწინოთ ავმ-ის დგუშების ოპტიმალურად მცირე სვლა.

ფიზიკური და კომპიუტერული მოდელების საშუალებით ზემოთ მოტანილი ხახუნის სამივე კვანძის მოხახუნე ზედაპირების მაკროსიმქისეებსა, ლოკა-

ღურ რეზერვუარებსა და კაპილარებში სითხის მოძრაობის შესწავლა თეორიულად და ექსპერიმენტულად განაპირობებს ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენას.

2.3. ვაკუუმ-ამძრავი როგორც ლენტური საკისარი

აზმ ვაკუუმ-ამძრავებში ვაკუუმის შექმნის პროცესის ოპტიმალურ ვარიანტად წარმოდგენილია [60] რგოლურ ჭვრიტეში გაუხშოვების შექმნის ორსაფეხურიანი მოდელი. პირველ საფეხურში გათვალისწინებულია დოლისა და ლენტის საკონტაქტო ზედაპირზე სითხის წნევით მიწოდება. საწნევო საქმენი საკონვეიერო ლენტისა და დოლის ზედაპირის მიმართ ისე უნდა იყოს განლაგებული, რომ უზრუნველყოფდეს სითხით ამძრავის რგოლური ჭვრიტისა და აზმის დგუშისეული სივრცის მაქსიმალურად შევსებას. ამ პროცესით მთავრდება პირველი საფეხური, რომელიც მეორე საფეხურში უზრუნველყოფს „თხევადი დგუშით“ (სითხით, რომელიც დგუშისეულ სივრცესა და რგოლურ ჭვრიტეში იქნება შეყვანილი) ვაკუუმის ფორმირებას საკონტაქტო ზედაპირზე. მეორე საფეხურში, შედარებითი სიმშვიდის რკალზე, იწყებენ რა დგუშები (ელასტომერის U -ს მაგვარი სამაჯურები) მოძრაობას, აზმ-იანი დოლის ცენტრიდან პერიფერიებისაკენ, მოძრაობაში მოყავთ, საწნევო საქმენის საშუალებით რგოლურ ჭვრიტესა და დგუშისეულ სივრცეში, ჩვენს მიერ იძულებით (წნევით) შეყვანილი სითხე [62]. ეს პროცესი განუწყვეტლივ მეორდება ამძრავის მუშაობისას. როგორც ზემოთ აღწერილიდან ჩანს, ვაკუუმის შექმნის მოსამზადებელი პირველი საფეხურის ხარისხიან შესრულებას (დგუშისეული სივრცისა და რგოლური ჭვრიტის ლოკალური რეზერვუარების სითხით მაქსიმალურ შევსებას) უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ამძრავის რგოლურ ჭვრიტეში გაუხშოვების თანაბრად განაწილებასა და ფორმირებაში. ამიტომ ვაკუუმის შექმნის პროცესის შესწავლისას არანაკლები ჯეროვანი ყურადღება უნდა დაეთმოს პირველ საფეხურსაც. ვაკუუმის ფორმირების ეს ეპიზოდი შეიძლება გამოვიყენოთ, როგორც წვეის ძალებისა და ლენტის მოძრაობის სიჩქარის რეგულირების ერთ-ერთი საშუალება (მაგალითად კონვეიერის გაშვებისას).

ზემოთ აღწერილის მიხედვით შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ საქმენის წნევის ხარჯზე რგოლურ ჭვრიტეში შეტანილი უხვი სითხის გამო დასაწყისში

დოლზე ლენტის ხახუნი ჰიდროსტატიკურ რეჟიმში მიმდინარეობს, დგუშების პერიფერიებისაკენ ამოძრავებისთანავე გადადის ზღვრულში, ხოლო აგრძელებენ რა ავმ-ის დგუშები (ინტენსიურ) სვლას პერიფერიებისაკენ ხახუნი პრაქტიკულად გადადის მშრალ ხახუნში (იმავედროულად ვაკუუმის გარემოში). დგუშების პროგრამულ მოძრაობას ახორციელებს წინასწარი გათვლებით დაპროექტებული, ჭოკის ბოლოვანებთან დაკავშირებული მრუდწირული მიმმართველები. აღნიშნულის გათვალისწინება და არსებული ლიტერატურული წყაროების ანალიზი იძლევა საფუძველს დავასკვნათ, რომ დგუშების პერიფერიებისაკენ სვლის დაწყებისთანავე, რგოლურ ჭვრიტეში ხდება სითხის იძულებითი დრენაჟირების უცილობელი გააქტიურება.

ვაკუუმ-დოლის მუშაობის პროცესი, განსაკუთრებით საწყისი მომენტში (როდესაც ხახუნი მიმდინარეობს ჰიდროსტატიკურ რეჟიმში), ლენტური საკისრის მუშაობის რეჟიმის იდენტურია. შესაბამისად, მისი პარამეტრების განსაზღვრისას, იტერაციული მეთოდით შეიძლება გამოვიყენოთ ლენტური საკისრის გაანგარიშების თეორიის საკითხები.

რაც შეეხება ხისტი საყრდენისა და ელასტომერის (მაგ. ამძრავი დოლის ზედაპირისა და საკონვეიერო ლენტის) ურთიერთმიახლოების ზუსტ თეორიულ ანალიზს, იგი ჯერ არ არსებობს [54].

ამგვარად, ლენტური კონვეიერის ჩვეულებრივი დოლური ამძრავები, როდესაც მათ მუშაობა უხდებათ სველი ხახუნით ე.ი. ელასტოჰიდროსტატიკურ და ელასტოჰიდროდინამიკურ რეჟიმში, შეიძლება გავიანგარიშოთ, როგორც მძლავრი ლენტური საკისარი. ვაკუუმ-დოლების შემთხვევაში კი საჭირო იქნება სპეციფიკური პროცესების გათვალისწინებით (დგუშების სვლით დრენაჟირების ეფექტის აჩქარება; ვაკუუმის ფორმირების პროცესისა და დოლის ხაზოვანი სიჩქარის მექანიკური ბლოკირება და ა.შ) ამძრავის ძირითადი პარამეტრების ანგარიშის მეთოდის დამუშავება.

საკონტაქტო ზედაპირებზე სითხის (ნებისმიერის) არსებობა, ვფიქრობთ, საჭიროებს შეხეთვის კლასიკური თეორიის თვალსაზრისითაც ხახუნის თეორიის საკითხების გამოკვლევა-დამუშავების აუცილებლობას. შეხეთვის კლასიკური თეორია კი ორ რეჟიმს ითვალისწინებს (ნახ. 2.3): ჰიდროდინამიკურს და ზღვრულს. შეხეთვის თეორიაში ძირითად საანგარიშო პარამეტრს წარმოადგენს ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვი S_0 , რომელიც იანგარიშება ბლანტი

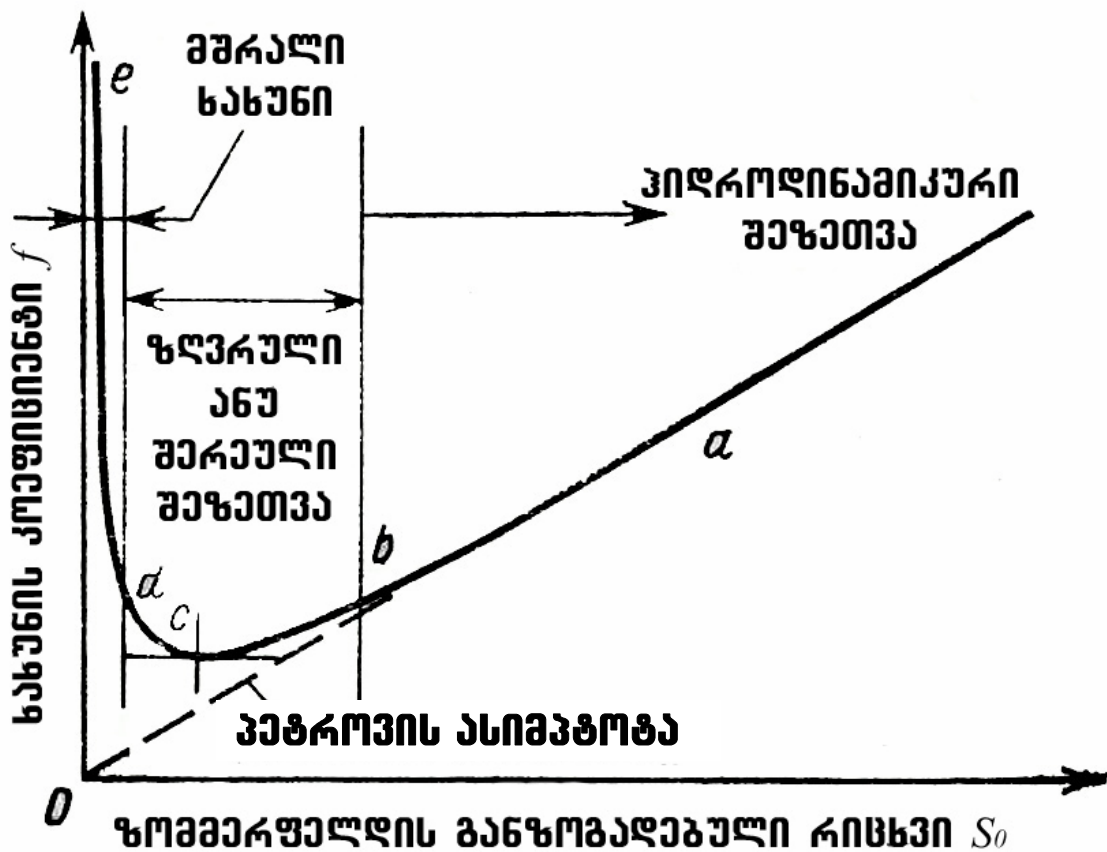
ხახუნის ძალის შეფარდებით თხელ შემზეთ აპკზე მოქმედ წნევის ძალასთან, ანუ

$$S_0 = \frac{\tau L^2}{\rho L^2} = \frac{\mu U}{\rho L} = \frac{\eta N}{\bar{P}} \quad (2.1)$$

სადაც τ არის მხევი ძაბვა; ρ – ნორმალური (ძალა) წნევა (ძაბვა) ; N – ბრუნვის სიხშირე; \bar{P} – საშუალო დაწნევა; μ – სითხის სიბლანტე ; U – სითხის მოძრაობის სიჩქარე.

ზომერფელდის რიცხვს ფუნდამენტალური მნიშვნელობა [55] ენიჭება შეხეთვის ამოცანების ამოხსნაში და წარმოადგენს საკისრების კონსტრუირებისას ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პარამეტრს [54, 55].

როგორც უკვე აღვნიშნეთ სითხის შრის სისქე და შესაბამისად ჭვრიტეში სითხის ხარჯი და მოძრაობის სიჩქარე დოლზე ლენტის სწრაფობის წერტილიდან ჩამოქანების წერტილამდე მაქსიმალურად მცირდება (თითქმის უტოლდება ნულს), რაც ეთანხმება ხახუნის ხასიათის ცვლილებას თხევადიდან (ჰიდროდინამიკურიდან) ზღვრულამდე და შემდეგ უკვე მშრალ ხახუნამდე [54, 55]. ხახუნის პროცესის ასეთი ცვლილება განპირობებულია ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის ცვლილებით (იხ. ნახ. 2.3.) [55].



ნახ. 2.3.

ნახაზზე 2.3 წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით ხახუნის კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება: ჰიდროდინამიკური რეჟიმისას – ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ან მშრალი ხახუნის რეჟიმისას – ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის მინიმალურ მნიშვნელობას. ჩვენი შემთხვევისათვის ავშ ტიპის ვაკუუმ-ამძრავის მუშაობის ოპტიმალურ რეჟიმს წარმოადგენს მშრალი ხახუნის რეჟიმი, ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის (S_0) მინიმალური მნიშვნელობისას. (2.1) გამოსახულების მიხედვით S_0 -ის შემცირება განპირობებულია, როდესაც: μ – სითხის სიბლანტე, U – სითხის მოძრაობის სიჩქარე ან შეიძლება ორივე ერთადაც მიისწრაფის ნულისაკენ.

$$(U \rightarrow 0)$$

$$\text{ე.ი.} \quad S_0 = \frac{\mu(U \approx 0)}{\rho L} = \text{ან} \frac{U(\eta \approx 0)}{\rho L} \approx 0$$

$$(\mu \rightarrow 0)$$

2.4. ვაკუუმ-ამძრავის ხახუნის კვანძების სტენდური გამოცდა

2.4.1. ხახუნის კვანძების გამოსაცდელი სტენდის მოწყობილობა

ხახუნის კვანძების საკონტაქტო ზედაპირების ექსპერიმენტული შესწავლისათვის ვისარგებლეთ სტენდის ბაზისური ნაწილით, რომელიც შეიქმნა პეტროფ-ჟუკოვსკის ამოცანის მიხედვით ავშ ტიპის ვაკუუმ-ამძრავის სტატიკაში კვლევისათვის [60]. 2.2 პარაგრაფში წარმოდგენილი ხახუნის კვანძების ექსპერიმენტულად შესწავლისათვის, სტენდი მზადდებოდა ნახ. 2.4, 2.5. და 2.6-ზე წარმოდგენილი სქემების შესაბამისად, – კვლევის ეტაპების თანხვედენილად. სქემებს თან ერთვის სტენდის რეკონსტრუქციული კვანძების ფოტო მასალა. კვლევა მიმდინარეობდა სამ ეტაპად. პირველი ეტაპი (ნახ. 2.4.) ითვალისწინებდა ვაკუუმ-ამძრავების სხვა და სხვა კონსტრუქციის საკონტაქტო ზედაპირებით და საკონვეიერო ლენტით შექმნილი რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაციის ხარისხობრივ შეფასებას. მეორე ეტაპი (ნახ. 2.5.) – რგოლურ ჭვრიტეზე მიერთებული კოლექტორის შემთხვევაში ვაკუუმ-სისტემის მიერ დამატებით შეწოვილი სითხის რაოდენობის განსაზღვრას. მესამე ეტაპი (ნახ. 2.6.) – უშუალოდ ავშ-ის დგუშების ჰერმეტიზაციის ხარისხობრივ შეფასებას.

ექსპერიმენტები ტარდებოდა სამივე ეტაპისათვის მაქსიმალურად ერთნაირ პირობებში და შედეგები ფიქსირდებოდა შესაბამის ცხრილებში. სარეგულირებელ პარამეტრებად მიღებული იყო: ლენტის სწრაფობის S_s და ჩამოქანების S_f შტოების დაჭიმულობები; ვაკუუმის სიდიდე; ხახუნის პირობები: ჰიდროდინამიკური, ზღვრული და მშრალი; ვაკუუმს დაქვემდებარებული საკონტაქტო ზედაპირის – (რეციპიენტის) ადგილმდებარეობა რგოლურ ჭვრიტეში და საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციის (ტიპომების 12 ძირითადი) ვარიანტი (იხ. ცხრილი 2.1). თვითოეული პარამეტრის ცვლილებით ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგები ფიქსირდებოდა სპეციალური ნომრით აღნიშნულ 2.1. ცხრილის დამატებაში (იხ. მაგ. 2.1. ცხრილის დამატება №1, 2...12 და ა.შ.). (1...12 – ვარიანტის ნომერია, I, II, III – ხახუნის პირობები. I – მშრალი; II – ზღვრული; III ჰიდროდინამიკური).

ლაბორატორიული კვლევის ყველა ეტაპზე უცვლელი იყო შემდეგი მონაცემები:

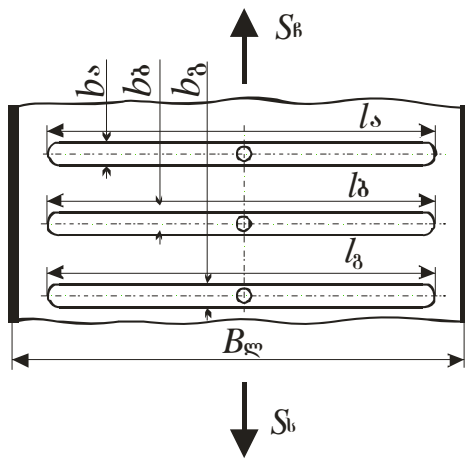
1. დოლის დიამეტრი, მმ; $D=360$;
2. დოლის სიგანე, მმ; $B_d=520$;
3. ღარის (ანუ მისი შესაბამისი რეციპიენტის) ნომრის ათვლის მიმართულება S_f დან $S_{f-კენ} - P_1, P_2 \dots P_n$;
4. ლენტის სიგანე, მმ; $B_{ლ}=500$;
5. ერთნაირი პარამეტრების მქონე ღარების რაოდენობა (იხ. ცხრილი 2.1-ის შენიშვნები);
6. ღარის ცენტრალური ნახვრეტის დიამეტრი, $d_{ნახ}=6$ მმ;
7. ყველა სახისა და კონსტრუქციის ღარის სიღრმე, მმ; $h=2,0$.

ბაზისური სტენდის ეტაპის შესაბამისად მომზადება ხდებოდა ვაკუუმის პირობებისათვის მისაღები მასალებით (მაგ. ვაკუუმური მოქნილი მილები), სამარჯვებით და ხელსაწყოებით. ეტაპის შესატყვისი ცდების ჩატარებისას გამოსაცდელი კვანძის მდგომარეობა მაქსიმალურად შეესატყვისებოდა რეალურს. ცდების ჩატარებისას ვაკუუმ-დოლის ღვარის მიმართ საჭირო მდგომარეობაში ფიქსირება (იხ. ცხრ. 2.1), ხორციელდებოდა დოლის ლილეზე დამაგრებული ხრუტუნა თვალისა და ჩარჩოზე დამონტაჟებული სარეკელას საშუალებით. საჩერის ასეთი კონსტრუქცია საშუალებას გვაძლევდა დაგვეფიქსირებინა დოლის მოცემული (საჭირო) ზედაპირი ნებისმიერ პოზიციაში

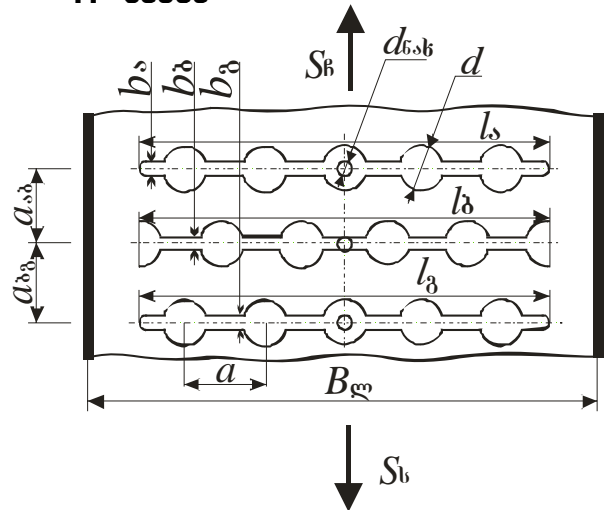
რგოლური ჭვრიტის მიმართ ლენტის სწრაფობის, ჩამოქანების ან მათ შორის ნებისმიერ უბანში.

ვაკუუმის წყაროდ გამოყენებული იყო ორყვინთიანი მიმდევრობითი მოქმედების მექანიკური **BH-2MГ** ტიპის ვაკუუმ-ტუმბო. მისი საშუალებით ამოტუმბვის სისწრაფე 3947 პა (0,04 ატ) წნევისას შეადგენს 20,88 მ³/სთ.

I სქემა



II სქემა



ცხრილი 2.1.

ვარიანტის №	b_a	b_b	b_g	$a_{აბ}$	$a_{ბგ}$	l_a	l_b	l_g	შენიშვნები
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	გლუვზედაპირიანი – გაჩარხული								$\alpha=\pi$
2	გაჩარხ.	16	16	–	10	–	280	280	
3	16	16	16	10	10	280	280	280	$n_{ღ}=12$
4*	16	20/10	20/10	10	30	280	420	420	
5*	20/10	20/10	20/10	30	30	420	420	420	$n_{ღ}=10$
6*	20/10	20/10	გაჩარხ.	30	–	420	420	–	
7	20	20	20	40	40	420	420	420	$n_{ღ}=5$
8	20	20	10	40	23	420	420	420	$n_{ღ}=1$
9	10	10	10	10	10	420	420	420	$n_{ღ}=14$
10	10	10	10	15	15	420	420	420	$n_{ღ}=12$
11	10	10	10	20	20	420	420	420	$n_{ღ}=9$
12	20	20	10	40	20	420	420	420	

* 20/10 ~ შეესატყვისება d/b (იხ. 2.1. ცხრილის II სქემა)

დღის საკონტაქტო ზედაპირის სახესხვაობები ცხრილი 2.1-ის მიხედვით





ვარიანტი IV, V



ვარიანტი VI





ვარიანტი XI



ვარიანტი XII

2.1. ცხრილის დამატება № 7

ხახუნის რეჟიმი: რგოლურ ჭვრიტეში – I

კოლექტორში – I

ამბრავ დოლზე საკონვეიერო ლენტის შემოხვევის კუთხე $\alpha=180^\circ$

შენიშვნა: ა) დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე S_f -დან α კუთხით განლაგებული სამი მეზობელი ღარიდან ვაკუუმ-ტუმბოსთან მიერთებული იყო ცენტრალური (იხ. I და II სქემა და 2.1. ცხრილის დამატების 6, 7 და 8 სვეტი).

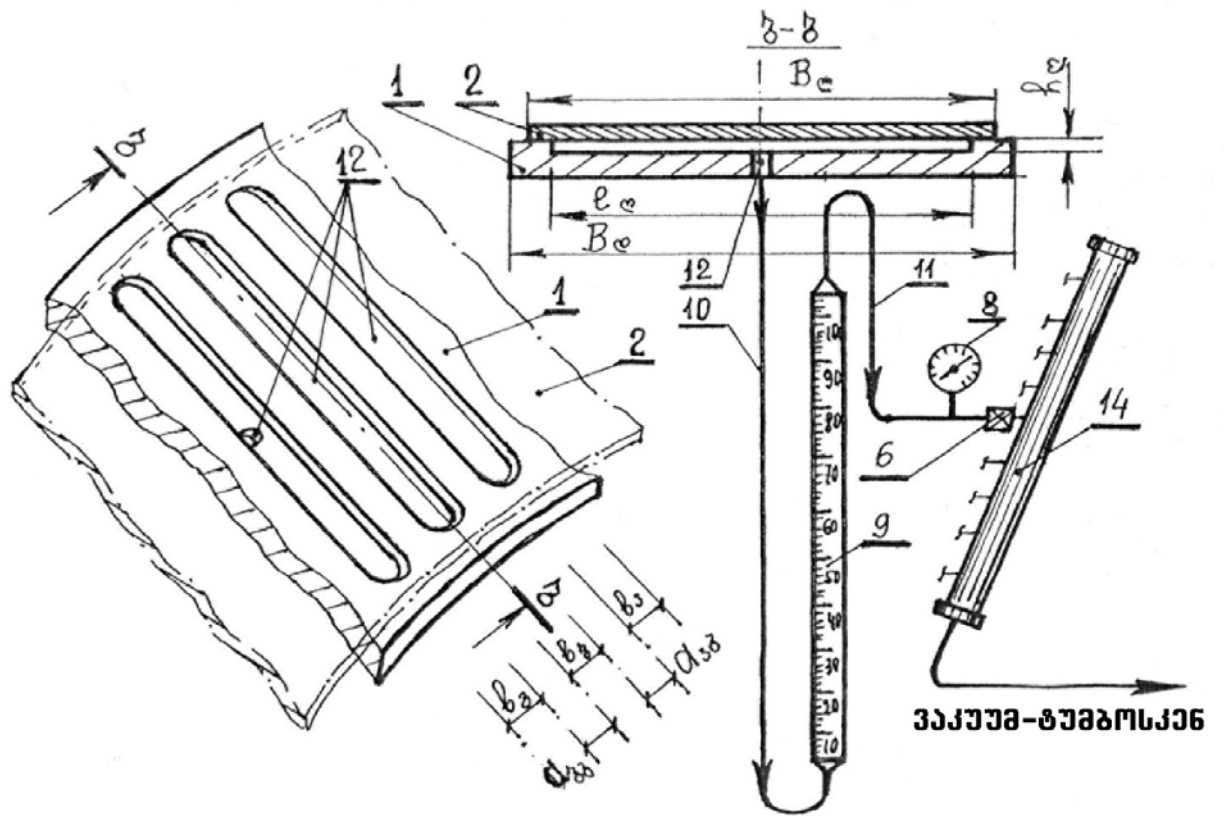
ბ) ლაბორატორიული სტენდის აწყობა ხდებოდა: ცხრილის 6, 7, 8, სვეტისათვის ნახ. 2.4.-ზე წარმოდგენილი სქემით; ხოლო 9, 10, 11, სვეტისათვის ნახ. 2.5.-ზე წარმოდგენილი სქემით.

№	S_f , დკნ	S_s , დკნ	P·10 ⁵ , პა	რეციაბენტების მდებარეობა S_f -ის მიმართ α°	კოლექტორის გარეშე			სქემაში ჩართული წრიული კოლექტორისათვის			შენიშვნები
					p , პა	q როტ., ლ/სთ	p_b , პა	p' , პა	q როტ., ლ/სთ	p_b' , პა	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50	850	0,92	10	0	1200	0	0	7800	0	
				90	0	1180	0	0	7780	0	
				170	0	1310	0	0	7880	0	
2	100	1650	0,92	10	0	1180	0	0	7800	0	
				90	0	1100	0	0	7800	0	
				170	0	1150	0	0	7880	0	
3	150	2100	0,92	10	0	1100	0	0	7800	0	
				90	0	1100	0	0	7800	0	
				170	0	1100	0	0	7880	0	
4	200	2470	0,92	10	0	1100	0	0	7800	0	
				90	0	1100	0	0	7800	0	
				170	0	1100	0	0	7800	0	
5	300	2930	0,92	10	0	1100	0	0	7880	0	
				90	0	1100	0	0	7800	0	
				170	0	1100	0	0	7800	0	
6	400	3260	0,92	10	0	1100	0	0	7880	0	
				90	0	1100	0	0	7800	0	
				170	0	1100	0	0	7800	0	

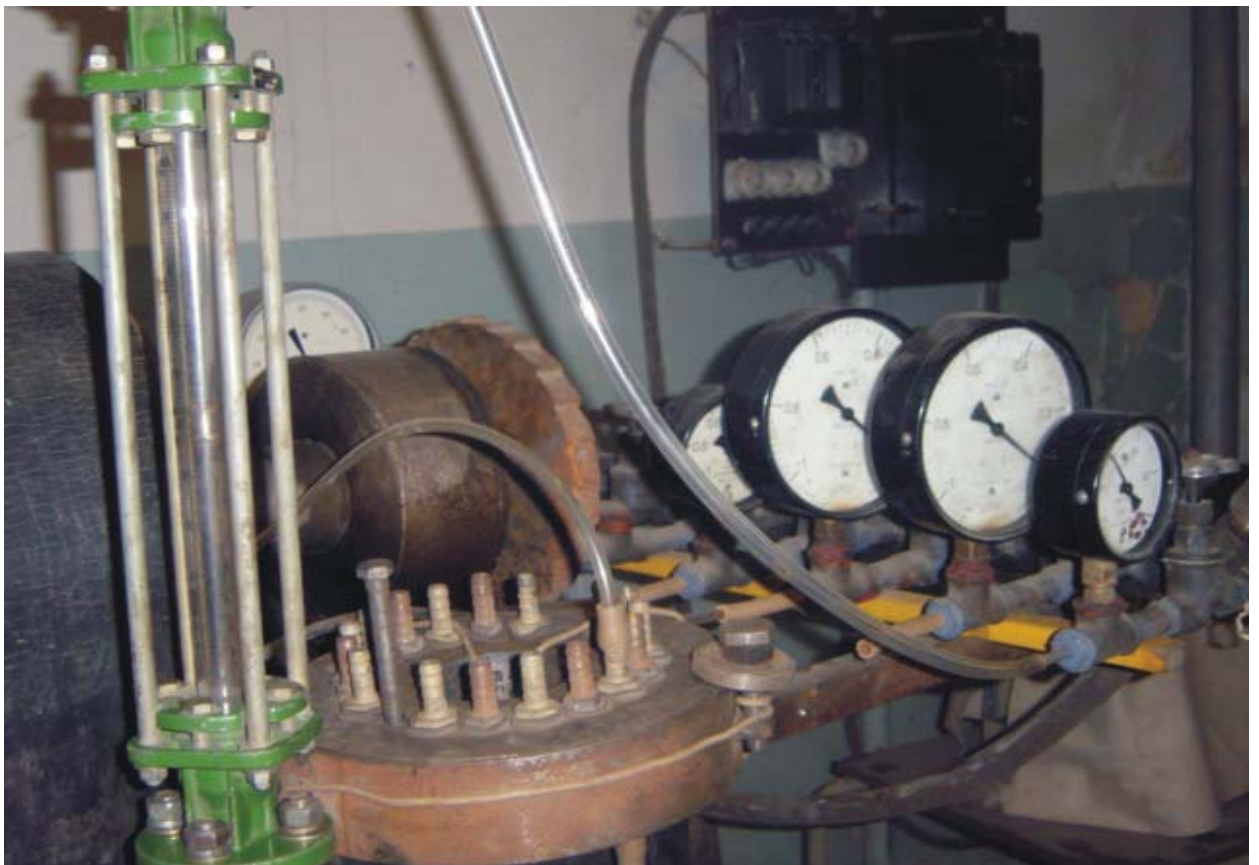
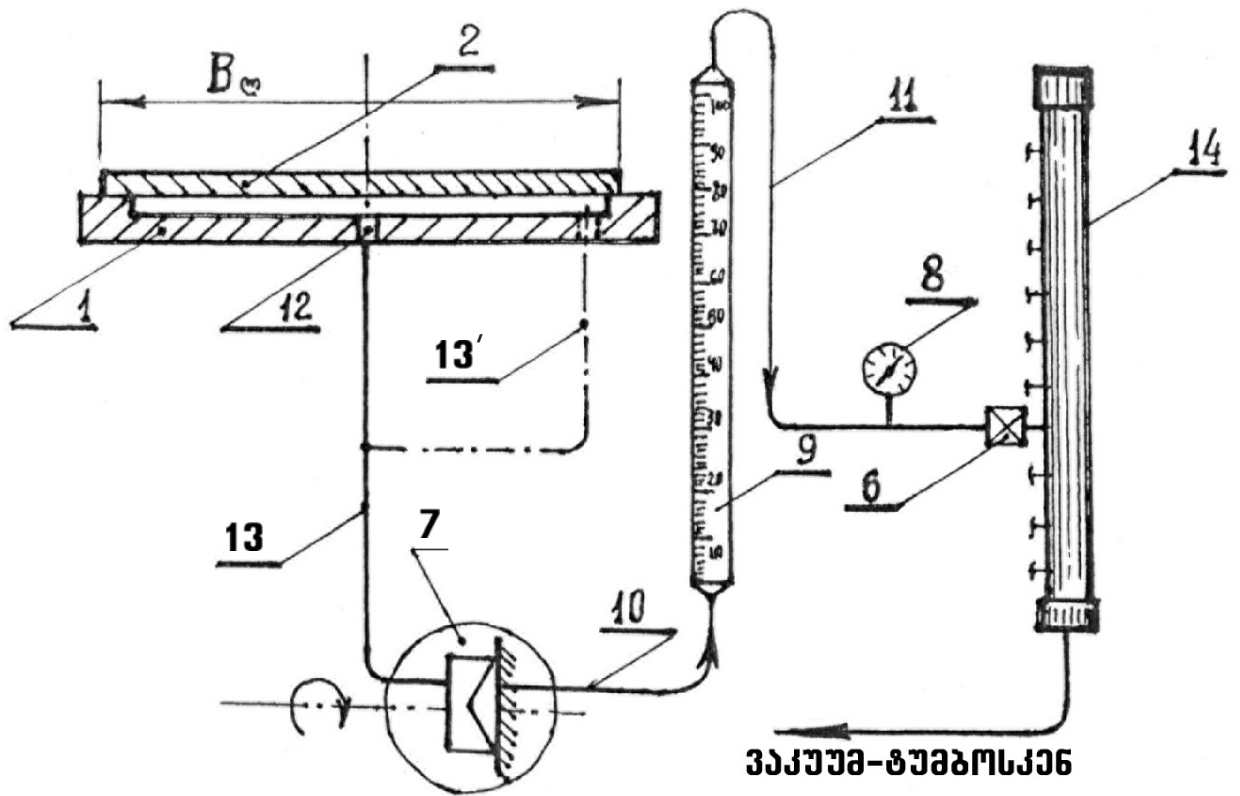
2.4.2 ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდოლოგია და გამოზომი აპარატურა

ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების ექსპერიმენტული კვლევისათვის დამუშავდა მეთოდოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს ხახუნის თითოეული კვანძის გავლენის შესწავლას საკონტაქტო ზედაპირის წვეთოვანი თვისებაზე. კვლევის ასეთი მეთოდოლოგია გამართლებულია წინა კვლევების [60] შედეგების გათვალისწინებითაც, რომლებშიც ვაკუუმური გაწოვის მხოლოდ ადგილმდებარეობის შეცვლამ თითქმის სამჯერ გაზარდა ერთნაირი კონსტრუქციისა და ტიპ-ზომის ზედაპირის წვეთოვანი თვისება. მეთოდოლოგია ითვალისწინებს კვლევითი სამუშაოების სამ ეტაპს, ხოლო საკვლევი კონსტრუქციის შერჩეული ზედაპირები განვითარდნის ლაბორატორიული კვლევებისათვის განკუთვნილ ორი ვაკუუმ-დოლის ზედაპირზე. ზედაპირების პირველი ექვსი ვარიანტი (იხ. ცხრილი 2.1.) განთავსებულია ერთ დოლზე, ხოლო მისი კვლევის შედეგები შეტანილია ცხრილებში, რომლებიც ინომრებოდა 2.1. ცხრილით გათვალისწინებული ვარიანტის ნომრის შესაბამისად, მაგალითად ვარიანტი №1-ის კვლევის შედეგები შეტანილია ცხრილში, რომელიც აღრიცხულია შემდეგნაირად (2.1. ცხრილის დამატება №1). ზედაპირების მეორე ექვსი (7÷12 იხ. ცხრილში 2.1.) ვარიანტი განთავსებულია მეორე დოლზე, ხოლო კვლევის შედეგები ფიქსირდებოდა შესაბამის ცხრილებში, მაგალითად (2.1. ცხრილის დამატება №7 და ა.შ.) თუ 2.1 ცხრილით გათვალისწინებულ ვარიანტზე ექსპერიმენტი ტარდებოდა რამდენიმეჯერ, ცვლადი პარამეტრების (მაგ. ვაკუუმი, საწყისი დაჭიმულობა(S_p), ხახუნის რეჟიმი და ა.შ.) გავლენის შესწავლისათვის, მაშინ ცხრილში სადაც შესაბამისი სიდიდეები ფიქსირდებოდა შეგვექონდა დამატებითი აღნიშვნა (მაგ. 2.1. ცხრილის დამატება №7).

სამივე ეტაპით ექსპერიმენტების შესრულებისას, ანათვლების აღება (მაგალითად ვაკუუმის სიდიდის, ჰაერის ხარჯის და ა.შ.) წარმოებდა სამი მეზობელი ღარიდან, რომელთაგან ვაკუუმის წყაროში ჩართული იყო მხოლოდ ცენტრალური ღარი. თუ ღარებს შორისი სეგმენტის საშუალებით მოხდებოდა ცენტრალური ღარის რეციპიენტის მოკლედ შერთვა განაპირა ღარის რეციპიენტებთან, მაშინ ეს მოვლენა აისახებოდა ამ ღარების რეციპიენტებზე ჩართული ვაკუუმმეტრების საშუალებით ე.ი. დაფიქსირდებოდა არა მხოლოდ ცენტრალური ღარის ვაკუუმმეტრის ჩვენება, არამედ დანარჩენი ორისაც (რაგინდ უმნიშვნელო, მაგრამ მაინც).



Ֆհհ. 2.4.



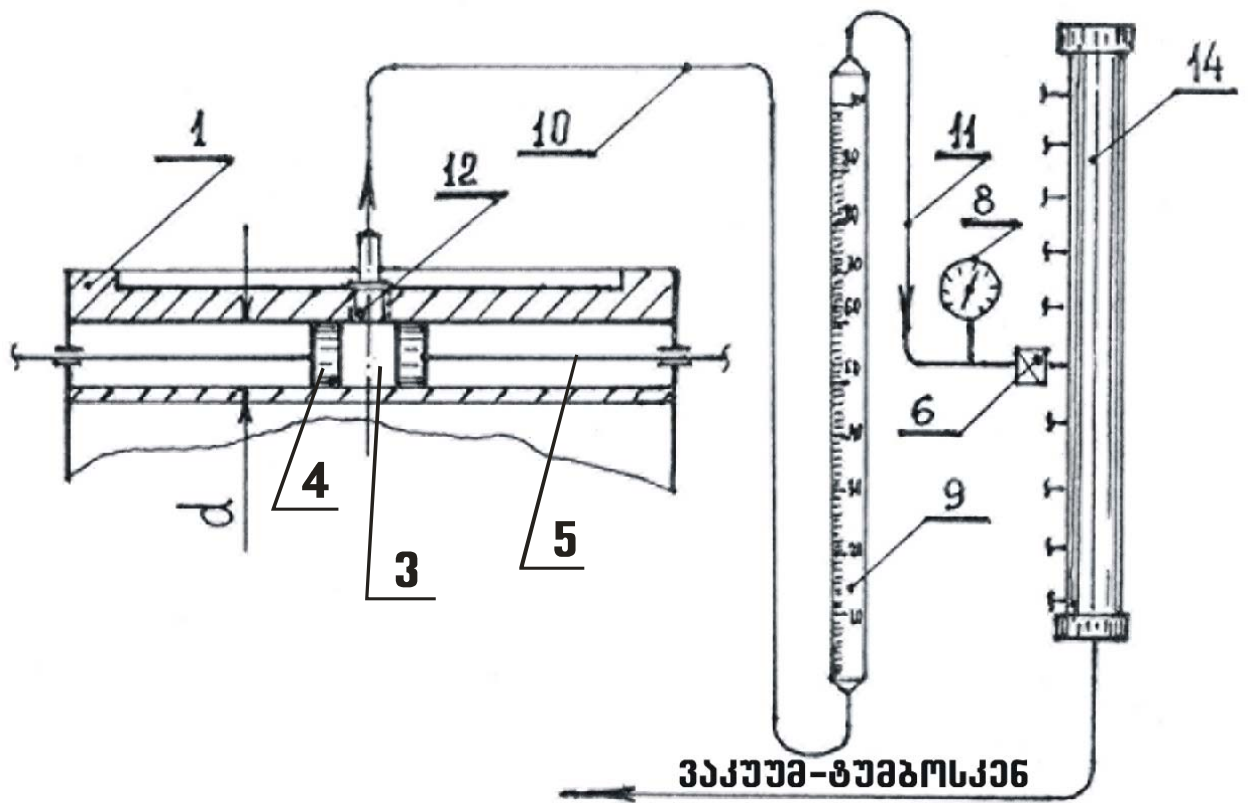
ნახ. 2.5.

პირველი ეტაპის კვლევითი სამუშაოების შესრულების შემდეგ, სტენდი მზადდებოდა მეორე ეტაპისათვის ნახ. 2.5.-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით. ამისათვის 12k ვაკუუმური მილის საშუალებით წრიული კოლექტორის მოძრავი ნაწილი უერთდება ამძრავი დოლის რგოლურ ჭვრიტეს 12 ცენტრალური ნახვრეტის საშუალებით. კოლექტორის მეორე ნახევარი – უძრავი ნაწილი, 10 ვაკუუმ-მილის საშუალებით კი უკავშირდებოდა **PC-3 (PC-5)** ტიპის როტამეტრის მილტუნს და 8 ვაკუუმეტრისა და 14 წრფივი კოლექტორის საშუალებით ირთვებოდა BH-2MГ ტიპის მექანიკურ ვაკუუმტუმბოში. ნებისმიერი საჭირო რეციპიენტის ვაკუუმ-სისტემიდან ჩართვა ამორთვის ოპერაციები ხორციელდებოდა 6 ვენტილის საშუალებით

მესამე ეტაპის კვლევითი სამუშაოებისათვის სტენდი ნახ. 2.6-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით მზადდებოდა. ამისათვის აპმ ვაკუუმ-დოლის ახალ კონსტრუქციულ ანაკრეფზე (იხ. ფოტო მასალა ნახ. 2.6). უშუალოდ 12 ცენტრალური ნახვრეტისა და 10 ვაკუუმური მილის საშუალებით ხდებოდა აპმ-ის დგუშისეული სივრცის მიერთება ვაკუუმის წყაროსთან 9 როტამეტრისა, 8 ვაკუუმეტრისა და 6 ვენტილის გავლით 14 წრფივი კოლექტორის საშუალებით. ამ ეტაპზე დგუშისეული სივრცის ჰერმეტიზაცია მოწმდებოდა ინდივიდუალურად სხვადასხვა სიდიდის ვაკუუმისა და დგუშისეული საწყისი მოცულობების დროს. შედეგები კვლავ ფიქსირდებოდა ცხრილებში ზემოთ მოტანილი სქემისა და აღნიშვნების საშუალებით.

ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირების 12-ვე ვარიანტი, როგორც კონსტრუქციის ასევე გეომეტრიული პარამეტრების მიხედვით დამზადდა წინასწარი, – მაკრო ელასტოპლასტიკური თეორიისა და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით.

ყველა საჭირო ფიზიკური სიდიდის გაზომვისათვის ლაბორატორიულ სტენდში გათვალისწინებული იყო შესაბამისი აპარატურა. ათვლები წარმოებდა: საწყისი (პროგრამული) დაჭიმულობის (S_p) გაზომვისათვის – ДПУ-0,5 ტიპის დინამომეტრიდან; სწრაფობის წერტილში ლენტის დაჭიმულობის (S_c) გაზომვისათვის – ДПУ 5-2 ტიპის დინამომეტრიდან; საკვლევ რეციპიენტებში გამავალი სითხის ხარჯის გასაზომად – **PC-3 (PC-5)** ტიპის როტამეტრიდან, ვაკუუმ-არხებში გაუხშობის მნიშვნელობა – **BO** ტიპის ვაკუუმეტრიდან.



ნახ. 2.6.

თავი III. ვაკუუმ-ამძრავის ოპტიმალური საკონტაქტო ზედაპირის დამუშავება და თეორიული გამოკვლევა

3.1. ტექნიკური მოთხოვნები საკონტაქტო ზედაპირის მიმართ

მიუხედავად წინამორბედ მკვლევართა მიერ მიღებული მაღალი ტექნიკური მაჩვენებლებისა [5÷32; 56÷63] ვაკუუმ-ამძრავები კვლავაც საჭიროებენ კონსტრუქციისა და ვაკუუმის შექმნის ტექნოლოგიური პროცესის შემდგომ სრულყოფას. განსაკუთრებით ეს ეხება (1-5; 2-8; 3-11-14-16-21; 4-30-31) სქემით მომუშავე (იხ. ნახ. 1.1. ვაკუუმ-ამძრავების კლასიფიკაცია) ამძრავებს. ამძრავების დადებითი და უარყოფითი მხარეები და ის პრობლემური ამოცანები, რომელთა გამოც უმჯობესია ზოგიერთ კონსტრუქციაზე უარი განვაცხადოთ, გრცლადაა წარმოდგენილი წინამდებარე ნაშრომის 1.2 და 1.3 პარაგრაფებში. ვითვალისწინებთ რა ჩვენს მიერ ჩატარებული საპატენტო და სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ანალიზის შედეგებს მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის კონსტრუქციისა და ოპტიმალური პარამეტრების დამუშავება-გაანგარიშებისას გავითვალისწინოთ შემდეგი ტექნიკური მოთხოვნები:

1. ვაკუუმ-ამძრავის საკონვეიერო ლენტთან საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირება უმჯობესია განხორციელდეს ავტონომიური ვაკუუმური მექანიზმებით (ავმ), რომლებიც (რომელთა დგუშისეული სივრცე) საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმ-არსებთან დაკავშირებული იქნება ექსპლუატაცია-რემონტისათვის მოხერხებული და მარტივი კვანძების საშუალებით;

2. ამძრავი ვაკუუმ-დოლის მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდის მიზნით, აუცილებელია საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმი იქმნებოდეს ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მათი მუშაობის უზრუნველყოფით;

3. საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქცია-დამუშავებისას, საჭიროა გავითვალისწინოთ რგოლური ჭვრიტის წარმოქმნელი ზედაპირების (ლენტი – ამძრავი დოლი) სიმქისეების ისეთი მნიშვნელობები, რომელთა დროსაც შენარჩუნებული იქნება სითხის მოცულობითი თვისებები (იხ. ბ. დერიაგინის

კვლევებისა და ნ. პეტროვის შეხედულებების ციტირება. § 2.1. გვ. 2) და უზრუნველყოფილი იქნება სწრაფი და სრულყოფილი დრენაჟირების პროცესი.

4. თანაბრად განაწილებული გაუსშოების შექმნის უზრუნველყოფისათვის განმეორებით ვადასტურებთ იმ ოთხივე აუცილებელ პირობის სამართლიანობას, რომელიც ჩვენს მიერ განხილულია 1.2 პარაგრაფის დასკვნით ნაწილში;

5. გრძელდგარიანი საკონვეირო დანადგარების სათავსი, კუდის და შუალედური ამძრავების დამუშავებისას უმჯობესია (სასურველია) გათვალისწინებული იქნას ერთგვაროვანი ელემენტებისაგან შედგენილი ანაკრეფი მწვევი ბტყელა (საკონტაქტო ზედაპირი), რაც უზრუნველყოფს უნიფიკაციის მაღალ დონეს და უფრო მოხერხებულს გახდის ექსპლუატაციისა და რემონტის პროცესს;

6. ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის კონსტრუქცია უნდა უზრუნველყოფდეს რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაციის აუცილებელ პირობებს: აპმ-ების ურთიერთდამოუკიდებელ მუშაობას (არ უნდა ხდებოდეს მეზობელი რეციპიენტებიდან სითხის გაწოვა) და ლენტის ნაპირებიდან სითხის (ჰაერის) შეუღწევადობას.

7. ამძრავის ვაკუუმური რეციპიენტების გარე და შიგა მოცულობების სიდიდეები უნდა უზრუნველყოფდეს ვაკუუმის შექმნელი მექანიზმების ოპტიმალურ რეჟიმში მუშაობას;

8. საკონტაქტო ზედაპირის გეომეტრიული პარამეტრების შერჩევა-გაანგარიშება უნდა მოხდეს ამძრავის (საკონვეიერო ლენტის) კუთხური (ხაზოვანი, წრფივი) სიჩქარის გათვალისწინებით.

9. აპმ-ებიანი ვაკუუმ-დოლის დგუშების (პლუნჟერების და ა.შ.) უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის უზრუნველყოფი მუშტა მექანიზმების პროფილის გათვლა აუცილებლად უნდა მოხდეს ე.წ. “შედარებითი სიმშვიდის” რკალის კონკრეტული პირობებისათვის დასაშვები სიდიდის ზღვრებში.

10. საერთოდ ყველა დანარჩენი (მე-9 პუნქტის გარდა) ტიპის ვაკუუმ-ამძრავების რეციპიენტებსა და მის მიმდებარე საკონტაქტო ზედაპირების შესაბამის ნაწილზე, ვაკუუმის პროგრამული მნიშვნელობის ფორმირება უნდა დასრულდეს კოლექტორების (წრიული, წრფივი) ვაკუუმური საკნის საშუალებით ა.ა.ს. – “შედარებითი სიმშვიდის” რკალის ფარგლებში.

11. საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმიზაციის მიღწევის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან წინაპირობას წარმოადგენს ამძრავის განხილვა ლენტური საკისრის რანგში; ამასთან აპმ-ის დგუშისეული სივრცის ზედაპირთან შემაერთებელი ცენტრალური ნახვრეტის შერჩეული (ნაანგარიშები) დიამეტრი, უნდა უზრუნველყოფდეს სითხის ნაკადის უწყვეტად გადაღინებას ვაკუუმ-სისტემის რეციპიენტებში – საკონტაქტო ზედაპირზე განლაგებული გარე მოცულობებიდან (ღარებიდან, პერფორაციებიდან და ა.შ.) ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმის მუშა მოცულობამდე (მაგალითად დგუშისეულ სივრცემდე).

საკონტაქტო ზედაპირებისა და მთლიანად ვაკუუმ-ამძრავის კონსტრუქციისათვის წაყენებულ ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მოთხოვნას წარმოადგენს ამძრავი სადგურის დაშლა-აწყობისას, მისი თითოეული კვანძისა და შემადგენელი ნაწილის ადვილი მისადგომობა, კომპაქტურობა, სარემონტოდ ვარგისიანობა და ა.შ.

3.2 ვაკუუმ-ამძრავის ახალი ტიპის საკონტაქტო ზედაპირი და მისი დახასიათება

ვაკუუმ-ამძრავების თეორიის კვლევით სამუშაოებში [5÷32, 60] საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის თანაბრად განაწილება (რაც საკონტაქტო ზედაპირებისა და მთლიანად ამძრავის ეფექტურად გამოყენების აუცილებელ პირობას წარმოადგენს) გათვალისწინებულია, როგორც განივი, ასევე ამძრავის წრიული (ამძრავზე საკონვეირო ლენტის სწრაფობიდან ჩამოქანების წერტილისაკენ) მიმართულებით. სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების გამოქვეყნებულ წყაროებში წარმოდგენილი შედეგები ხშირად ურთიერთის გამომრიცხავი დასკვნებით მთავრდება. ასე მაგალითად, ერთი და იგივე ნაშრომში [22] მითითებულია, რომ საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმის გავრცელება ლენტის სწრაფობიდან ჩამოქანების მიმართულებით თანაბარი და მაღალია, ამასთან ამავე ნაშრომში ლაპარაკია საკონტაქტო ზედაპირების გრძივ ღარებსა და საკონვეირო ლენტს შორის “ელასტიკური კბილანური მოდეების” არსებობის შესაძლებლობაზე. ეს ვერსია მკაფიოდაა გამოკვეთილი ვოლჩეკის სადისერტაციო ნაშრომში, სადაც იგი ცდილობს ლაბორატორიული ექსპერიმენტის

შედგებით გაამართლოს ჰიპოთეზა “ელასტიკური კბილანური მოდების” არსებობაზე (იხ. ნახ. 1.19ა). ამ ჰიპოთეზას იგი მთელი დამაჯერებლობით განიხილავს იმის გამო, რომ მისი ლაბორატორიული ექსპერიმენტების მითითებულ გრაფიკულ ნაწილზე (ნახ. 1.19ა) ნათლად ჩანს წვეის ძალების კლების მოვლენები საკონვეიერო ლენტის საწყისი დაჭიმულობის გაზრდისას (ჩვენი აზრით ეს მოვლენა აიხსნება ექსპერიმენტის არა სწორი დაგეგმვითა და ჩატარებით). დაახლოებით მსგავს შედეგებზეა საუბარი მოგვიანებით შესრულებულ კვლევებშიც [60, 93]. თუმცა შემდგომში, არა მთლად მტკიცებით ფორმაში, მაგრამ მაინც ჩვენი აზრით ჭეშმარიტებასთან მიახლოებული ფორმით ნაშრომში [60] აღნიშნულია, “რომ წვეის ძალების გადაცემა ვაკუუმ-ამძრავებში ხორციელდება არა მხოლოდ ჭკრიტული მოდებით არამედ, ძირითადად ლენტისა და დოლის საკონტაქტო ზედაპირების ურთიერთხახუნის შედეგად”. ეს ფორმულირება მაინც მიანიშნებს იმაზე, რომ საკითხი მოითხოვს სერიოზულ შესწავლას. ამ მიზნით ვფიქრობ შესწავლილი იქნა თითქმის ყველა კვლევითო სამუშაო (იხილეთ ლიტერატურის ციტირება), რომელიც ეხებოდა პერფორირებული და ღია არხებიანი საკონტაქტო ზედაპირებით წვეის ძალების რეალიზაციას. აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ კვლევითი სამუშაო [60] არცერთი ცდის შედეგის გრაფიკული სახით წარმოდგენილ დასკვნით ნაწილში (იხ. მაგ. ნახ. 1.19ბ და გ) წვეის ძალების შემცირების ფაქტი ლენტის საწყისი დაჭიმულობის ზრდის შემთხვევაში არ ფიქსირდება. ამიტომ დაუჯერებელი და გაუგებარია [60] სამუშაოს ავტორის მიერ გაკეთებული დასკვნის და ჩვენს მიერ ზემოთ მოტანილი ამ დასკვნის ციტირებული შინაარსის სამართლიანობა და ავტორის მიერ ამ მოვლენის ასეთნაირად აღიარების მიზეზი.

აღნიშნული საკითხის გარკვევის მიზნით, ჩვენს მიერ შესრულდა ექსპერიმენტების სერია სხვადასხვა ტიპის ლენტებისათვის, როდესაც დოლის საკონტაქტო ზედაპირს ლენტი ეხებოდა ერთ შემთხვევაში მუშა, ხოლო მეორე შემთხვევაში არამუშა შემონაფენით.

ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების შემთხვევაშიც საწყისი (პროგრამული) დაჭიმულობის ზრდისას (0-დან $S_{max}=500$ დკნ) წვეის ძალის არავითარ შემცირებით ცვლილებას ადგილი არ ჰქონია. პირიქით, როგორც ეს [60] ნაშრომშია აღნიშნული, მხოლოდ დოლის საკუთარი წვეის ფაქტორის ამოწურვის შემდეგ, იწყებოდა ჩამოქანების წერტილში საკონვეიერო ლენტის საწყისი (პროგრამული) დაჭიმულობის ზრდა, რაც თავის მხრივ ზრდიდა

სწრაფობის წერტილში დაჭიმულობას. თუმცა, უნდა აღინიშნოს ის უმნიშვნელო, მაგრამ მაინც ჩვენს მიერაც შენიშნული იქნა საკონვეირო ლენტის დეფორმაციები, რომელსაც ადგილი ჰქონდა ღარის ჭრილის ადგილზე ამოვარდნილი ამძრავი დოლის ზედაპირის სექტორულ ნაწილზე. თუმცა ამ “დეფორმაციის” გავლენა და “ელასტიკური კბილანური მოდების” ფაქტი ვერ დავაფიქსირეთ.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გამო შევიმუშავეთ ახალი ფორმის (კონსტრუქციის) საკონტაქტო ზედაპირი (იხ. ნახ. 1.20თ), რომელიც აკმაყოფილებს 3.1 პარაგრაფში წარმოდგენილ ყველა იმ ტექნიკურ მოთხოვნას, რომლებიც წაყენება ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირებს.

ნახაზზე 1.20თ წარმოდგენილია ახალი საკონტაქტო ზედაპირის ცენტრალური ნაწილის ფრაგმენტი. ლენტური კონვეიერისათვის სიმეტრიის ღერძზე, ვაკუუმ-დოლის ზედაპირის მსახველის ცენტრში გაკეთებულია გარკვეული დიამეტრის ამონაჩარხი – 1, რომლის ფსკერზე აზმ-ის დგუშისეულ სივრცესთან დასაკავშირებლად გაკეთებულია ნახვრეტი 2, მის მარჯვნივ და მარცხნივ დოლის ზედაპირზე მსახველის გასწვრივ განლაგებულია 1 ამონაჩარხის მსგავსი 3-3' და ა.შ. წრიული ამონაჩარხების მწკრივი.

ამონაჩარხები დოლის მეზობელ მსახველებზე და ამდენად მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე ჭადრაკული განლაგებისაა, ხოლო თითოეულ მსახველზე იწყება და მთავრდება იმ პირობით, რომ საკონვეიერო ლენტმა სრულფასოვნად გადაფაროს ისინი და იმავდროულად არ მოხდეს მათი საშუალებით სითხის (აირის, წვეთოვანის) შეწოვა ატმოსფეროდან (ან სითხის რეზერვუარიდან). მსახველზე წრიული ამონაჩარხები ერთმანეთს და ყველა ერთად ცენტრალური 2 ნახვრეტის საშუალებით უკავშირდება აზმ-ის დგუშისეულ სივრცეს 2 ნახვრეტის დიამეტრის ტოლი სიგანის 4 გრძივი ღარით, რომლის ფსკერი წრიული ამონაჩარხის ფსკერის დონეზეა.

მეზობელ მსახველზე, რომლის ბიჯიც შეირჩევა (იმ პირობით) ისეთი ანგარიშით, რომ წინა მსახველზე განლაგებული ამონაჩარხების მიმართ ჭადრაკულად განლაგებული ანალოგიური კონფიგურაციის ბიჯის ამონაჩარხებიდან და მისი კუთვნილი ვაკუუმის არედან არ მოხდეს სითხის გაწოვა და ამავე დროს, არც სითხით გაჯერებული რგოლური ჭვრიტის საკონტაქტო ზონა უნდა დარჩეს უმოქმედოდ, – სითხის გაწოვის გარეშე. ამგვარი მეთოდით შესრულებული დოლის საკონტაქტო ზედაპირის ორი

მეზობელი ვაკუუმური არხიდან თითოეული იმუშავებს დამოუკიდებლად, როგორც ავტონომიური ერთეული.

ასეთი კონფიგურაციის საკონტაქტო ზედაპირის შემთხვევაში, მისი ერთი ბიჯის ტოლფასად ლენტის დაზიანებისას, ამძრავი იმუშავებს წვეის ძალების უმნიშვნელოდ შემცირებულ რეჟიმში. კოლექტორიანი დოლის შემთხვევაში კი საკონვეირო ლენტის ძალზე მცირე დაზიანებაც კი გამოიწვევს მთელ ვაკუუმ-სისტემასა და რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის მნიშვნელოვან ცვლილებას (შემცირებას), შესაბამისად წვეის ძალების შემცირებას და ვაკუუმ-ამძრავის საკონვეირო ლენტის მიმართ სრიალის რეჟიმზე გადასვლას.

ჩვენი აზრით, აღნიშნული მოვლენა წარმოადგენს მნიშვნელოვანი ავარიული სიტუაციის მიზეზს, განსაკუთრებით მძლავრი გრძელდგარიანი საკონვეირო სისტემების შემთხვევაში, რაც მნიშვნელოვნად შეამცირებს დანადგარის დროში გამოყენების კოეფიციენტს.

ვაკუუმით რა, წინამდებარე ნაშრომში, ამ ეტაპისთვის შესაბამის საბოლოო დასკვნის ანალიზს, გამომდინარე ზემოთ მოტანილი ყველა მტკიცებითი მოსაზრებიდან, ჩვენი ექსპერიმენტული კვლევის ობიექტად ვსახავთ ყველა კონსტრუქციის საკონტაქტო ზედაპირს (იხ. ნახ. 1.20). განსაკუთრებული ყურადღება კი მიექცევა ახალი ტიპის ზედაპირის კვლევას, როგორც პერსპექტიულ, საკონვეირო ლენტისათვის კარგ საყრდენ და მცირე საწყისი მოცულობის მქონე ცენტრალური გაწოვის ვაკუუმ-არხებით დაპროექტებულ საკონტაქტო ვაკუუმ-ზედაპირს.

3.3. ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლის ლენტთან საკონტაქტო ჭვრიტეში სითხის შრის სისქის განსაზღვრა

როგორც უკვე ვიცით, ჰიდროდინამიკურ (სველი ხახუნის) რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-ამძრავის წვეის ფაქტორი და წვეის ძალები, იდენტურ პირობებში და სხვა პრინციპზე მომუშავე ამძრავების (მაგალითად ფუტირებულ ზედაპირიანი დოლებით; ელექტრო-მაგნიტური, მაგნიტო-ელექტრული, პნევმო-კამერიანი და ა.შ. სხვა სპეციალურები) შემთხვევებთან შედარებით [92] გაცილებით მეტი და უფრო სტაბილურია.

ზემოთ მოტანილი ვერსიის გათვალისწინებით და იმის მხედველობაში მიღებით, რომ ხშირ შემთხვევაში საკონვეირო ამძრავების მუშაობა ისედაც ძირითადად მიმდინარეობს უხვად ტენიან პირობებში, ამ პარაგრაფში შევეცადედ ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლსა და ლენტურ საკისარს შორის იდენტურობის პარალელი გაგვევლო და უშუალოდ ლენტური კონვეიერების ამძრავების გაანგარიშების თეორიაში პირველად იტერაციული ოპერაციების საშუალებით (განსაკუთრებით ლენტური კონვეიერის ამძრავის “შედარებითი სიმშვიდის” რკალის უბანზე) გამოგვეყენებინა შეზეთვის გაანგარიშების კლასიკური მეთოდები და მათი შედეგები.

გამოყენებაში იგულისხმება დრეკადჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ლენტური საკისრის იმ ვარიანტის შერჩევა, რომელშიც ბრუნვით მოძრაობაშია, როგორც ლილვი (ჩვენს შემთხვევაში ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირი) ასევე ლენტი, შემდეგში ამ ვარიანტისათვის გაანგარიშების ცნობილი მეთოდის მოძებნის საფუძველზე ჩვენი საკვლევი ობიექტის – ამძრავი ვაკუუმ-დოლის ზედაპირისა და საკონვეირო ლენტის რგოლურ ჭვრიტეში სითხის შრის სისქის განსაზღვრა, ხოლო ხახუნის შემდგომი საჭირო რეჟიმის მიღწევისათვის, ზომერფელდის განზოგადებული (S₀) რიცხვის იმ მნიშვნელობის განსაზღვრა, რომელიც საძიებო რეჟიმს შეესაბამება.

ზემოთ მოტანილი თითოეული ღონისძიების შერჩევისა და გათვლის შემდგომ, საჭიროა ამძრავი ვაკუუმ-დოლის მუშაობის ისეთნაირი რეჟიმის შერჩევა, რომელშიც ნებისმიერი კუთხური სიჩქარისათვის, რგოლურ ჭვრიტეში ჩვენს მიერ შერჩეული რეჟიმი გაბატონდება. ამ უკანასკნელის განხორციელება კი შესაძლებელია ვაკუუმური მექანიზმების დგუშების ჭოკის ბოლოვანების, მუშტა მექანიზმების ისეთი სიმრუდის მიმართველებთან დაკავშირება, რომლებიც უზრუნველყოფენ სითხის უწყვეტი ნაკადით დინებას დოლის საკონტაქტო ზედაპირისა და დგუშისეული სივრცის შემაერთებელ ნახვრეტში, დროის კონკრეტული ხანგრძლივობისათვის. ნაკადის უწყვეტობის განხორციელებისათვის კი ვფიქრობთ საჭირო იქნება ნახვრეტის დიამეტრის გაანგარიშება დოლის ბრუნვის კუთხური სიჩქარისა და სითხის პარამეტრების გათვალისწინებით.

მაგრამ, ვინაიდან ლენტური საკისრისაგან განსხვავებით ხახუნის ამძრავი მექანიზმის დანიშნულებას წარმოადგენს მაქსიმალური ხახუნის (წვევის) ძალის განვითარება, შევეცდებით ხახუნის პროცესის შემდგომი მართვით,

ამძრავის “დრეკადი სრიალის” (აღს.) შესაბამის რეალზე, მაკროელასტოჰიდრო-დინამიკურიდან ზღვრულში და ბოლოს ლენტის დრეკადი სრიალის პროცესის მშრალ რეჟიმში გადაყვანას, რითაც საშუალება გვეძლევა ვიფიქროთ ხახუნის კოეფიციენტის სიდიდის გაზრდაზე (იხ. § 2.3. ნახ. 2.3) რგოლური ჭვრიტის იმ უბანში, სადაც ლენტის დაჭიმულობის კლება (და შესაბამისად ლენტის დრეკადი სრიალით მოძრაობის დაწყება) და საკონტაქტო ზედაპირზე ნორმალური ძალების შემცირება მიმდინარეობს [85] ანუ ეს ნიშნავს, ხახუნის კოეფიციენტის გაზრდას ამძრავის ლენტთან საკონტაქტო ზედაპირის (როლური ჭვრიტის) იმ უბანზე, სადაც მიმდინარეობს წვევის ძალების რეალიზაცია. ამ საკითხების უფრო ვრცელი და ღრმა ანალიზი, მანქანების კვანძებში მიმდინარე ხახუნის სახეობით დაწყებული, ზედაპირის ხარისხისა და მათი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების განხილვით, ცვეთის, შეხეთვის, ზედაპირების რღვევის სახეობების, საკონტაქტო სიმტკიცისა და დაღლილობის და ა.შ. მრავალ სხვა, – XXI საუკუნისათვის შესაფერისი მანქანათმშენებლობის განვითარებისათვის საჭირო საკითხზე (რასაც წინამდებარე ნაშრომში სრულფასოვნად ვერ შევძლებთ, მათი მრავალფეროვნებისა და მოცულობის სიდიდის გამო) შესაძლებელია მოძიებულ იქნას თანამედროვე მეტად საინტერესო ტრიბოტექნიკის [33] (ტრიბოლოგიის, ტრიბონიკის) ლიტერატურულ წყაროებში (იხ. ლიტერატურის ჩამონათვალი) და ინტერნეტის საშუალებით.

ხახუნის ძალის სიდიდის მართვის პროცესის რეალურად შესრულების (განხორციელების) იდეა დაგეგმავდა მოსრიალე ზედაპირების წყვილის შეხეთვის რეჟიმის გაცნობისას, რომელიც წარმოდგენილია გრაფიკული სახით – კოორდინატებში: ზომერფელდის განზოგაოებული (S_0) რიცხვი, ხახუნის (f) კოეფიციენტი (იხ. § 2.3 ნახ. 2.3).

ამ საკითხის თუნდაც მხოლოდ მიახლოებითი მოდელირებისათვის, საჭიროა საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში სითხის შრის საწყისი და შუალედური სისქის განსაზღვრა. მისი მნიშვნელობის ცოდნა საჭიროა თუნდაც იმიტომ, რომ მოვახერხოთ ვაკუუმ-ამძრავის რეციპიენტების გარე, – საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმ-არხის სითხით შევსებამდე მოცულობის არსებული ოპტიმალური პარამეტრების (განსაზღვრა) დადგენა. ამ პირობის დაკმაყოფილების შემდეგ ვფიქრობთ, რომ რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაციისაც და (აშშ) ავტონომიური ვაკუუმური მექანიზმებისაც, როგორც ავტონომიური ერთეულის მუშაობაც, თავისთავად მოგვარდება.

სწორედ ამ საკითხს ეძღვნება წინამდებარე ნაშრომის ეს პარაგრაფი. ცნობილია, რომ ამძრავი დოლის მიმართ საკონვეირო ლენტის ფარდობითი სიმრუდე $-(1/r')$ შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით [53].

$$1/r' = \frac{\frac{d^2h}{ds^2}}{\left[1 + \left(\frac{dh}{ds}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (3.1)$$

ეს სიმრუდე ცვალებადია s -ის ანუ ამძრავი დოლის რკალის მიმართულებით. იგი ფიზიკური მოდელის მიხედვით შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით

$$1/r' = \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \quad (3.2)$$

რადგან ამძრავი დოლისა და საკონვეირო ლენტის საკონტაქტო ჭვრიტეში სითხის სისქე h უმნიშვნელოდ იცვლება დოლის რკალის გასწვრივ (ამძრავის შედარებითი სიმშვიდის რკალზე $\beta_{შ.ს.}$ რაც პრაქტიკულადაც დასტურდება), ამიტომ $(dh/ds)^2$ შეიძლება უგულებელვყოთ, მაშინ (3.2)-ში (3.1)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ

$$1/R = \frac{1}{r} - \frac{d^2h}{ds^2} \quad (3.3)$$

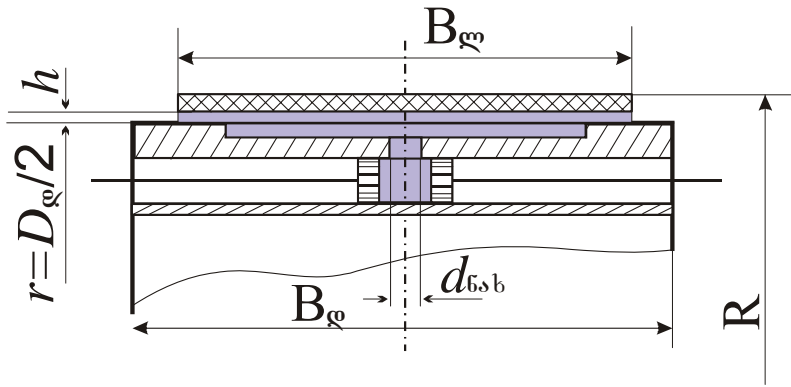
საიდანაც ლენტის სიმრუდის რადიუსი ამძრავის მიმართ

$$R = \left[\frac{1}{r} - \frac{d^2h}{ds^2} \right]^{-1} \quad (3.4)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ მოხახუნე ზედაპირებს (დოლი – საკონვეირო ლენტი) შორის სითხის h შრე ჩვეულებრივ იმდენად თხელია, რომ ბლანტი ხახუნის ძალები გაცილებით დიდია ინერციის ძალებზე, მაშინ ჭვრიტეში არსებული სითხის მექანიკური ქცევის აღმწერი ნავიე-სტოკსის განტოლება დაიყვანება რეინოლდსის ყველაზე უფრო ზოგადი ფორმის (3.5) განტოლებაზე

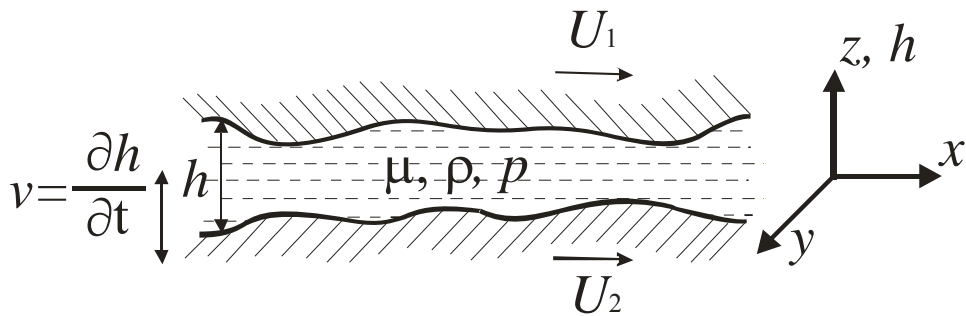
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6(U_1 - U_2) \frac{\partial(\rho h)}{\partial x} + 6\rho h \frac{\partial}{\partial x} (U_1 + U_2) + 12 \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} \quad (3.5)$$

ხოლო თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ჭვრიტის შემქმნელი ზედა ზედაპირი (იხ. ნახ. 3.1) ელასტომერია, მაშინ (3.5) განტოლებაში $U_1=U$, $\rho=const$



ნახ. 3.1.

მიღებიანი დენადი სითხისათვის რეინოლდსის განტოლება ჩვენი პირობებისათვის შეიძლება ჩაწეროთ (3.6) გამოსახულების სახით.



ნახ. 3.2.

$$\frac{\partial}{\partial s} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial s} \right) = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial s} \quad (3.6)$$

მივიღოთ, რომ ლენტის “შედარებითი სიმშვიდის” – $R\beta_{ა.ს.}$ შესაბამის რეალზე წონასწორობის პირობების მიხედვით ლილვის მხრიდან მოქმედებს ნორმალური ძალა.

$$P = \frac{T}{R} \quad (3.7)$$

განტოლებაში (3.7) (3.3)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ

$$p = T \left(\frac{1}{r} - \frac{d^2 h}{ds^2} \right)^{-1} \quad \text{და} \quad \frac{\partial p}{\partial s} = T \left(-\frac{d^3 h}{ds^3} \right) \quad (3.8)$$

ამ განტოლებებში p – არის ლოკალური წნევა სითხეში; ρ და μ – შესაბამისად სიმკვრივე და აბსოლიტურად სიბლანტე; h – სითხის შრის სისქე; U_1 და U_2 – შესაბამისად ზედა და ქვედა საკონტაქტო ზედაპირების სრიალის სიჩქარე; T და P – შესაბამისად ლენტის დაჭიმულობა და ნორმალური ძალა (იხ. ნახ.3.2).

(3.6) განტოლებაში (3.8)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ ე.წ. ლენტიური საკისრის განტოლებას

$$\frac{\partial}{\partial s} \left(h^3 \frac{\partial^3 h}{\partial s^3} \right) = \frac{6\mu U}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial s} \quad (3.9)$$

ცნობილია, რომ ა. გრასგოფის, ნ. ჟუკოვსკის, ო. კამმერის, ა. ფიბერის, ა. ფრიდერიხის, ე. გუტიარის და სხვა მრავალ მეცნიერ-მკვლევართა მიერ ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირი გაყოფილია ორ ნაწილად: მოსრიალედ – ჩვენი შემთხვევისათვის ე.წ. “დრეკადი სრიალის” და არამოსრიალედ ანუ “შედარებითი სიმშვიდის” უბნებად [1] აღნიშნულის გამო შეიძლება მივიღოთ, რომ არამოსრიალე უბანზე $U=0$, ხოლო ტვირთშიდი ლენტის დაჭიმულობა $T=const$; მაშინ

$$\frac{6\mu U}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial s} = 0 \quad \frac{\partial}{\partial s} \left(h^3 \frac{\partial^3 h}{\partial s^3} \right) = 0 \quad (3.10)$$

თუ (3.10) გამოსახულებას ვაინტეგრირებთ, მივიღებთ

$$\frac{\partial^3 h}{\partial s^3} = \frac{C}{h^3} \quad (3.11)$$

რადგან $h/h_0=(1-\Delta h)$ და $\Delta h \ll 1$, ამიტომ (3.11) განტოლება შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით $\frac{\partial^3}{\partial s^3} \Delta h = \frac{C}{h_0^4}$; ამოვხსნათ განტოლება უშუალო ინტეგრირებით

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial s^2} \Delta h &= \frac{C}{h_0^4} s + C_1; \\ \frac{\partial \Delta h}{\partial s} &= \frac{C}{2h_0^4} s^2 + C_1 s + C_2; \\ \Delta h &= \frac{C_0 s^3}{6h_0^4} + \frac{C_1}{2} s^2 + C_2 s + C_3 \end{aligned} \quad (3.12)$$

ამ განტოლებაში (3.12) C_0 , C_1 , C_2 და C_3 მუდმივები მცირე სიდიდეებია და განისაზღვრებიან საწყისი კონკრეტული მონაცემების მიხედვით.

გ. სმირნოვისა და ე. სტახოვსკის კვლევების [78] მიხედვით საკონვეირო ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე “სიმშვიდის რკალი” არ არსებობს. თუ ამ მტკიცებულებას მივიღებთ, მაშინ პირობითად მიღებულ მის საზღვრებში $U \neq 0$ და $T \approx const$. ამასთან თუ ავღნიშნავთ, რომ

$$\frac{6\mu U}{T} = a^3 = const \quad (3.13)$$

მაშინ (3.9) ტოლობის ორივე მხარის ინტეგრებით მივიღებთ

$$h^3 \frac{\partial^3 h}{\partial s^3} + a^3 h - c = 0 \quad (3.14)$$

ანუ

$$\frac{\partial^3 h}{\partial s^3} + \frac{a^3}{h^2} - \frac{c}{h^3} = 0 \quad (3.15)$$

ამ შემთხვევაშიც ავღნიშნოთ

$$\frac{h}{h_0} = 1 - \Delta h \quad \text{ანუ} \quad h = h_0(1 - \Delta h) \quad (3.16)$$

თუ განტოლებას (3.16)-ს გავითვალისწინებთ (3.15)-ში და მიღებულ შედეგს გავყოფთ h_0 -ზე მაშინ

$$\frac{\partial^3(1 - \Delta h)}{\partial s^3} + \frac{a^3}{h_0^3(1 - \Delta h)^2} - \frac{c}{h_0^4(1 - \Delta h)^3} = 0 \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial^3 \Delta h}{\partial s^3} + \frac{a^3 h_0(1 - \Delta h) - c}{h_0^4(1 - \Delta h)^3} = 0 \quad (3.18)$$

თუ c -ს შევარჩევთ ისე, რომ შესრულდეს ტოლობა $a^3 h_0 = c$, მაშინ

$$\frac{\partial^3 \Delta h}{\partial s^3} + \frac{a^3 \Delta h}{h_0^3(1 - \Delta h)^3} = 0 \quad (3.19)$$

თუ $\frac{1}{(1 - \Delta h)^3}$ გამოსახულებას გავშლით პროგრესიის მწკრივად, მაშინ

შეიძლება ჩავწეროთ, რომ

$$\frac{\Delta h}{(1 - \Delta h)^3} = \Delta h(1 + \Delta h - \Delta h^2 + \Delta h^3 + \dots)^3$$

თუ მხედველობაში არ მივიღებთ მეორე და უფრო მაღალი რიგის წევრებს, მაშინ

$$\Delta h(1 + \Delta h)^3 = \Delta h + 3\Delta h^3 + \Delta h^2 + \Delta h^4 = \Delta h$$

და (3.19) განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\frac{\partial^3 \Delta h}{\partial s^3} + \frac{a^3}{h_0^3} \Delta h = 0 \quad (3.20)$$

მიღებული განტოლების ზოგადი ამონახსნი მოიცემა შემდეგი სახით [45]

$$\Delta h(s) = Ae^{\lambda_1 s} + Be^{\lambda_2 s} + Ce^{\lambda_3 s} \quad (3.21)$$

სადაც A, B, C მუდმივებია, ხოლო $\lambda_1, \lambda_2,$ და λ_3 მახასიათებელი განტოლების ფესვებია. (3.20) გამოსახულება შეიძლება წარმოვადგინოთ, როგორც

$$y''' + \mu y = 0, \text{ სადაც } \mu = \frac{a^3}{h_0^3}; \quad y = e^{\lambda s}$$

მაშინ

$$y''' + \left(\frac{a}{h_0}\right)^3 y = 0, \text{ ანუ } \lambda^3 e^{\lambda s} + \left(\frac{a}{h_0}\right)^3 e^{\lambda s} = 0;$$

$$\left[\lambda^3 + \left(\frac{a}{h_0}\right)^3\right] e^{\lambda s} = 0, \text{ ვინაიდან } e^{\lambda s} \neq 0$$

ამიტომ

$$\lambda^3 + \left(\frac{a}{h_0}\right)^3 = 0; \quad \left(\lambda + \frac{a}{h_0}\right) \left(\lambda^2 - \frac{a}{h_0} \lambda + \frac{a^2}{h_0^2}\right) = 0;$$

ამ განტოლების ფესვები იქნება

$$\lambda + \frac{a}{h_0} = 0; \quad \text{ანუ } \lambda_1 = -\frac{a}{h_0}; \quad \lambda^2 - \frac{a}{h_0} \lambda + \frac{a^2}{h_0^2} = 0;$$

ე.ი.

$$\lambda_{2,3} = \frac{\frac{a}{h_0} \pm \sqrt{\frac{a^2}{h_0^2} - 4\left(\frac{a}{h_0}\right)^2}}{2}; \quad \lambda_2 = \frac{\frac{a}{h_0} + \sqrt{\frac{3a^2}{h_0^2}} \cdot i}{2}; \quad \lambda_3 = \frac{\frac{a}{h_0} - \sqrt{\frac{3a^2}{h_0^2}} \cdot i}{2}$$

ამგეარად,

$$\lambda_1 = -\frac{a}{h_0}; \quad \lambda_2 = \frac{a}{2h_0}(1+i\sqrt{3}); \quad \lambda_3 = \frac{a}{2h_0}(1-i\sqrt{3})$$

თუ გამოვიყენებთ ეილერის ფორმულას

$$e^{i\beta} = \cos \beta + i \sin \beta$$

მაშინ (3.21) განტოლებიდან შეიძლება ჩავწეროთ, რომ

$$\Delta h(s) = Ae^{-\frac{a}{h_0}s} + Be^{\frac{a}{2h_0}(1+i\sqrt{3})s} + Ce^{\frac{a}{2h_0}(1-i\sqrt{3})s}$$

$$\Delta h(s) = Ae^{-\frac{a}{h_0}s} + Be^{\frac{a}{2h_0}s} \cdot e^{\frac{a}{2h_0}i s \sqrt{3}} + Ce^{\frac{a}{2h_0}s} \cdot e^{-\frac{a}{2h_0}i s \sqrt{3}}$$

$$\Delta h(s) = Ae^{-\frac{a}{h_0}s} + Be^{\frac{a}{2h_0}s} \left(\cos \frac{a\sqrt{3} \cdot s}{2h_0} + i \sin \frac{a\sqrt{3} \cdot s}{2h_0} \right) + Ce^{\frac{a}{2h_0}s} \left(\cos \frac{a\sqrt{3} \cdot s}{2h_0} - i \sin \frac{a\sqrt{3} \cdot s}{2h_0} \right)$$

$$\Delta h(s) = Ae^{-\frac{a}{h_0}} + (B+C)e^{\frac{a}{2h_0}s} \cos \frac{a\sqrt{3}\cdot s}{2h_0} + i(B-C)e^{\frac{a}{2h_0}s} \sin \frac{a\sqrt{3}\cdot s}{2h_0}$$

თუ გავითვალისწინებთ a -ს მნიშვნელობას (3.13) გამოსახულებიდან და აღვნიშნავთ, რომ $B+C=B_1$ და მაშინ შეიძლება ჩავწეროთ

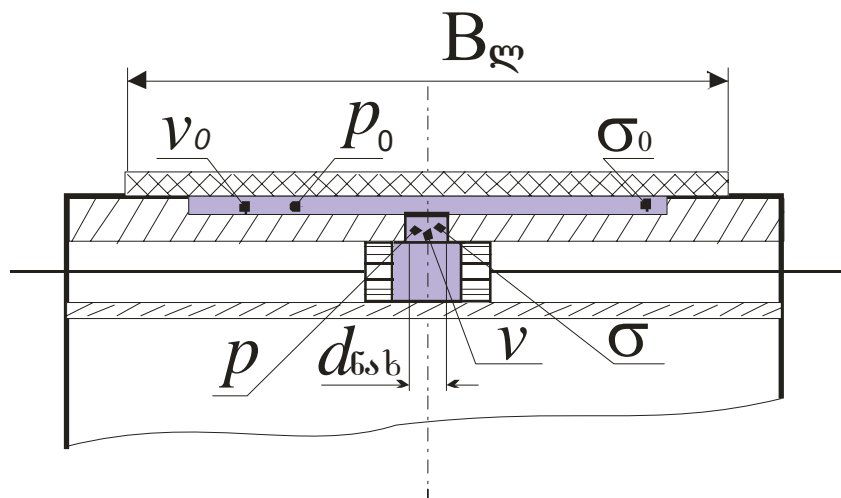
$$\Delta h(s) = Ae^{\sqrt[3]{\frac{6\mu}{Th_0^3}}s} + B_1e^{\sqrt[3]{\frac{6\mu}{8Th_0^3}}s} \cos \sqrt[3]{\frac{6\mu}{8Th_0^3}}\sqrt{3}s + C_1e^{\sqrt[3]{\frac{6\mu}{8Th_0^3}}s} \sin \sqrt[3]{\frac{6\mu}{8Th_0^3}}\sqrt{3}s$$

$$\Delta h(s) = Ae^{\sqrt[3]{\frac{6\mu}{Th_0^3}}s} + B_1e^{\sqrt[3]{\frac{3\mu}{4Th_0^3}}s} \cos \sqrt[3]{\frac{3\mu}{4Th_0^3}}\sqrt{3}s + C_1e^{\sqrt[3]{\frac{3\mu}{4Th_0^3}}s} \sin \sqrt[3]{\frac{3\mu}{4Th_0^3}}\sqrt{3}s \quad (3.22)$$

მიღებულ (3.22) განტოლებაში A , B_1 , C_1 ნამდვილი მუდმივებია და განისაზღვრება კონკრეტული ამოცანის პირობიდან.

3.4. ვაკუუმ-დოლის რგოლური ჭვრიტის დგუშისეულ სივრცესთან შემაერთებელ ნახვრეტში სითხის უწყვეტ ნაკადად დინების კვლევა

განვიხილოთ ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლის ღენტთან საკონტაქტო ჭვრიტეში, სითხის შრის სისქის შემცირების (მინიმუმამდე დაყვანის) მიზნით, ვაკუუმ-მექანიზმებით (დგუშებით) ნახვრეტში სითხის უწყვეტ ნაკადად გაწოვის კონკრეტული შემთხვევა (ნახ. 3.3).



ნახ. 3.3.

ვიგულისხმობთ, რომ მასობრივი ძალა არის სითხის სიმძიმის ძალა და ნახვრეტის წინ ღარში და ნახვრეტის შემდეგ დგუშისეულ სივრცეში, წნევათა შორის სხვაობით გამოწვეული ერთეულოვანი ძალა.

კერძო შემთხვევაში, როცა სითხე უკუმშია, შემოსახვრულია შეკრული მყარი ზედაპირით (ჩვენს შემთხვევაში ღარის კონტურებით) და Z ღერძი შეგვიძლია მივმართოთ ვერტიკალურად ზევით, მაშინ შეგვიძლია ბერნულის განტოლების მიხედვით დავწეროთ

$$Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = const \quad (3.23)$$

აღვნიშნოთ, რომ σ არის ნახვრეტის ფართობი (იხ. ნახ. 3.3.); σ_0 – სითხის ზედაპირის ფართობი ღარში; v – სითხის სიჩქარე ნახვრეტში, v_0 – სითხის სიჩქარე ზედაპირის წერტილში (ღარში); p_0 – სითხის წნევა ღარში; p – სითხის წნევა დგუშისეულ სივრცეში.

ღარის σ_0 ზედაპირში გამავალი სითხის რაოდენობა დროის ერთეულში იქნება – $\sigma_0 v_0$, ხოლო ნახვრეტში გამავალი სითხის რაოდენობა კი σv . სითხის დინების უწყვეტობის პირობის მიხედვით

$$\sigma_0 v_0 = \sigma v \quad (3.24)$$

(3.23)-ის გათვალისწინებით შეგვიძლია დავწეროთ

$$zg + \frac{v_0^2}{2} + \frac{p_0}{\rho} = zg + \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} \quad (3.25)$$

(3.24) და (3.25) გამოსახულებების საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ნახვრეტში სითხის დინების სიჩქარე

$$v_0^2 + \frac{2p_0}{\rho} = v^2 + \frac{2p}{\rho} \quad (3.26)$$

$$v_0 = \frac{\sigma}{\sigma_0} v; \quad v_0^2 = \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} v^2 \quad (3.27)$$

(3.26)-ში (3.27)-ის გათვალისწინებით

$$v^2 - v^2 \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} = \frac{2p_0 - 2p}{\rho},$$

ავღნიშნოთ $p_0 - p = \Delta p$ მაშინ

$$v^2 \left(1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} \right) = \frac{2\Delta p}{\rho} \quad (3.28)$$

და

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p \sigma_0^2}{\rho(\sigma_0^2 - \sigma^2)}} \quad (3.29)$$

ხოლო თუ გავითვალისწინებთ, რომ

$$\frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} \approx 0 \quad (3.30)$$

მაშინ (3.28) განტოლებიდან

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (3.31)$$

ნახვრეტში გამავალი სითხის ხარჯი $Q = \sigma$

ხოლო ნახვრეტის კვეთის აუცილებელი ფართობი

$$\sigma = \frac{Q}{v}; \quad \text{ანუ} \quad \left(\frac{\pi d_{\text{სბ}}^2}{4} \right)^2 = \frac{Q^2}{v^2} \quad (3.32)$$

ამ გამოსახულებიდან

$$(d_{\text{სბ}}^2)^2 = \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 \Delta p} \quad (3.33)$$

საიდანაც ნახვრეტის დიამეტრი

$$d_{\text{სბ}(1)} = 0,95 \sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (3.34)$$

როგორც (3.34) გამოსახულებიდან ჩანს ნახვრეტის დიამეტრის სიდიდე პირდაპირპროპორციულია სითხის საჭირო ხარჯისა და მისი სიბლანტისა და უკუპროპორციულია წნევათა სხვაობისა, რომელიც ამძრავის ამუშავებისთანავე მყისურად იზრდება დოლისა და ლენტის საკონტაქტო ჭვრიტეში (დარში, პერფორაციაში, მათი კომბინაციით შექმნილ არხში და ა.შ.).

ე.ი. დამოკიდებულება შეიძლება ჩავწეროთ

$$d_{\text{სბ}} = f\left(\frac{Q, \rho}{\Delta p}\right)$$

ეს პირობა აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ საკონვეიერო ამძრავის კონსტრუირებისა და დამზადების დროს.

თუ (3.30) გამოსახულებას, რაგინდ მცირე, მაგრამ ნულისაგან განსხვავებულ მნიშვნელობას მივანიჭებთ, მაშინ (3.32)-ში (3.28)-ის გათვალისწინებით

$$\sigma^2 = \frac{Q^2}{v^2} ; \quad \sigma^2 = \frac{Q^2 \rho \left(1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2}\right)}{2\Delta p} ; \quad \sigma^2 (2\Delta p + Q^2 \rho \sigma_0^{-2}) = Q^2 \rho$$

$$\text{და} \quad \sigma^2 = \frac{Q^2 \rho}{2\Delta p + \frac{Q^2 \rho}{\sigma_0^2}} \quad (3.35)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{\frac{2\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho}{Q^2 \rho \sigma_0^2}} \quad \text{ანუ} \quad \sigma^2 = \frac{Q^2 \rho \sigma_0^2}{2\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho} \quad (3.36)$$

(3.36) გავითვალისწინოთ, რომ $\sigma^2 = \left(\frac{\pi d_{\text{ბსბ}}^2}{4}\right)^2$, მაშინ

$$d_{\text{ბსბ}(2)}^2 = \frac{4Q}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\rho \sigma_0^2}{2\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho}}$$

$$\text{ხოლო } d_{\text{ბსბ}(2)} = 0,95\sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho \sigma_0^2}{\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho}} \quad (3.37)$$

ამგვარად, თუ ჩათვლით, რომ $\frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} \approx 0$, მაშინ ნახვრეტის დიამეტრს ვიანგარიშებთ (3.34) ფორმულით; წინააღმდეგ შემთხვევაში ანგარიშს ჩავატარებთ (3.37) გამოსახულებით. განვსაზღვროთ (3.34) და (3.37) გამოსახულებებით ნაანგარიშებ დიამეტრებს შორის სხვაობა.

ამისათვის (3.37) განტოლების ფესქვემა გამოსახულება წარმოვადგინოთ ქვემოთ მოტანილი სახით:

$$\frac{\rho \sigma_0^2}{\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho} = \frac{\rho}{\Delta p} + \left(\frac{\rho \sigma_0^2}{\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho} - \frac{\rho}{\Delta p} \right) = \frac{\rho}{\Delta p} + \frac{Q^2 \rho^2}{\Delta p^2 \sigma_0^2 + \Delta p Q^2 \rho}$$

მაშინ (3.37) ფორმულა შეიძლება ჩავწეროთ

$$d_{\text{ბსბ}(2)} = 0,95\sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p} + \frac{Q^2 \rho^2}{\Delta p^2 \sigma_0^2 + \Delta p Q^2 \rho}}$$

ხოლო სხვაობა, სმ

$$\begin{aligned} d_{\text{ბსბ}(2)} - d_{\text{ბსბ}(1)} &= 0,95\sqrt{Q} \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p} + \frac{Q^2 \rho^2}{\Delta p^2 \sigma_0^2 + \Delta p Q^2 \rho}} - \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}} \right) = \\ &= 0,95\sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p} \left(\sqrt[4]{1 + \frac{Q^2 \rho}{\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho}} - 1 \right)} \end{aligned} \quad (3.38)$$

დავუშვათ, რომ სითხის (წყლის) ტემპერატურა $t, \text{ }^{\circ}\text{C}=18^{\circ}$, მაშინ
 $\rho=0,00105$ დკნ/მ³; $\Delta p=0,95$ კგ/სმ²=9500 დკნ/მ²;
 $Q_{\max}=504$ სმ³; $b \times l \times h=3,36 \times 250 \times 0,6$ სმ³ (შერჩეული ეტალონური მოდელისათვის)
 $Q_{\min}=50,4$ სმ³; $b \times l \times h=2 \times 42 \times 0,6$ სმ³ (ლაბორატორიული სტენდისათვის)
 $\sigma_{0(\max)}=840$ სმ², შერჩეული ეტალონური მოდელისათვის;
 $\sigma_{0(\min)}=84$ სმ², ლაბორატორიული სტენდისათვის;

ამ მონაცემების მიხედვით ლაბორატორიული სტენდისათვის (3.38) განტოლებიდან მივიღებთ

$$\begin{aligned} (d_{6sb(2)} - d_{6sb(1)})_{\min} &= 0,95 \sqrt{50,4} \cdot \sqrt[4]{\frac{0,00105}{9500} \left(\sqrt[4]{1 + \frac{50,4^2 \cdot 0,00105}{9500 \cdot 84^2 + 50,4^2 \cdot 0,00105}} - 1 \right)} = \\ &= 0,95 \cdot 7,099 \cdot \sqrt[4]{1,10526 \cdot 10^{-7}} \cdot \left(\sqrt[4]{1 + \frac{2,667168}{67032000 + 2,667168}} - 1 \right) = \\ &= 0,95 \cdot 7,099 \cdot 0,018233 \cdot \left(\sqrt[4]{1 + 3,978965 \cdot 10^{-8}} - 1 \right) = 0,12296426365 \cdot (1,000000009947 - 1) = \\ &= 1,223170 \cdot 10^{-9} \text{ სმ} \end{aligned}$$

ხოლო შერჩეული მოდელისათვის

$$\begin{aligned} (d_{6sb(2)} - d_{6sb(1)})_{\max} &= 0,95 \sqrt{504} \cdot \sqrt[4]{\frac{0,00105}{9500} \left(\sqrt[4]{1 + \frac{504^2 \cdot 0,00105}{9500 \cdot 840^2 + 504^2 \cdot 0,00105}} - 1 \right)} = \\ &= 0,95 \cdot 22,44994432 \cdot \sqrt[4]{1,10526 \cdot 10^{-7}} \cdot \left(\sqrt[4]{1 + \frac{266,7168}{670320000 + 266,7168}} - 1 \right) = \\ &= 0,95 \cdot 22,44994432 \cdot 0,018233 \cdot \left(\sqrt[4]{1 + 3,9789472 \cdot 10^{-8}} - 1 \right) = 0,3888633 \cdot (1,000000009947 - 1) = \\ &= 3,868024 \cdot 10^{-9} \text{ სმ} \end{aligned}$$

აქედან გამომდინარე (3.34) გამოსახულებით ნახვრეტის დიამეტრის ნაანგარიშები სიდიდე დასაშვები ცდომილების არეშია, ამიტომ პროექტირებისას, როგორც შედარებით მარტივს, რეკომენდაცია ეძლევა (3.34) ფორმულით სარგებლობას. გავარჩიოთ (3.34) გამოსახულება დეტალურად

$$d_{6sb(1)} = 0,95 \sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}}$$

$\sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}}$, როცხვიითი მნიშვნელობები $\rho=f(t, \text{ }^{\circ}\text{C})$

$\rho \cdot 10^{-6}$ ფკვ/მ ³	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
$\frac{\Delta p}{\text{ფკვ/მ}^2}$	$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$													
500	0.043541	0.041742	0.040209	0.038858	0.037644	0.036577	0.035599	0.033831	0.032400	0.031137	0.030037	0.029069	0.028218	0.027453
1000	0.036613	0.035101	0.033812	0.032676	0.031654	0.030758	0.029935	0.028449	0.027245	0.026183	0.025258	0.024444	0.023728	0.023085
2000	0.030788	0.029516	0.028432	0.027477	0.026618	0.025864	0.025172	0.023922	0.022910	0.022017	0.021239	0.020555	0.019953	0.019412
3000	0.027820	0.026671	0.025691	0.024828	0.024052	0.023371	0.022746	0.021616	0.020702	0.019895	0.019192	0.018573	0.018030	0.017541
4000	0.025889	0.024820	0.023909	0.023105	0.022383	0.021749	0.021167	0.020116	0.019265	0.018514	0.017860	0.017284	0.016778	0.016324
5000	0.024485	0.023473	0.022611	0.021852	0.021169	0.020569	0.020019	0.019025	0.018220	0.017510	0.016891	0.016346	0.015868	0.015438
6000	0.023394	0.022427	0.021604	0.020878	0.020225	0.019653	0.019127	0.018177	0.017408	0.016730	0.016138	0.015618	0.015161	0.014750
7000	0.022509	0.021580	0.020787	0.020089	0.019461	0.018910	0.018404	0.017490	0.016750	0.016097	0.015528	0.015028	0.014588	0.014192
8000	0.021770	0.020871	0.020105	0.019429	0.018822	0.018289	0.017799	0.016916	0.016200	0.015569	0.015018	0.014534	0.014109	0.013726
9000	0.021139	0.020265	0.019521	0.018865	0.018276	0.017758	0.017283	0.016425	0.015730	0.015117	0.014583	0.014113	0.013699	0.013328
9500	0.020855	0.019993	0.019259	0.018612	0.018030	0.017520	0.017051	0.016204	0.015519	0.014914	0.014387	0.013923	0.013516	0.013149
10000	-1	0.019739	0.019014	0.018375	0.017801	0.017296	0.016834	0.015998	0.015321	0.014724	0.014204	0.013746	0.013343	0.012982

$$V_{\text{ცხრილის}} = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}$$

, რიცხვითი მნიშვნელობები $\rho = f(t, \text{ }^{\circ}\text{C})$

p-10-6 აქს/მ ²	0,001797	0,001518	0,001307	0,001140	0,001004	0,000895	0,000803	0,000655	0,000551	0,000470	0,000407	0,000357	0,000317	0,000284
$\Delta p, \text{ აქს/მ}^2$	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	746,0	811,6	874,7	936,6	998,0	1057,0	1115,9	1235,6	1347,2	1458,6	1567,5	1673,7	1776,1	1876,5
500	1055,0	1147,8	1237,0	1419,1	1411,4	1494,9	1578,2	1747,4	1905,2	2062,8	2216,8	2366,9	2511,8	2653,7
1000	1492,0	1623,3	1749,4	1687,6	1996,0	2114,1	2231,9	2471,2	2694,4	2917,3	3135,0	3347,3	3552,2	3752,9
2000	1827,3	1988,1	2142,6	1867,6	2444,6	2589,2	2733,5	3026,6	3299,9	3572,9	3839,5	4099,6	4350,6	4596,4
3000	2109,9	2295,7	2474,0	2006,9	2822,8	2989,7	3156,4	3494,8	3810,4	4125,7	4433,5	4733,8	5023,6	5307,4
4000	2359,0	2566,6	2766,1	2122,0	3156,0	3342,6	3528,9	3907,3	4260,1	4612,7	4956,8	5292,6	5616,6	5933,9
5000	2584,1	2811,6	3030,1	2221,0	3457,2	3661,7	3865,7	4280,3	4666,8	5052,9	5429,9	5797,7	6152,6	6500,3
6000	2791,2	3036,9	3272,9	2308,2	3734,2	3955,1	4175,5	4623,2	5040,7	5457,8	5865,0	6262,2	6645,6	7021,1
7000	2983,9	3246,6	3498,8	2386,6	3992,0	4228,1	4463,8	4942,4	5388,7	5834,6	6269,9	6694,6	7104,4	7505,9
8000	3164,9	3443,5	3711,1	2457,9	4234,2	4484,6	4734,5	5242,2	5715,6	6188,5	6650,3	7100,7	7535,4	7961,2
9000	3251,6	3537,9	3812,8	2491,3	4350,2	4607,5	4864,3	5385,9	5872,2	6358,1	6832,5	7295,3	7741,9	8179,3
10000	3336,1	3629,8	3911,8	2523,5	4463,2	4727,2	4990,7	5525,8	6024,8	6523,3	7010,0	7484,8	7943,0	8391,8

ამ გამოსახულებაში ρ არის რგოლური ჭვრიტის, დოლის ზედაპირის არხების, ცენტრალური ნახვრეტისა და დგუშისეული სივრცის საწყისი მოცულობის შემავსებელი სითხის (წყლის) სიბლანტე, რომელიც მნიშვნელოვნად იცვლება ტემპერატურის გავლენით. ვითვალისწინებთ რა იმ ფართო (არეალს) დიაპაზონს, რომელშიც მუშაობა უხდება ლენტური კონვეიერის ამძრავს, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია სითხის (წყლის) სიბლანტე განვიხილოთ ტემპერატურის ცვლილების $t = 0 \div 100$ °C-ის ზღვრებში. შესაბამისად წარმოვადგინეთ (3.34) გამოსახულებით ნაანგარიშები შედეგების ის განმასხვავებელი

მნიშვნელობები, რომელიც მიიღება $\sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}}$ თანამამრავლის ცვლილებით.

შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 3.1-ში. მნიშვნელოვან ცვლილებებს განიცდის სითხის მოძრაობის სიჩქარეც. მისი სავარაუდო ცვლილებების საორიენტაციო მნიშვნელობები, როგორც ტემპერატურისა და სიბლანტის, ასევე ვაკუუმის მიხედვით მოცემულია ცხრ. 3.2.

მიღებული ცხრილების (ცხრ. 3.1 და 3.2) საშუალებით, ნებისმიერი სიდიდის ვაკუუმისა და დიამეტრის დოლისათვის, რომელიც ბრუნვის სიხშირით და გეომეტრიული ზომებით ექვემდებარება სტანდარტით გათვალისწინებულ მონაცემებს, შეგვიძლია ვიანგარიშოთ დოლის საკონტაქტო ზედაპირის და აზმის დამაკავშირებელი ნახვრეტის დიამეტრი, რომელიც სითხის ნაკადის უწყვეტად გადადინებას უზრუნველყოფს, ჭვრიტედან დგუშისეულ სივრცეში. ამასთან, აუცილებლად გასათვალისწინებელია, რომ ეს პროცესი უნდა დასრულდეს დოლის მთელი საკონტაქტო ზედაპირის 10-20 %-ზე ე.ი. “შედარებითი სიმშვიდის რკალზე”; ამისათვის, ვანგარიშობთ დარის შესატყვისი მოცულობის სითხის იმ მნიშვნელობას, რომლის უწყვეტ ნაკადად გადადინება შესაძლებელია “შედარებითი სიმშვიდის” უბანში ვაკუუმური მექანიზმების საშუალებით (მისივე დგუშისეულ სივრცეში).

$$v_{\text{შესაძლო}} = \frac{(0,1 \div 0,2)\pi R_{\text{დ}}}{v_{\text{ლენტი}}} v_{\text{ცხრილი}} = (0,314 \div 0,628) \frac{v_{\text{ცხრილი}}}{v_{\text{ლენტი}}} R_{\text{დ}} \quad (3.39)$$

(3.39) გამოსახულებაში $v_{\text{ცხრილი}} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$ და მისი მნიშვნელობები აიღება

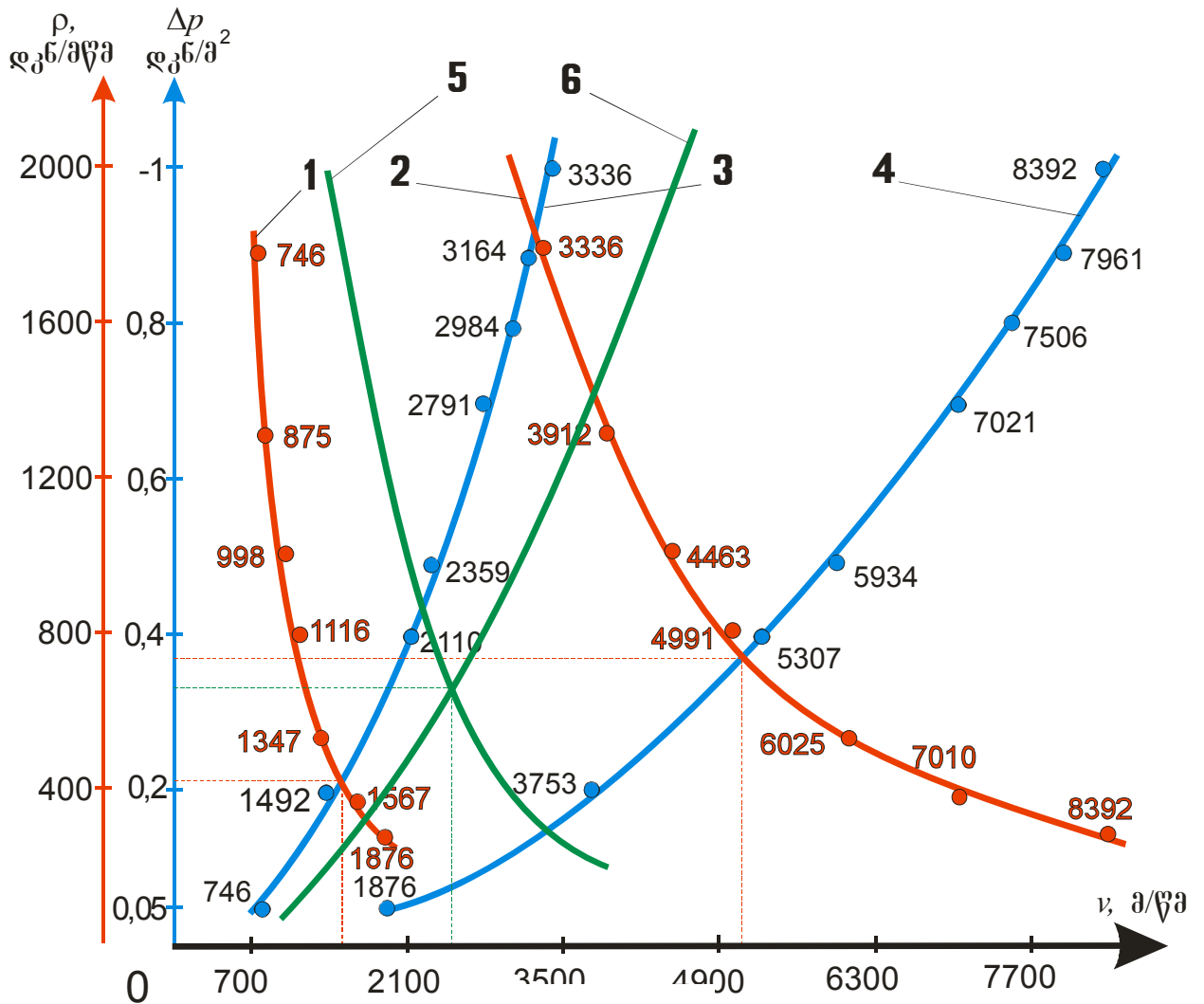
3.2 ცხრილიდან შესაბამისი სვეტის – Δp და სტრიქონის $\rho=f(t \text{ } ^\circ\text{C})$ გადაკვეთაზე.

ასევე, ცხრ. 3.1. აიღება $\sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}}$ გამოსახულების რიცხვითი მნიშვნელობები, ხოლო ლენტის (დოლის) სტანდარტული სიჩქარე შესაბამის საცნობარო ლიტერატურიდან [88, 89, 90, 91, 92].

ცხრილში 3.2-ში მოცემულია ერთეულოვან დროში ნახვრეტიდან უწყვეტ ნაკადად მომდინარე სითხის სიჩქარე (ხარჯი). როგორც ცხრილიდან ნათლად ჩანს სითხის სიჩქარე, ტემპერატურის ზრდით (და შესაბამისად სიბლანტის შემცირებით) იზრდება. ასე მაგალითად 500 დკნ/მ² გაიშვიათებისას და 0 °C-დან 100 °C-მდე სითხის ტემპერატურის მომატებით, სითხის სიჩქარე (ხარჯი) იცვლება 746-დან 1876-მდე მ/წმ. ერთდაიგივე სიმკვრივისას (მაგ. $\rho=179 \cdot 10^{-6}$ დკნ/მ³) კი იზრდება რა ვაკუუმის მნიშვნელობა 5000 პა-დან 100 000-მდე, 0 °C გარემოსა და შესაბამისად სითხის ტემპერატურისას, სითხის სიჩქარე და შესაბამისად ხარჯი იზრდება 746-დან 3336-მდე მ/წმ. ხოლო თუ ტემპერატურა 100 °C მიაღწევს მაშინ სითხის სიჩქარე ვაკუუმის იმავე ზღვრებში ცვლილებებისას 1876-დან 8392-მდე მ/წმ იზრდება.

აღნიშნული ფაქტი და ის შემთხვევა, რომ კონვეიერის ამძრავი მუშაობას იწყებს, საკონტაქტო ზედაპირზე – ჭვრიტეში შედარებით დიდი სიბლანტის მქონე სითხით (დაბალი ტემპერატურის გამო) და ვაკუუმის გარეშე, რაც ამძრავის სრულფასოვან ამუშავებამდე გაგრძელდება, გვაფიქრებინებს, – ნახვრეტის ზომა, რომელშიც სითხემ უწყვეტ ნაკადად უნდა იდინოს, საჭიროა გავთვალოთ (3.2.) ცხრილის $v_{\text{ცხრილის}}$ და ვაკუუმის სიდიდის საშუალო (შესაბამისი) მნიშვნელობის მიხედვით (3.38) ფორმულით, ხოლო ვაკუუმის შექმნის ზონად უნდა მივიღოთ “შედარებითი სიმშვიდის” უბნის რაღაც გარკვეული ნაწილი (მისი სიდიდე მნიშვნელოვნად იქნება დამოკიდებული აპმ-ის დგუშის სვლის მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე, რაც თავის მხრივ განაპირობებს მუშტა მექანიზმის პროფილს – სიმრუდეს და მისი ექსცენტრისიტეტის მნიშვნელობას). უბნის ამ ნაწილის სიდიდის გათვალისწინება მოხდება (3.38) ფორმულის მრიცხველში (0,1÷0,2) რიცხვებიდან, ან მის მახლობლობაში რომელიმე საჭირო ციფრის ჩასმით.

ნახ. 3.4 წარმოდგენილია (3.2. ცხრილის მონაცემებით აგებული) ვაკუუმ-დოლის მუშაობის სამი რეჟიმის შესაბამისი მრუდი:



ნახ. 34.

მრუდი - 1 აღწერს პროცესს, როდესაც $v=f(\rho)$, $\rho=f(t)$ და $t=(0\div 100)$ °C. ამ დროს $\Delta p=500$ დკნ/მ²=const;

მრუდი - 3 აღწერს პროცესს, როდესაც $v=f(\Delta p)$, $\Delta p=0,05\rightarrow -1$ ანუ 500 დკნ/მ²-დან 10 000-მდე. ამ დროს $t=0$ °C, ხოლო $\rho=0,001797$ დკნ/მ³;

მრუდი - 2 აღწერს პროცესს, როდესაც $v=f(\rho)$, $\rho=f(t)$ და $t=(0\div 100)$ °C. ამ დროს $\Delta p\approx -1$ ანუ 10 000 დკნ/მ² = const;

მრუდი - 4 აღწერს პროცესს, $v=f(\Delta p)$, $\Delta p=0,05\rightarrow -1$ ანუ 500 დკნ/მ²-დან 10 000 დკნ/მ²-მდე. ამ დროს $t=100$ °C, ხოლო $\rho=0,000284$ დკნ/მ³.

მრუდი - 5 აღწერს პროცესს, როდესაც $v=f(\rho)$, $\rho=f(t)$ და $t=(0\div 100)$ °C. ამ დროს $\Delta p=0,2$ ანუ 2000 დკნ/მ²=const, ხოლო $\rho=(284\div 1797)\cdot 10^{-6}$;

მრუდი - 6 აღწერს პროცესს, როდესაც $v=f(\Delta p)$, $\Delta p=0,05\rightarrow -1$ ანუ 500 დკნ/მ²-დან 10 000-მდე. ამ დროს $t=20$ °C, ხოლო $\rho=0,001004=const$ დკნ/მ³;

1-3 და 2-4 რეჟიმების აღმწერი მრუდები გადაკვეთის წერტილებით გვაძლევენ იმ ოპტიმალურ რეჟიმებს, რომელთა საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ნახვრეტის ოპტიმალური დიამეტრის საანგარიშოდ ρ და Δp -ს საწყისი მონაცემები. მათივე საშუალებით (3.39) ფორმულით განისაზღვრება საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმური არხის საორიენტაციო მოცულობა, რომელიც შემდგომ გრძივ პარამეტრებში გადაითვლება ყოველი კონკრეტული შემთხვევისას. ასეთი რეჟიმული წერტილების მოძებნა შესაძლებელია ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის ცხრილების (3.1) და (3.2)-ის მონაცემების საშუალებით.

განვიხილოთ ჩვენს მიერ შერჩეული:

ა) ლაბორატორიული ვაკუუმ-დოლისა (იხ. წინამდებარე ნაშრომის შესავალი ნაწილი); და

ბ) ბაზისური (ეტალონური) მოდელის ვაკუუმ-დოლის მაგალითზე $v_{\text{შესაძლო}}$ -ს მნიშვნელობის (3.39) განტოლებით და ნახვრეტის $d_{\text{ნახ}}$ დიამეტრის ოპტიმალური ზომის (3.34) გამოსახულების გაანგარიშების მეთოდიკა (წესი).

ა) ლაბორატორიული ვაკუუმ-დოლისათვის $B_{\text{ღ}}=0,5$ მ; $D_{\text{ღ}}=0,36$ მ; $\alpha=180^\circ$; $\Delta p=0,95$; $v_{\text{ღ}}=1,25 \div 1,6$ მ/წმ; $t=20$ °C; მაშინ ნახ. 3.4-დან (1-3) მრუდების რეჟიმული წერტილიდან $\Delta p \approx 0,2$ დკნ/მ²-დან $v=1600$ მ/წმ; შესაბამისად ცხრილიდან (3.2) ვიღებთ $(\Delta p-v)$ -სათვის $\rho=1518 \cdot 10^{-6}$ და $v_{\text{ცხრილი}}=1623$ ხოლო 3.1 ცხრილიდან $(\rho-\Delta p_{\text{max}})$

მიხედვით $\sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}}$ -ს მნიშვნელობას – 0,01999; და ბოლოს

$$v_{\text{შესაძლო}} = \frac{0,15\pi R_{\text{ღ}}}{v_{\text{ღენტი}}} v_{\text{ცხრილი}} = \frac{0,15 \cdot 3,14 \cdot 0,18}{1,0} \cdot 1623 = 137,59794 \text{ , მ/წმ}$$

ხოლო

$$d_{\text{ნახ}} = 0,95 \sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}} = 0,95 \cdot \sqrt{138} \cdot \sqrt[4]{\frac{1518 \cdot 10^{-6}}{0,2}} = 0,95 \cdot 11,747 \cdot 0,029516 = 0,33 \text{ , სმ}$$

ბ) ანალოგიურად იანგარიშება ბაზისური მოდელისათვის $B_{\text{ღ}}=3,2$ მ; $D=2,674$ მ; $\alpha=180^\circ$; $\Delta p=0,95$ დკნ/სმ²; $v_{\text{ღ}}=8,4$ მ/წმ; $t=20$ °C;

$$v_{\text{შესაძლო}} = \frac{0,15\pi R_{\text{ღ}}}{v_{\text{ღენტი}}} v_{\text{ცხრილი}} = \frac{0,15 \cdot 3,14 \cdot 1,337}{1,0} \cdot 5242 = 3301,0289 \text{ , მ/წმ}$$

ხოლო

$$d_{\text{ნახ}} = 0,95 \sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}} = 0,95 \cdot \sqrt{3301} \cdot \sqrt[4]{\frac{1518 \cdot 10^{-6}}{0,95}} = 0,95 \cdot 57,454 \cdot 0,029516 = 1,611 \text{ სმ}$$

თავი IV. თეორიული, ექსპერიმენტული და კომპიუტერული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი

4.1. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი

მეცნიერული კვლევის უტყუარობისა და დასაბუთებულობის დადასტურების მიზნით, წინამდებარე თავში, მოვახდინეთ ჩვენს მიერ შესრულებული თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგების ურთიერთთანხვედნილობის დასაშვებ ზღვრებში არსებობის ანალიზი. იმავდროულად ვითვალისწინებდით და ვეყრდნობოდით: მაკროელასტოჰიდროდინამიკის, ვაკუუმში ფიზიკური პროცესების, მოცულობითი ჰიდრაულიკური მანქანების მუშაობის თეორიის, ტრიბონიკის და საერთოდ მექანიკის ზოგად დებულებებს.

თეორიული კვლევების შედეგად მივიღეთ ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირებისა და მათი ვაკუუმის წყაროებთან შემაერთებელი კვანძების* (ჩვენი შემთხვევისათვის წრიულამონაჩარხებიანი გრძივი ღარების მოცულობების აპმის დგუშისეულ სივრცესთან შემაერთებელი – ნახვრეტები) უხელსაყრელესი გეომეტრიულ პარამეტრების (მილსადენების – ნახვრეტების სიგრძის და დიამეტრის, გრძივი არხების მოცულობების, მათი უპირატესი გეომეტრიული ფორმებისა და ზომების და ა.შ.) და რგოლურ ჭვრიტეში მიმდინარე ხახუნის რეჟიმის ტექნოლოგიური პროცესის უპირატეს პირობებში წარმართვის თეორიული სქემა (იხილეთ დრეკადჰიდროდინამიკური ანუ ზომერფედლის რიცხვთან დაკავშირებული საკითხები); როდესაც ცოცია, – ჩვენი შემთხვევისათვის საკონვეიერო ლენტი, – საყრდენ ზედაპირზე ანუ ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე ტანგენციალური მოძრაობით განაპირობებს მისი შემკავებელი – შემზეთი სითხის გამოწნეხვას.

მივიღეთ, რომ გასაუხშოებელი და გამაუხშოებელი მექანიზმების შემაერთებელი ელემენტის, – ნახვრეტის დიამეტრი (იხ. 3.33).

$$d_{6.6} = 0,95\sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (4.1)$$

* კოლექტორიან ვაკუუმ-დოლებში იგი წარმოადგენს საკმარისად გრძელ და რთულლაბირინთულ რეციპიენტებს (ვაკუუმ-არხებს).

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამ გამოსახულებაში ერთეულოვანი დროსთვის $Q=v$, მაშინ

$$Q = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}};$$

$d_{6\text{ახ}}$ -ის მნიშვნელობის საანგარიშოდ საჭიროა დავითვალთ გრძივი არხის მოცულობის ($v=Q$)-ს ის რეალური მნიშვნელობა, რომლიდანაც „დრეკადი სრიალის“ რკალის გარბენამდე, სითხე უწყვეტ ნაკადად, გადაინდება დგუშისეულ სივრცეში ამიტომ ვსარგებლობთ (3.38) გამოსახულებით

$$Q = v_{\text{შესაძლო}} = \frac{(0,1 \div 0,2)\pi R_{\text{გ}}}{v_{\text{ლენტი}}} v_{\text{ცხრ}} \quad (4.2)$$

$v_{\text{შესაძლო}}$ -ს მიღებული მნიშვნელობა წარმოადგენს ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირის გრძივი არხის მოცულობას, ხოლო (4.1) გამოსახულებით ნაანგარიშევი $d_{6\text{ახ}}$ -ის მნიშვნელობა წარმოადგენს წრიული ამონაჩარხების ერთმანეთთან და აზმ-ის დგუშისეულ სივრცესთან შემაერთებელი გრძივი ღარების სიგანეს.

ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით წრიული ამონაჩარხების ოპტიმალური დიამეტრი $d_{\text{ამონაჩ}}=3d_{6\text{ახ}}$; ხოლო ამონაჩარხების ცენტრებს შორის მანძილი $l_{\text{ამონაჩ}}=2d_{\text{ამონაჩ}}=6d_{6\text{ახ}}$.

ამონაჩარხების რაოდენობა ერთ გრძივ არხზე

$$n_{\text{ამონაჩ}} = \frac{B_{\text{გ}} - 2d_{\text{ამონაჩ}}}{2d_{\text{ამონაჩ}}} = \frac{B_{\text{გ}}}{6d_{6\text{ახ}}} - 1$$

გრძივი არხების ბიჯი

$$t = (4 \div 4,5) \cdot d_{\text{ამონაჩ}} = (12 \div 13,5) \cdot d_{6\text{ახ}}$$

არხების რაოდენობა დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე

$$n_{\text{არხ}} = \frac{\pi D_{\text{გ}}}{t} = \frac{\pi D_{\text{გ}}}{(12 \div 13,5)d_{6\text{ახ}}} = (0,26 \div 0,23) \frac{D_{\text{გ}}}{d_{6\text{ახ}}}$$

გრძივი არხის ფართობი

$$S_{\text{არხ}} = \frac{\pi d_{\text{ამონაჩ}}^2}{4} \cdot n_{\text{ამონაჩ}} + n_{\text{ამონაჩ}} \cdot d_{6\text{ახ}} \cdot d_{\text{ამონაჩ}}$$

$$S_{\text{არხ}} = \frac{\pi(3d_{6\text{ახ}})^2}{4} \cdot \left(\frac{B_{\text{გ}}}{6d_{6\text{ახ}}} - 1 \right) + \left(\frac{B_{\text{გ}}}{6d_{6\text{ახ}}} - 1 \right) \cdot d_{6\text{ახ}} \cdot 3d_{6\text{ახ}}$$

და ბოლოს წრიულამონაჩარხებიანი გრძივი არხის ფართობი

$$S_{არხ} = d_{ნახ} (1,678B_{ლ} - 10,065d_{ნახ}) \quad (4.3)$$

გამოსახულების (3.39) და (4.2) მიხედვით

$$v_{შესადლო} = \frac{0,1\pi D_{ლ}}{v_{ლენტი}} v_{ცხრ}$$

ხოლო ვაკუუმ-დოლის შერჩეული ეტალონური მოდელისათვის

$$v_{შესადლო} = \frac{0,1\pi D_{ლ}}{v_{ლენტი}} v_{ცხრ} = \frac{0,1 \cdot 3,14 \cdot 2,674}{8,4} v_{ცხრ} = 0,0999 \cdot v_{ცხრ} \quad (4.4)$$

მაშინ (4.3.) და (4.4) გამოსახულებების გათვალისწინებით ეტალონური მოდელის ღარის სიღრმე

$$h_{ღარის} = \frac{v_{შესადლო}}{s_{არხისა}} = \frac{0,0999 \cdot v_{ცხრ}}{d_{ნახ} (1,678B_{ლ} - 10,065d_{ნახ})}$$

ამგვარად, ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირის ყველა გეომეტრიული ზომა გამოსახულია ნახვრეტის $d_{ნახ}$ დიამეტრის ვაკუუმ-დოლის $D_{დოლ}$ – დიამეტრის და საკონვეიერო ლენტის $B_{ლენტი}$ სიგანის საშუალებით. აღნიშნული პარამეტრების ანგარიშისას ვსარგებლობთ (ცხრილი 3.2)-ის მონაცემებით, საიდანაც ცხრილის რიცხვით მნიშვნელობებს ვირჩევთ იმ რეგიონის გაბატონებული კლიმატური პირობების მიხედვით, სადაც უნდა იმუშაოს დასაპროექტებელმა ობიექტმა (ლენტურმა კონვეიერმა, მოდერნიზებული ვაკუუმ-ამძრავით).

4.2. კომპიუტერული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი

ზემოთ მოტანილი საპროექტო სამუშაოების შესრულების შემდეგ, კომპიუტერული მოდელირების საშუალებით, მოვახდინეთ ჩვენს მიერ დაპროექტებული და გაანგარიშებული ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირისა და საკონვეიერო ლენტის რგოლურ ჭვრიტეში სითხის შრის სისქისა და მთელი შემოხვევის კუთხის [ორივე: “შედარებითი სიმჭიდვის” $[0 \div 0,2]\pi$ და „დრეკადი სრიალის“ $(0,2 \div \pi)$ რადიანზე] საზღვრებში მისი ცვლილების შესწავლა.

აღნიშნულის განხორციელების მიზნით ჩვენს მიერ მიღებულ (3.22.) გამოსახულებაში A , B_1 , C_1 ნამდვილი მუდმივების განსაზღვრისა და $\Delta h(s)$ -ის ცვლილების კომპიუტერული მოდელის შედგენისათვის ვისარგებლეთ ქვემოთ

მოტანილი კონკრეტული მაგალითის პირობებით. კერძოდ: თუ (3.16)

გამოახსულებაში $\Delta h = 1 - \frac{h}{h_0}$ გაავითვალისწინებთ „შედარებითი სიმშვიდის“ და

„დრეკადი სრიალის“ შესაბამის რკალებზე ვაკუუმის შექმნისა და სითხის დრენაჟირების ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ პროცესებს, მაშინ შეიძლება ჩავწეროთ:

„შედარებითი სიმშვიდის“ რკალის ცენტრალურ ნაწილში $h=h_0$

ამიტომ $S=0,1\pi$, მაშინ $h=h_0$ და $\Delta h(s)=0$;

აგრეთვე $S=0,1\pi$, და $h=h_0$ და $(\Delta h(s))'=0$;

ხოლო, როდესაც $0,1\pi < S \leq \pi$, მაშინ $h \approx 0$ და $\Delta h(s) \approx 1$;

$\Delta h(s)$ -ის (3.22) განტოლებაში შემავალი სიდიდეებიდან:

- ❖ $\mu=0,01 \div 0,9$ – არის ლენტის დოლის ზედაპირთან ჩაჭიდების კოეფიციენტი; ჩვენი პირობებისათვის შეიძლება მივიღოთ, რომ $\mu=0,63$;
- ❖ $U = U_1 \left(1 - \frac{F_1 - F_2}{F_0} \right)$, ლენტის დრეკადი სრიალის სიჩქარე;

სადაც $U_1 \approx 0,005$ მ/წმ – დოლზე ლენტის პირველი გვარის წინასწარი წანაცვლება.

$$F_1 = e^{\mu \alpha_{\max}} \left(1 - e^{-\mu \delta} \right) \sum_{K=1}^{24} P e^{-\mu(K-1)(\beta+\delta)} + S_{\beta} (e^{\mu \alpha_{\max}} - 1) \quad (4.5)$$

- ❖ $T \approx F_1$ – დოლზე ლენტის სწრაფობის წერტილის დაჭიმულობა;

$F_2 = S_{\beta} = pRB \div 2pRB = const$ ლენტის პროგრამული (საწყისი) ანუ დოლიდან ჩამოქანების წერტილში ლენტის დაჭიმულობა;

F_0 – არის ლენტის სიხისტე, ანუ დაჭიმულობა, რომლის დროს დაძაბულობა დრეკადობის მოდულს შეესატყვისება

$$F_0 = \frac{EB_{\text{ლ}}}{m} \approx 200000 \div 675000 \text{ დკნ} \quad (4.6)$$

(4.5) და (4.6) გამოსახულებებში შემავალი სიდიდეებიდან:

$S_{\beta} = F_2 = (40645 \div 81290)$ დკნ;

$K=1, 2 \dots 24$ – გრძივი არხის ნომერი;

$\beta=0,00898$ რად – არხის სიგანე;

$\delta=0,1167$ რად – ღარებსშორისი სეგმენტი;

$t=0,1257$ რად – არხების ბიჯი;

$\alpha_{\max}=\pi$ რად – დოლზე ლენტის შემოხვევის კუთხე;
 $p=0,35\div 0,95$ დკნ/სმ² – ვაკუუმის სიდიდე;
 $R=133,7$ სმ – ვაკუუმ-დოლის რადიუსი;
 $B_{\text{ლ}}=320$ სმ – ლენტის სიგანე;
 $E=6000\div 20000$ დკნ/სმ ლენტის დრეკადობის მოდული;
 $n_{\text{არხ}}=50$ – დოლზე ვაკუუმ-არხების საერთო რაოდენობა;
 $m=6,5\div 9,5$ სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი.

❖ $h_0 = 0,643R \left(\frac{6\mu U}{T} \right)^{2/3}$ – „შედარებითი სიმშვიდის რკალის“ ცენტრალურ ნაწილში სითხის შრის სისქე;

ვაკუუმ-დოლის ეტალონური მოდელის საკონტაქტო ზედაპირზე არხების საერთო რაოდენობა $n_{\text{არხ}}=50$; მათგან რგოლური ჭვრიტის $(0,2\div\pi)$ რადიანი კუთხის შესაბამისი „შედარებითი სიმშვიდის რკალზე“ განთავსდება $(4\div 5)$ არხი-ნომრებით $K=24, 23, 22, 21$. დანარჩენი $20\div 1$ ვაკუუმ-არხი $(0,2\pi\div\pi)$ რადიანის ტოლ კუთხეზე „დრეკადი სრიალით“ იმუშავებს მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმის დანაკარგების თანდათანობითი კომპენსაციით $K=20$ -დან $K=1$ -კენ.

განვიხილოთ ვაკუუმ-დოლის მუშაობის ორი შესაძლო რეჟიმი:

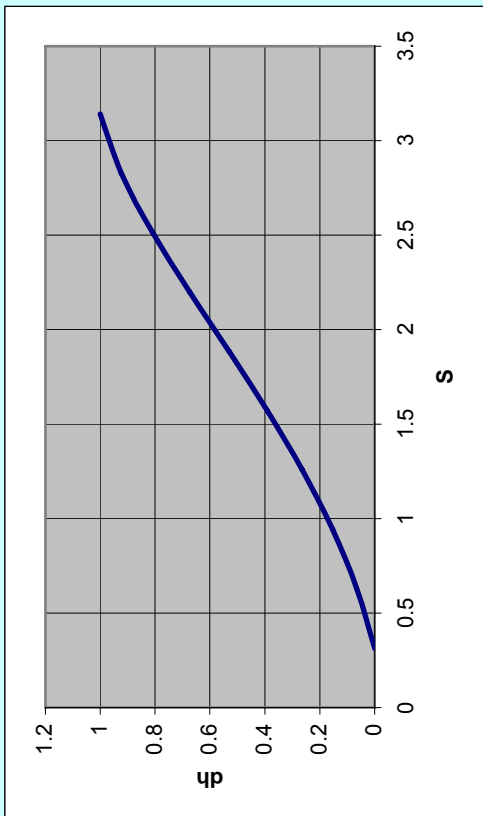
1) „შედარებითი სიმშვიდის“ რკალის $K=24\div 21$ არხებში ვაკუუმის საწყისი მნიშვნელობა $p=0,35$ დკნ/სმ²; ხოლო $(0,2\pi-\pi)$ რადიანის „დრეკადი სრილის რკალზე“ მივიღოთ ვაკუუმის ზრდა $p=0,35$ -დან $0,95$ დკნ/სმ²-მდე, $K=20$ -დან $K=1$ -კენ ვაკუუმ-არხისაკენ ზრდის ბიჯით $0,03\div 0,1$ დკნ/სმ² (მხედველობაში მიიღება ვაკუუმის კარგვებიც);

2) „შედარებითი სიმშვიდის“ რკალის $K=24\div 21$ არხებში ვაკუუმი აღწევს მაქსიმალურ $p=0,95$ დკნ/სმ² მნიშვნელობას. $K=20$ -დან $K=1$ -კენ ვაკუუმ-არხებში კი „დრეკადი სრიალით“ ხდება მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე შექმნილი ვაკუუმის შენარჩუნება (აღნიშნულ პროცესს ადგილი ექნება უხვად დასველებული და დგუშისეული სივრცის სითხით მაქსიმალურად შევსების შემთხვევაში). (იხ. IV თავის დანართი II).

ყველა შესაძლო ვარიანტი მონაცემი შეტანილი იქნა კომპიუტერში $\Delta h(s)$ -ის, $S=0\div\pi$, რადიანის საზღვრებში, ცვლილების შესწავლისათვის. ორი მათგანი IV თავს თან ერთვის.

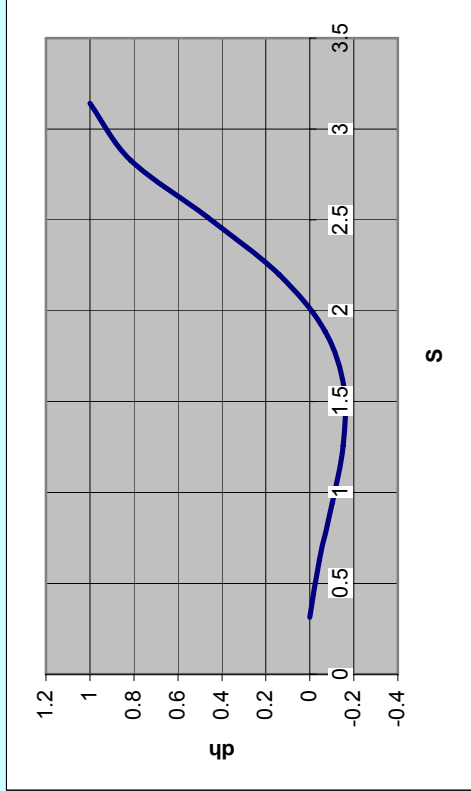
IV თავის დანართი 1.

p	R	B	μ	δ	$P=F2/2$	U1	U	ho	a	
0.35	133.7	320	0.63	0.1167	14974.4	0.005	0.003366247	0.004859	0.840583	
F1	F2	Fo	S	$\exp(-aS)$	$\exp(aS/2)$	$\cos(1.73aS/2)$	$\sin(1.73aS/2)$	$b1(S=\pi/10)$	$b2(S=\pi)$	$b3(S=\pi/10)$
186789	29949	480000	0.31416	0.767914	1.141152647	0.974023753	0.226445862	0	1	0
			3.1416	0.071306	3.744875807	-0.654465666	0.756091722			
a11	a12	a13	a21	a22	a23	a31	a32	a33		
0.76791	1.1115	0.2584	0.071306	-2.450893	2.831469598	-0.645495682	0.266977922	0.266975		
D	Dx	Dy	Dz	$X=Dx/D$	$Y=Dy/D$	$Z=Dz/D$				
-3.5395	-0.2278	0.3718	-0.92249	0.064346	-0.10504681	0.260625535				
a		S	$\exp(-aS)$	$\exp(aS/2)$	$\cos(1.73aS/2)$	$\sin(1.73aS/2)$				
0.84058	0.1	0.3142	0.767914	1.141153	0.974023753	0.226445862				
0.84058	0.2	0.6283	0.589692	1.302229	0.897444543	0.441127297				
0.84058	0.3	0.9425	0.452832	1.486042	0.774240851	0.632891069				
0.84058	0.4	1.2566	0.347736	1.695801	0.610813416	0.791774571				
0.84058	0.5	1.5708	0.267032	1.935168	0.4156527	0.90952341				
0.84058	0.6	1.885	0.205057	2.208322	0.19889779	0.980020239				
0.84058	0.7	2.1991	0.157466	2.520033	-0.02819036	0.999602573				
0.84058	0.8	2.5133	0.120921	2.875742	-0.25381394	0.96725306				
0.84058	0.9	2.8274	0.092857	3.281661	-0.46625126	0.884652339				
0.84058	1	3.1416	0.071306	3.744876	-0.65446567	0.756091722				
0.6	0	0.6	0.3	10	0.08535188	0.35	20	0.02833	S	dH
0.57	1	0.5027	0.27	11	0.067743056	0.35	21	0.024984	0.31416	0
0.54	2	0.42	0.24	12	0.053103292	0.35	22	0.022033	0.62832	0.064894637
0.51	3	0.3498	0.21	13	0.040976861	0.35	23	0.01943	0.94248	0.153395133
0.48	4	0.2903	0.18	14	0.03097427		Σ	0.094777	1.25664	0.263506102
0.45	5	0.24	0.15	15	0.022762975		$\Sigma\Sigma$	3.431637	1.5708	0.391409279
0.42	6	0.1976	0.12	16	0.016059358				1.88496	0.53110086
0.39	7	0.1618	0.09	17	0.010621813				2.19912	0.674118853
0.36	8	0.1317	0.06	18	0.006244772				2.51328	0.809403089
0.33	9	0.1065	0.03	19	0.002753568				2.82744	0.923334345
	Σ	3.0003		Σ	0.336591843				3.1416	1



IV თავის განართი 2.

p	R	B	μ	δ	P=F2/2	U1	U	ho	a	
0.95	133.7	320	0.63	0.1167	40644.8	0.005	0.000565495	0.00076	2.125058	
F1	F2	Fo	S	exp(-aS)	exp(aS/2)	cos(1.73aS/2)	sin(1.73aS/2)	b1(S= π /10)	b2(S= π)	b3(S= π /10)
507002	81290	480000	0.31416	0.512934	1.39626964	0.837840381	0.545915283	0	1	0
			3.1416	0.001261	28.16391009	0.873537261	-0.486757284			
a11	a12	a13	a21	a22	a23	a31	a32	a33		
0.51293	1.1699	0.7622	0.001261	24.60222	-13.7089884	-1.090014394	-0.159564455	-0.159575		
D	Dx	Dy	Dz	X=Dx/D	Y=Dy/D	Z=Dz/D				
34.7864	0.0651	0.749	-1.19331	0.00187	0.021531613	-0.034303922				
a	S	exp(-aS)	exp(aS/2)	cos(1.73aS/2)	cos(1.73aS/2)	sin(1.73aS/2)				
2.12506	0.1	0.3142	0.512934	1.39627	0.837840381	0.545915283				
2.12506	0.2	0.6283	0.263101	1.949569	0.403953007	0.914779737				
2.12506	0.3	0.9425	0.134954	2.722124	-0.1609441	0.986963524				
2.12506	0.4	1.2566	0.069222	3.800819	-0.67364394	0.739056052				
2.12506	0.5	1.5708	0.035506	5.306968	-0.96786809	0.251458484				
2.12506	0.6	1.885	0.018212	7.409958	-0.94819399	-0.317691907				
2.12506	0.7	2.1991	0.009342	10.3463	-0.62100235	-0.783808702				
2.12506	0.8	2.5133	0.004792	14.44622	-0.0924077	-0.995721255				
2.12506	0.9	2.8274	0.002458	20.17082	0.466156551	-0.884702249				
2.12506	1	3.1416	0.001261	28.16391	0.873537261	-0.486757284				
0.6	0	0.6	0.3	10	0.08535188	0.35	20	0.02833	S	dH
0.57	1	0.5027	0.27	11	0.067743056	0.35	21	0.024984	0.31416	0
0.54	2	0.42	0.24	12	0.053103292	0.35	22	0.022033	0.62832	-0.043729618
0.51	3	0.3498	0.21	13	0.040976861	0.35	23	0.01943	0.94248	-0.101343026
0.48	4	0.2903	0.18	14	0.03097427		Σ	0.094777	1.25664	-0.151360405
0.45	5	0.24	0.15	15	0.022762975		$\Sigma\Sigma$	3.431637	1.5708	-0.156307517
0.42	6	0.1976	0.12	16	0.016059358				1.88496	-0.070494424
0.39	7	0.1618	0.09	17	0.010621813				2.19912	0.13986355
0.36	8	0.1317	0.06	18	0.006244772				2.51328	0.464707275
0.33	9	0.1065	0.03	19	0.002753568				2.82744	0.814620683
	Σ	3.0003		Σ	0.336591843				3.1416	1



პირითადი დასკვნები

ლენტური კონვეიერების ამძრავი ვაკუუმ-დოლების და მათი არსებული და ახალი საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციების მუშაობის, რგოლურ ჭვრიტეში მაკრო-ელასტოჰიდროდინამიკური რეჟიმისას ვაკუუმის შექმნის პროცესების ანალიზის, საკონტაქტო ზედაპირზე სითხის შრის სისქისა და მისი სადრენაჟო ეფექტის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევის და კომპიუტერული მოდელირების შედეგების გათვალისწინებით მიღებულია შემდეგი დასკვნები:

1. შემოთავაზებული ახალი კონსტრუქციის საკონტაქტო ზედაპირი წარმოადგენს საკონვეიერო ლენტისათვის ოპტიმალურ საყრდენ და მცირე საწყისი მოცულობის მქონე ცენტრალური გაწოვის ვაკუუმ-არხებით წარმოქმნილ საკონტაქტო ვაკუუმ-ზედაპირს.

2. ავტონომიურ ვაკუუმურმექანიზმებიანი (აჰმ) ამძრავები შემოთავაზებული ახალი საკონტაქტო ზედაპირით, რაციონალურია და იძლევა საშუალებას:

– საკონტაქტო ზედაპირზე, რგოლურ ჭვრიტეში, ვაკუუმში შეიქმნას პრაქტიკულად უკუმშვადი წვეთოვანი სითხის (თხევადი დგუშის) საშუალებით;

– იდენტური წვევის ძალებისას სხვა ტიპის ამძრავებთან შედარებით, გამოყენებულ იქნეს უფრო ნაკლები სიმტკიცის ლენტი ან გაიზარდოს საკონვეიერო დგარის სიგრძე;

– როგორც განივი, ასევე ამძრავის წრიული მიმართულებით, მაღალი და თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის განვითარებით აამაღლოს მისი ეფექტურად გამოყენება მარგი ქმედების კოეფიციენტისა და ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე დაყვანილი კუთრი სიმძლავრის გაზრდით;

– ვაკუუმის ფორმირება დავასრულოთ კომპაქტური აჰმ-ით მთელი საკონტაქტო რგოლური ჭვრიტის $(0,05 \pm 0,2) \cdot \alpha_3$ შესაბამის რკალზე, რომელიც იწყება ამძრავზე ლენტის სწრაფობის წერტილიდან ანუ ე.წ. “შედარებითი სიმშვიდის რკალზე”;

3. მაკროელასტოჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლის ლენტურ საკისართან გაიგივების შემდეგ, იტერაციული ოპერაციების საშუალებით, ლენტური კონვეიერების ამძრავების გაანგარიშების თეორიაში პირველად, გამოყენებული იქნა შეხეთვის გაანგარიშების კლასიკური მეთოდები.

4. მაკროელასტოდინამიკურ რეჟიმში, საკონვეიერო ლენტის დრეკადად მოსრიალე და ვაკუუმ-დოლის ზედაპირების წყვილის შეხეთვის რეჟიმისა და ხახუნის ხასიათის ცვლილების მართვის საფუძველზე, ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის მნიშვნელობის ცვლილებით გაიზარდა ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა და, შესაბამისად, ამძრავის წვეის ფაქტორი და მისი წვეის ძალა.

5. ნაგიე-სტოკისა და რეინოლდსის განტოლებებზე დაყრდნობით განისაზღვრა დოლისა და საკონვეიერო ლენტის საკონტაქტო ჭვრიტეში სითხის შრის h სისქე, მისი h_0 მნიშვნელობა შემოხვევის საძიებო კუთხის ($\alpha_{შ.ს}$) ცენტრალურ ნაწილში და მათ შორის განსხვავება Δh ორი კონკრეტული შემთხვევისათვის: 1) როდესაც საკონტაქტო ზედაპირი გაყოფილია "დრეკადი სრიალის" და არამოსრიალე ანუ "შედარებითი სიმშვიდის" უბნებად და 2) პირობისათვის, რომლის მიხედვით საკონტაქტო ზედაპირზე "სიმშვიდის რკალი" არ არსებობს. ორივე შემთხვევისათვის მიღებულია განტოლებები Δh , h_0 და h -ის გაანგარიშებისათვის, რის საფუძველზეც დამუშავებულია ვაკუუმის შექმნის პროცესის სრულყოფისათვის საკონტაქტო ზედაპირის გრძივი არხების ოპტიმალური კონსტრუქცია და განსაზღვრულია მათი საწყისი აუცილებელი მოცულობის მნიშვნელობა.

6. დამუშავებულია რგოლური ჭვრიტედან ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმის (კერძო შემთხვევაში დგუშისეული სივრცის) მოცულობასთან დამაკავშირებელ ნახვრეტში სითხის უწყვეტ ნაკადად გადადინების გაანგარიშების მეთოდის, რომელიც უზრუნველყოფს თანაბარი და საჭირო ვაკუუმის სიდიდის ფორმირებასა და შენარჩუნებას, რომელიც მისაღებია ნებისმიერი დიამეტრის ამძრავისათვის, ლენტის ნებისმიერი სიჩქარისათვის, ტემპერატურული რეჟიმისა და ვაკუუმის საჭირო სიდიდის გათვალისწინებით.

7. ფიზიკური და კომპიუტერული მოდელების საშუალებით ვაკუუმ-ამძრავების ვაკუუმს დაქვემდებარებული მოხახუნე ზედაპირების მაკროსიმქისეების, ლოკალურ რეზერვუარებსა და კაპილარებში სითხის მოძრაობის თეორიულად და ექსპერიმენტულად შესწავლის საფუძველზე დადგენილია ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირებისა და ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმების (ვაკუუმ-არხების და მათი ურთიერთდამაკავშირებელი კვანძებისა და ნახვრეტების, ცილინდრ-დგუშების და მუშტა მექანიზმების და ა.შ.) ოპტიმალური პარამეტრები.

8. ჩატარებული კვლევითი სამუშაოების შედეგებით დამუშავდა ტექნიკური მოთხოვნები ვაკუუმ-ამძრავების ყველა ტექნოლოგიური რგოლისათვის, რომელმაც გვიჩვენა, რომ თანაბარი და აუცილებელი ვაკუუმის ფორმირება დამოკიდებულია არა მხოლოდ საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციისა და ვაკუუმის შემქნელი მექანიზმების შესაძლო ამოტუმბვის სისწრაფეზე, არამედ მათი შემაერთებელი ნახვრეტების (რეციპიენტების) გამტარობის უნარზეც.

ბ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ უ ლ ო ლ ო ტ ე რ ა ტ უ რ ა

1. Андреев А.В. Передача трением М. «Машиностроение», 1978-176 с.
2. Ампилогова Н.В. Обоснование эксплуатационных свойств и разработка высококомодульных лент для конвейеров горной промышленности. Автореф. докт. диссерт. Москва 1996 – 28 с.
3. Агушев В.А. и др. «Приводной барабан для ленточных конвейеров.» Авт. св. СССР от 05.10.59 г. № 132536 – Бюл. Изобр. №19, 1960 г.
4. Борохович А.И., Пискун И.А. «Экспериментальные исследования ленточного конвейера на воздушной подушке». – Известия высших учебных заведений. Горный журнал №5, 1983 г., с.61-64
5. Васильев К.А. «Вакуум-приводы ленточных конвейеров». ЦНИИЭИ тяжмаш, 1980г. №38 – 50 с.
6. Васильев К.А. «Приводные вакуум-барабаны для ленточных конвейеров». ЦНИИЭИ тяжмаш, 1980г. №15 – 12-14 с.
7. Васильев К.А. «Ленточный конвейер 1КЛВ-800 с приводным вакуум-барабаном». ЦНИИЭИ тяжмаш, 1981г., №16 – 14-16 с.
8. Васильев К.А. Использование приводных вакуум-барабанов для увеличения тяговой способности однобарабанных приводов ленточных конвейеров. Научно-технический Журнал министерство станкостроительной и инструментальной промышленности СССР «Механизация и автоматизация производство». изд. «Машиностроение» №4, 1980 – (29-31) с.
9. Васильев К.А., Кирпичев А.К. приводной барабан ленточного конвейера. Авт. СССР №457644, бюлл. изобретений №3, 1975.
10. Васильев К.А., Кирпичев А. «Приводной вакуум-барабан для ленточного конвейера» СССР №475232. Б.И. №24, 1975.
11. Васильев К.А., Кирпичев А. «Приводной вакуум-барабан для ленточного конвейера» А. С. СССР №543572, Б.И. №3, 1977.
12. Васильев К.А., Кирпичев А. «Приводная станция ленточного конвейера» А. С. СССР №581030, Б.И. №43, 1977.
13. Васильев К.А., Кирпичев А. «Приводной вакуум-барабан ленточного конвейера» СССР №823238 Б.И. №15, 1981.

14. Васильев К.А., Юнгмейстер Д.А. «Приводной вакуум-барабан для ленточного конвейера» А.С. СССР №973450 Б.И. №42, 1982.
15. Васильев К.А., Юнгмейстер Д.А. «Промежуточный вакуум-привод ленточного конвейера» Авт. свид СССР №1104 070. бюлл. изобр. 1984.
16. Васильев К.А., Юнгмейстер Д.А. «Промежуточный вакуум-привод ленточного конвейера» А.С. 1027 108 бюлл. изобр. №25. 1983.
17. Васильев К.А., Журавлев Б.П. Тяговая способность вакуум-приводов ленточных конвейеров с пазми-каналами в рабочей поверхности исполнительных органовю – Известия ВУЗОВю Горный журнал №07, 1988 – с 80-84.
18. Васильев К.А. Юнгмейстер Д.А. Оценка тяговой способности и эффективныи применения протезуточного вакуум-привода для многоприводных ленточных конвейеров – известия ВУЗОВ. Горный журнал. №7, 1984 – с. 61-65.
19. Васильев К.А., Журавлев Б.П. Методика определения параметров поверхности приводных вакуум-барабанов ленточных конвейеров. Записки ЛГИ – 1981. – т 88, - с. 49-54.
20. Васильев К.А., Юнгмейстер Д.А. Проблема создания многоприводных ленточных конвейеров с промежуточными вакуум-приводами. Записки ЛГИ – 1981 – т88 – с 55-62.
21. Во-Куанг-Фьен. «Повышение тяговой способности ленточных конвейеров за счёт применения приводного вакуум-барабана с перфорированной поверхностью вакуумного отсоса». Автореф. канд. диссерт. Ленинград, 1973г. – 22с.
22. Волчек И.Б. «Экспериментальные и теоретические исследования приводов ленточных конвейеров с вакуумным прижатием ленты». Автореф. канд. диссерт. Ленинград, 1970. -19 с.
23. Волчек И.Б. «Приводы ленточных конвейеров с вакуумными барабанами». НИИИНФОРМтяжмаш, 1972г. №20 – 22 с.
24. Волчек И.Б. «Приводы для конвейеров большой протяжённости». Труды ВНИИТП, вып-35. Под редакц. В.А.Грачёва.Л.: «Энергия», 1975. – 70—73 с.
25. Волчек И.Б. «Приводной барабан ленточного конвейера» А.С. СССР №320424 б.и. №34, 1972.
26. Волчек И.Б. Смирнов С.Л. «Приводной барабан ленточного конвейера» А.С. СССР №447330 б.и. №39, 1975.
27. Волчек И.Б. «Приводной барабан денточного конвейера» А.С. СССР №477074 б.и. №26, 1975.

28. Волчек И.Б. «Приводной барабан денточного конвейера» А.С. СССР №502805 б.и. №13, 1977.
29. Волчек И.Б. «Приводной барабан денточного конвейера» А.С. СССР №562468 б.и. №23, 1977.
30. Волчек И.Б. Грачев В.А. «Приводной барабан» А.С. СССР №580153. б.и. №42, 1977.
31. Волчек И.Б. Сур Н.Г. «Приводной барабан денточного конвейера» А.С. СССР №613971 б.и. №25, 1978.
32. Волчек И.Б. «Приводы денточных конвейеров с вакуумными барабанами». (НИИИНФОРМТЯЖМАШ)» 1972, №20 (6-72-20) 22 с.
33. Гаркунов Д.Н. Трибоника – М. Машиностроение, 1985, - 424 с.
34. Дьячков В.К. «Ленточные конвейеры большой протяженности – Подъемно-транспортное оборудование М. ЦНИИЕЭИ тяжмаш, 1984, вып.1. 45 с.
35. Дьячков В.К. «Особенности проектирования ленточных конвейеров за рубежом Обзор - М. ЦНИИЕЭИ тяжмаш, 1986 – 48 с.
36. Дьячков В.К. «Современные конструкции узлов ленточных конвейеров. Подъемно-транспортное оборудование (НИИинформ тяжмаш), 1978, №34. 50 с.
37. Дьячков В.К., Жариков В.С. «Приводные устройства ленточных конвейеров – Подъемнотрансп. оборудование (НИИинформ тяжмаш), 1972, №29-30 с.
38. Дьячков В.К., «Приводы мощных ленточных конвейеров – Промышленный транспорт» №7, 1984. с. 14-16.
39. Евневич А.В. Транспортные машины и комплексы М. «Недра», 1975 – 415 с.
40. Ермаков Ю.Г. «Приводной вакуум-барабан для ленточного конвейера» Авт. Свид. СССР №655614 бюл. изобр. №13, 1979.
41. Жариков В.С. Лягушев Г.С. «Испитание пневмокамерного привода ленточного конвейера на модели М. НИИИнформтяжмаш, 6-77-12, - 13-16 с.
42. Зеленский А.В., Петров А.С. Справочник по проектированию ленточных конвейеров – М. Недра, 1980-223 с.
43. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения справочное пособие М. 1962, 220 с.
44. Крагельский И.В. и др. Основы расчётов на трение и износ. М. «Машиностроение», 1977.
45. Камке Э. Справочник по обикнавенным Дифференциальным уравнениям. Перевод с немецкого С.В. Фомина. Издание 2-е, м.1961.

46. Котяшев А.А. Каледин А.В. Применение ленточных крутонакдщнных конвейеров для транспортирования горной массы. Научно-технический и производственный журнал «Горный журнал» №5, 1990, м.: «Недра» (61-63) с.
47. Коваль П.В. Гидропривод горных машин изд. : «Недра» м. 1967 – 387 с.
48. Костерин Л.С., Дмитриин В.П. квыбору состава смазочно-охлаждающей среды для конвейера со скальзящей лентой – Известия ВУЗ ов, «Горный журнал» №11, 1986-с. 52-54.
49. Коган И.Я. «Ленточные конвейеры и их применение в годротехническом строительстве» м. «Машгиз» 1953, 240 с.
50. Кречнев Э.Г. «Привод ленточного конвейере с гидравлическим прижимным устройством. Научные сообщения 85. м. 1971.
51. Лягушев Г.С. Примкнкние пневмокамерных устройств для ленточных конвейеров. М.: НИИИнформтяжмаш, 6-77-12, 9-13 с.
52. Лунев Г.Г. Приводной ленточного конвейера. Авт. Свид. СССР №543573 бюлл. Изобр. №3, 1977.
53. Лузин Н.Н. Дифференциальное исчисление» издание пятое. Советская наука. м. 1955.
54. Мур Д. Трение и смазка эластомеров США, 1972 пер сангл. Канд. Хим. Наук. Г.И.
55. Мур. Д. Основы и применения трибоники. Пер. С англис. Канд. Физ. Наук. С.А. Харлиамова . М. «МИР» 1978 – 488 с.
56. Макаров Э.С. Савенко В.М. Приводной вакуум-барабан ленточного конвейера. Авт. Свид. №967896 бюлл. Икобр. №39, 1982.
57. Морев В.Я. и др. Приводной барабан ленточного конвейера Авт. Свид. СССР № 753 727 бюлл. Изобр. №29, 1980.
58. Морев В.Я. и др. Приводной барабан ленточного конвейере Авт. Свид. СССР № 725 965 бюлл. Изобр. №13, 1980.
59. Монастирский В.Ф. Разработка методов и средств управлкния надежностью мощных ленточных конвейеров. автореф. Докт. Диссукт. Днепропетровск, 1991, 33 с.
60. Молодини Н.Ш. Разработка вакуум – барабана с автономными вакуумными механизмами для приводов рудничных ленточных конвейеров. Дисс. На соиск. Уч. Степ. Канд. Тех. Наук. Тбилиси 1980г. 177с.
61. Молодини Н.Ш. Приводной барабан ленточного конвейера. Авт. Свид. СССР №543574, бюлл. Изобретении №3, 1977.
62. Мухелишвили В.Л. Кутателадзе А.А. Молодини Н.Ш. Привод ленточного конвейера. Авт. Свид. СССР №676 506. бюл. Изобретении №28, 1979.

63. Молодини Н.Ш. Лештаева Е.Н. оценка качества однобарабанных приводов ленточных конвейеров труды ГПИ, №2 (259), 1983, 38-42 с.
64. Молодини Р.Н. Характеристика контактных поверхностей вакуум-приводов как ленточного подшипника «GEORGIAN ENGINEERING NEWZ» №1, 2004, с122-125.
65. ვ. მუსხელიშვილი, ნ. მოლოდინი, რ. მოლოდინი. კონვეირების ამძრავების წვეთითი თვისებების ანალიზი. სამთო ჟურნალი №2, 1998, გვ. 20-21.
66. რ. მოლოდინი. ლენტური კონვეირების ვაკუუმური ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევა. ნაშრომი მაგისტრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად, თბილისი 2000, 80 გვ.
67. ვ. მუსხელიშვილი, რ. მოლოდინი, ნ. მოლოდინი, ლენტური კონვეირის ვაკუუმ-ამძრავების კლასიფიკაცია და ანალიზი. სამთო ჟურნალი №1-2 (10-11), 2003, გვ. 36-39.
68. ვ. მუსხელიშვილი, რ. მოლოდინი, ნ. მოლოდინი. ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციები. სამთო ჟურნალი №1 (12), 2004. გვ. 21-23.
69. ნ. მოლოდინი, რ. მოლოდინი. ჰიდრაგლიკურ რეკიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლის ლენტთან საკონტაქტო ჯვრიტებში სითხის შრის სისქის განსაზღვრისათვის. სამთო ჟურნალი №2 (15), 2005, გვ. 60-62.
70. Начала магнитного транспорта. Под общ. Ред. Проф. В.Г. Гейера, М. «Недре» 1966, 174 с.
71. Осипов А.Ф. – Объемные гидравлические машины изд. «Машиностроение», М. 1966, 160 с.
72. Петров О.П. Исследование взаимодействия конвейерной ленты с двухбарабанным приводом ленточного конвейера. Автореф. Кандидат. Диссерт. Тула-1975.
73. Проблемы совершенствования технологических схем и средств рудничного транспорта. Ответств. Редакт. Чл. Корр. А.В. Спивоковский издат. «НАУКА» М. 1967г. 240 с.
74. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: Учебник для вузов.- М. Высш. Школа, 1982, 207 с.
75. Рождественская Л.А. Ленточные конвейеры повышенной производительности – НИИИинформтяжмаш, 1978, №35, - 48 с.
76. Справочник по триботехнике под общ. Ред. М.Хебды, А.В. Чичинадзе В. 3т. Т.1 Теоретические основы – М.: Машиностроение, 1989 – 400 с.
77. Смирнов В.К. Научное обоснование методов расчёта мощных ленточных конвейеров Авторы. Докт. Диссерт. Днепропетровск -1979 32 с.
78. Смирнов В.К Стаховский Е.А. Тяговая способность привода денточного конвейера. Вопросы рудничного транспорта №13 КИЕВ. 1974, с. 119-140.

79. Спиваковский А.О. Дьяков В.А. состояние и направления развития конвейерного транспорта на карьерах. (Промышленный транспорт №10, 1984г. с. 4-6.
80. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровтнский, В.Д.Зозуля, Э.Д. Браун, Киев: Наука дунка, 1979. 188 с.
81. Титов А.М. Пути повышения тяговой способности и прочности барабанов ленточных конвейеров, Автореф. Диссерт. Харьков-1985. 24 с.
82. Трение и износ в вакууме М. «Машиностроение» 1973 Авт.: Крагельский И.В. И.В. и др. 216 с.
83. Трение. Изнашивание и смазка: справочник в 2-х кн. Под. Ред. И.В.Крагельского, В.В. Алисина – М. Машиностроение 1978-Кн. 1. 400 с.
84. Трение. Изнашивание и смазка: справочник в 2-х кн. Под. Ред. И.В.Крагельского, В.В. Алисина – М. Машиностроение 1979-Кн. 2. 358 с.
85. Транспорт на горных предприятиях. Под общей ред. Проф. Б.А. Кузнецова. Изд. 2-е. М. «Недра». 1976, с. 552. Авт.: Б.Д.Кузнецова, А.А. Ренгевич, и др.
86. Чиряев И.В. и др. Приводной Вакуум-барабан Авт. Свидет. СССР, №781 130 бюлл. Изобретений №43, 1980.
87. Чугреев Л.И.. Усупов С.С. Тяговой усилие при переменном коэффициенте трения между лентой и барабаном ленточного конвейера известия ВУЗОВ «Горный журнал» №7. 1990, с. 72-75.
88. Шахmeister Л.Г., Дмитриев В.Г. Расчёт ленточных конвейеров для шахт и карьеров м.: 1972, 298 с.
89. Шахmeister Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчёт ленточных конвейеров – М. Машинастроение, 1978. – 392 с.
90. Штокман И.Г. Основные итоги и направления работ кафедры горнозаводского транспорта Донецкого политехнического института в области создания магнитных транспортных установок. – Транспорт шахт и карьеров. М., 1971, с. 96-100.
91. Штокман И.Г. Основные задачи и направления развития в ВУЗ-фх науки о транспорте угольных шахт в десятой пятилетке. Извест. ВУЗ. Горный журнал №7, 1976, с.82-87
92. Шахmeister Л.Г., Солод Г.И. – Подземные конвейерные установки М., «Недра» 1976, 432 с.
93. Юнгmeister Д.А. Исследование промежуточного вакуум-привода и разработка его конструкции для многоприборного ленточного конвейера, Автореф. Канд. Диссерт. Ленинград 1984г. 19 с.