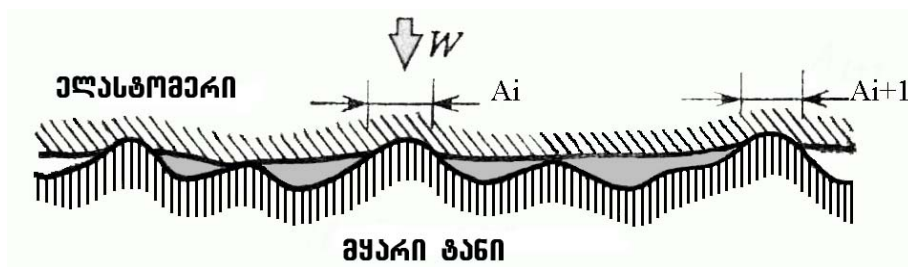


ნორინგ მოლოდინი, რევაზ მოლოდინი

ტრიბოლოგიის ზოგადი კურსი



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნორინგ მოლოდინი, რევაზ მოლოდინი

ტრიბოლოგიის ზოგადი კურსი



დამტკიცებულია სალექციო კურსად
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს
მიერ. 28.02.2018, ოქმი №1

თბილისი
2018

სალექციო კურსში განხილულია ტრიბონიკის ექსპერიმენტული მეთოდის, საკონტაქტო ზედაპირების ტოპოგრაფიის და ხახუნის თეორიის ზოგადი საკითხები: პრაქტიკული ამოცანების, გარეგანი და შინაგანი (მართვადი ადჰეზიური და კოჰეზიური) ხახუნით ტვირთის სატრანსპორტო სისტემებით ტრანსპორტირებისა და საკონვეიერო ამძრავების დაპროექტების ტექნოლოგიური პროცესები.

მოცემულია ცნობები გამაუსშოებელი (ვაკუუმის შემქმნელი) მექანიზმების კონსტრუქციების, ამასთანავე, ერთმანეთის მიმართ მოძრავი ხახუნის კვანძების საკონტაქტო ზედაპირების რგოლური ჭვრიტეების დაკავშირების, შეზეთვის და ვაკუუმში ხახუნის მეცნიერულად ახსნილი პროცესებით, დასახული მიზნების შესაბამისად, ხახუნის ძალებზე გავლენის უხელსაყრელესი პირობების მიღების, მათი გადაწყვეტისა და შენარჩუნების გზების შესახებ.

ნაშრომი განკუთვნილია მექანიკის შემსწავლელი სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი ირაკლი გუჯაბიძე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი, გეოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი ნოდარ ფოფორაძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2018

ISBN 978-9941-28-410-6 (PDF)

<http://www.gtu.ge>

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

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.



შინაარსი

შ ე ს ა გ ა ლ ი	5
1. ხახუნის ამძრავების ტრიბოლოგიის ასპექტები	9
1.1. ზოგადი მიმოხილვა.....	10
1.1.1. უწყვეტი რეჟიმის ტრანსპორტის გამოყენების არეალი.....	16
1.1.2. გარეგანი ხახუნის შესწავლის (საფუძვლები) ისტორია.....	20
1.1.3. ლენტური კონვეიერების ამძრავების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების ზოგადი ანალიზი.....	20
1.2. ლენტური კონვეიერების ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციული სქემების კლასიფიკაცია და ანალიზი.....	25
2. ვაკუუმ-ამძრავის ავტონომიურ ვაკუუმურმექანიზმებიანი (აჰმ) ვაკუუმ-დოლის კონსტრუქციული სქემების დამუშავება და კვლევა	38
2.1. ტექნიკური მოთხოვნები ვაკუუმ-ამძრავების მიმართ.....	38
2.2. აჰმ ტიპის ვაკუუმ-ამძრავი საკონტაქტო ზედაპირიდან სითხის ცენტრალური გაწოვით.....	41
2.3. ვაკუუმ-დოლის წვევის ფაქტორზე მუშა განივი კილოების მდებარეობის გავლენის ანალიზური განსაზღვრა.....	46
2.4. ამძრავი ვაკუუმდოლის ვაკუუმური მექანიზმების ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრების გაანგარიშება.....	56
2.5. ვაკუუმდოლის ვაკუუმმექანიზმების ამძრავი მრუდწირული მიმმართველების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა.....	59
2.6. ლენტური კონვეიერების ვაკუუმდოლების საიმედოობის ანალიზი.....	63
3. საკონვეიერო ამძრავების მოხახუნე ზედაპირების მაკროსიმქისისა და ლენტთან საკონტაქტო ზედაპირის რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირებისადმი მიძღვნილი სამუშაოების ანალიზი	69
3.1. ზედაპირების ტექსტურის შესწავლის მეთოდები და პარამეტრები.....	69
3.2. ვაკუუმამძრავების ხახუნის კვანძების საკონტაქტო ზედაპირების დახასიათება.....	71
3.3. ვაკუუმური ამძრავების დოლების, რგოლურ ჭვრიტეში საკონტაქტო ზედაპირების დახასიათება.....	74
3.4. საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირებისადმი მიძღვნილი სამუშაოების ანალიზი.....	80
3.5. ვაკუუმ-ამძრავი როგორც ლენტური საკისარი.....	84

3.6. ავმ ვაკუუმამძრავის ხახუნის კვანძების კონსტრუქციული დამუშავება ლაბორატორიაში სტენდური შესწავლისა და სამრეწველო გამოცდისათვის	87
3.6.1. ხახუნის კვანძების გამოსაცდელი სტენდის მოწყობილობა.....	87
3.6.2. ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდიკა და სამზომი აპარატურა	95
4. ვაკუუმამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის დამუშავება და თეორიული გამოკვლევა.....	100
4.1. ტექნიკური მოთხოვნები საკონტაქტო ზედაპირის მიმართ.....	100
4.2. ვაკუუმამძრავის ახალი ტიპის საკონტაქტო ზედაპირი და მისი დახასიათება 102	
4.3. ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმდოლის ლენტთან საკონტაქტო ჭვრიტეში სითხის შრის სისქის განსაზღვრა.....	104
4.4. ვაკუუმდოლის რგოლური ჭვრიტის დგუშისეულ სივრცესთან შემაერთებელ ნახვრეტში სითხის უწყვეტ ნაკადად გადინების კვლევა.....	111
5. თეორიული, ექსპერიმენტული და კომპიუტერული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი.....	121
5.1. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი....	121
5.2. კომპიუტერული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი	123
გამოყენებული ლიტერატურა.....	128

შ ე ს ა გ ა ლ ი

თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარების ტემპები მოითხოვს წარმოების შესაბამის მანქანა-მექანიზმებს, მათ შორის სატრანსპორტო საშუალებებს. სახალხო მეურნეობის მრავალ დარგში, ანალოგიურად სამთო საწარმოებშიც დიდნაკადური საცალო, ფხვიერ-ნატეხოვანი და წვრილმარცვლოვანი ტვირთების ერთ-ერთი პერსპექტიული და პოპულარული, უწყვეტი მოქმედების სატრანსპორტო საშუალებაა ლენტური კონვეიერები. გარეგან ხახუნს ყურადღება მიექცა წარმოების მარტივი იარაღების შექმნის დროიდან. ეს იქნებოდა ცეცხლის მოპოვების, მშენებლობის თუ ხაფანგების დაგების სხვადასხვა მეთოდები. წარმოების იარაღების თანდათანობითი სრულყოფა, თავის მხრივ, დღის წესრიგში აყენებდა მოხახუნე ზედაპირების თეორიული და პრაქტიკული საკითხების (შეზეთვა, ცვეთა და ა.შ.) კვლევა-შესწავლას. ასე შეიქმნა მეცნიერება - **ტრიბოლოგია (ტრიბონიკა, ტრიბოტექნიკა, ტრიბომექანიკა, ტრიბოფიზიკა, ტრიბოქიმია და ა.შ.[1])**. დადგენილია, რომ მსოფლიოს ენერგეტიკული რესურსების ერთი მესამედიდან ნახევრამდე ამა თუ იმ ფორმით იხარჯება ხახუნზე, ამიტომ სახალხო მეურნეობის ნებისმიერ დარგში **ტრიბოლოგიის საკითხების** შესწავლა ძალიან მნიშვნელოვანია. საერთაშორისო უერთნაღის "ვეარ"-ის ყოფილი რედაქტორი, დოქტორი **სალომონი** ამტკიცებს: "ტრიბონიკა არის ხელოვნებისა და აზროვნების სახეობა: მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა სფეროს სპეციალისტთა მოქნილი კოოპერაციისადმი ინტელექტური მიდგომა. ეს ოპერაციების ანალიზის გამოყენების ხელოვნებაა უდიდესი ეკონომიკური მნიშვნელობის ამოცანების გადაწყვეტისათვის, სახელდობრ, კოსმოსური ხომალდებიდან საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებამდე გამოყენებული ტექნიკური მოწყობილობების საიმედოობაზე, ექსპლოატაციასა და ცვეთაზე" [2]. ტრიბოლოგიის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა ხახუნის ძალების რეგულირება, რომელიც უნდა იყოს მინიმალური (მაგალითად, მიმყოფ მექანიზმებში) ან მაქსიმალური (მაგალითად, ამძრავებში, სადაც დაუშვებელია ბუქსაობა).

პირველი, ვინც დაამუშავა ძირითადი მეცნიერული დებულებები ხახუნის შესახებ, იყო **ლეონარდო და ვინჩი (1452-1519)**. მის შემდეგ ფრანგმა სწავლულმა **გიომონ ამონტონმა (1663-1705)** დიდძალი ექსპერიმენტული მასალის საფუძველზე ჩამოაყალიბა ხახუნის ცნობილი თეორიები. **შარლ ოგიუსტენ კულონმა (1736-1806)** შეისწავლა სრიალის ხახუნი და ამონტონის კანონი მათემატიკურად აღწერა. კულონის გამოკვლევები ხახუნის დარგში ფუნდამენტური მნიშვნელობისაა. კვლევებში გათვალისწინებული იყო მასალის თვისებები, სრიალის სიჩქარე, საკონტაქტო ზედაპირის ფართობი და მისი დამუშავების ხარისხი, აგრეთვე მშრალი და სველი ხახუნი. **კულონმა ასევე მისცა განმარტება სტატიკურ და კინეტიკურ ხახუნს**. მე-18 საუკუნეში მექანიკოსმა **მ. პარენტმა** გამოაქვეყნა დახრილ სიბრტყეზე სრიალის ხახუნის კვლევის შედეგები, ხოლო მისმა თანამედროვემ **მკვლევარ-მეცნიერმა ბერანრდ ფორესტ დე ბელიდორმა (1698-1761)**

პირველმა დაასკვნა, რომ მყარი ტანის რაგინდ დამუშავებული ზედაპირი, მაინც მქისეა (ხორკლიანია) და შედგება ნახევარსფერული პიკებისა და ღრმულების სიმრავლისაგან.

შევიცარიელმა მათემატიკოსმა **ლეონარდ ეილერმა** (1707-1783) მე-18 საუკუნის სამოციან წლებში ჩაატარა ზუსტი ანალიზების სერია **ამონტონის, პარენტისა და ბელიდორის** შედეგების ახსნის მიზნით. მან მიიღო მათემატიკური გამოსახულება, მოქნილი ძაფის ამძრავ ბლოკზე (წვევის) ხახუნის ძალის განსაზღვრისათვის. შემდგომში კვლევებით: **სარდიმ (1919წ.), ბირიმ, ფრანკ ფილიპ ბოუდენმა (1903-1968), ემილ იულიუს გუმბელმა (1891-1966წ.)**, ასევე თანამედროვე მეცნიერ - მკვლევარებმა: **ი.ვ. კრაგელსკიმ, გრინგუდმა, ვილიამსონმა, ხანტმა, რაბინოვიჩმა, კურტელმა, ფრეიტაგომ** და სხვებმა დაადასტურეს ადრეული კლასიკური თეორიის ვარგისიანობა ხახუნის პროცესის ყველა მომენტის განხილვისთვის და დააზუსტეს მრავალი კონკრეტული დეტალი და შემთხვევა. მაგალითად, **ეილერის** კვლევები, თუ მივიღებთ, რომ მოქნილი ძაფის დრეკადი სრიალის სიჩქარე ამძრავი ბლოკის მიმართ მაქსიმალურია, სამართლიანია ყველა ჩვეულებრივი ტიპის ხახუნის ამძრავი მექანიზმისათვის, (ე.ი. სწრაფობის წერტილში საწვეი ორგანოს დაჭიმულობა მაქსიმალურია, ხოლო საწვეი ორგანოს ამძრავზე მოვლების გეომეტრიული კუთხე - **α_გ** და დრეკადი სრიალის კუთხე - **α_{დ.ს.}** დაახლოებით ერთმანეთის ტოლია). თანამედროვე შეხედულებები ხახუნის ბუნებაზე დაიხვეწა და დაზუსტდა მეორე მსოფლიო ომის შემდგომ პერიოდში, რაშიც კვლევების მიმართულებებითა და მიღებული შედეგებით მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს **გრინგუდმა, ვილიამსონმა, ბოუდენმა, ტეიბორმა, კრაგელსკიმ, ჭიჭინაძემ** და სხვ.

ხახუნის ამძრავი მექანიზმების შექმნასა და სრულყოფას ორ ასეულ წელზე მეტი ხნის ისტორია აქვს. თეორიული და ინჟინრული გაანგარიშებითა და კონსტრუქციულ გადაწყვეტილებათა სისრულეში მოყვანით დაინტერესებული იყო მრავალი მკვლევარი, კონსტრუქტორი, გამომგონებელი, პრაქტიკოსი. ამ სფეროს ფუნდამენტურ მკვლევართა რიცხვს ეკუთვნიან: **ლ. ეილერი, მ. კრეტცი, მ. ურაზბაევი, გრაზგოფი, ნ. პეტროვი, ნ. ჟუკოვსკი, ო. კამმერი, ა.იბერი**. მრავალი კვლევები აქვთ ჩატარებული: **ა. სპივაკოვსკის, გ.სოლოდს, ვანდრეევს, ნ. ბილიჩენკოს, ვ. დიმიტრიევს, მ. კოტოვს, ბ. კუზნეცოვს, ნ. პოლიაკოვს, ლ. შახმეისტერს, ი.შტოკმანს** და სხვ.

ლენტური კონვეიერების მუშაობის პრაქტიკული მაგალითები კი გვიჩვენებს, რომ ამძრავის წვევის ფაქტორი ($e^{\mu\alpha}$) არასტაბილურია, რაც გამოწვეულია დროში საკონტაქტო ზედაპირებისათვის რეოლოგიური და სხვა მრავალი გაუთვალისწინებელი პირობის ცვლილებით. ეს მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს კონვეიერის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე. ამძრავთა მუშაობის სრულყოფისათვის წლების მანძილზე იხვეწებოდა მისი პარამეტრების მასტაბილიზებელი 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 ამოუწურავია სტაბილური წვევის ფაქტორის მიღებამდე, როგორც მე-20 საუკუნის ბოლო წლების შრომებიც გვიჩვენებს [87], მისი გადაწყვეტის გზები მრავალნაირია, რომელთაგან ერთ-ერთი პერსპექტიული მიმართულებაა ვაკუუმ-ამძრავების გამოყენება (**ხახუნი ვაკუუმში**). ამ ამძრავების კვლევებისას [22, 21, 60, 93], სხვა სპეციალური და ჩვეულებრივი ამძრავებისაგან განსხვავებით, მიღებულია წვევის ძალებისა და წვევითი ფაქტორის მიღებისა და მისი შენარჩუნების სრულიად დამაკმაყოფილებელი შედეგები. შედეგების სამართლიანობა დასტურდება ხახუნის კლასიკური თეორიითაც [82]. მაგალითად, ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში ნებისმიერი სითხის (ზეთისაც კი) მოხვედრა [22, 60] იწვევს მშრალ ხახუნთან შედარებით წვევის ძალების გაზრდას და, მაშასადამე, სხვა ამძრავებთან შედარებით ვაკუუმ-ამძრავით მომუშავე ლენტური კონვეიერის ეკონომიურობის გარანტია, გაცილებით მაღალია. ზემოთ მოყვანილი ფაქტების მიხედვით ვთვლით, რომ ლენტური კონვეიერების ერთ-ერთი პერსპექტიულია ვაკუუმური ამძრავი, რომლის მოქმედების პრინციპი შეიძლება საფუძვლად დაედოთ, როგორც დოლური ტიპის, ასევე რგოლურად შეკრულ სათავის, კულის და შუალედურ წრფივ საწვევორგანოებიან ამძრავებს.

სამუშაოს მიზანია ვაკუუმ-ამძრავის რეციპიენტებისა და საკონტაქტო ზედაპირის ისეთი კონსტრუქციის შექმნა, რომელიც ლენტის ქვეშ, რგოლურ ჭვრიტეში მაქსიმალური და თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის ფორმირებას და რეგულირებას უზრუნველყოფს. ეს სრულიად მისაღებია სამთო საწარმოების რეალური (სველი ხახუნის) პირობებისათვის.

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

მეცნიერული დებულებები:

ა) ავტონომიური ვაკუუმური მექანიზმების მოქმედების სისწრაფე განისაზღვრება საკონტაქტო ზედაპირის დეჰუმისეულ სივრცესთან შემაერთებელი ნახვრეტის გეომეტრიული და დროის ერთეულში მასში გადინებული სითხის ჰიდროდინამიკური პარამეტრებით;

ბ) ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე მყისური, თანაბრად განაწილებული და აუცილებელი სიდიდის ვაკუუმის შექმნის პროცესი მნიშვნელოვნად მარტივდება და სრულყოფილი ხდება, რგოლურ ჭვრიტესა და დეჰუმისეულ სივრცეში წვეთოვანი სითხის იძულებითი შეყვანით და შემდგომში მისი უწყვეტ ნაკადად გაწოვით;

გ) ამძრავის მუშაობის უხელსაყრელესი რეჟიმები, რომლის დროსაც მნიშვნელოვნად იზრდება ამძრავის წვევის ფაქტორი, არაწრფივ ფუნქციურ დამოკიდებულებაშია

მაკროელასტოჰიდროდინამიკის მართვად პროცესებთან, რომლებიც მხედველობაში მიიღება ვაკუუმ-დოლისა და ლენტურ საკისარს შორის მსგავსებისა და განმასხვავებელი ნიშნების განხილვისას.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულებაა თეორიული (კომპიუტერული) და ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგების გამოყენების შესაძლებლობა, რთულ ჰიდროტექნიკურ პირობებში მომუშავე ლენტური კონვეიერების, ხახუნის ამძრავი მექანიზმების წევითი თვისებების ასამაღლებლად; ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე (რგოლურ ჭვრიტეში) თანაბრად განაწილებული და საკმარისი ($0,95 \cdot 10^5$ პა) ვაკუუმის მიღების შემოთავაზებული მეთოდის (ხერხის) პრაქტიკული რეალიზაციის შესაძლებლობა, ლენტური კონვეიერის ვაკუუმ-ამძრავების (წვევის ფაქტორის) მუშაობის ეფექტურობის ამაღლება. თავის მხრივ, სტაბილური და მაღალი წვევის ფაქტორი ამცირებს მოთხოვნას მაღალი სიმტკიცის ლენტების საჭიროებაზე (განსაკუთრებით ჰორიზონტალური და მცირედ დახრილი დანადგარებისათვის). ამის შედეგად ქვეითდება დგარის ლითონ-ტევალობა, იზრდება დანადგარის სამსახურის ვადა და მატერიალური დანახარჯების მაქსიმალურად შემცირების საფუძველზე კიდევ უფრო ეფექტური ხდება ვაკუუმ ამძრავიანი ლენტური კონვეიერების მუშაობა.

მოპოვებული ლიტერატურული წყაროების მიხედვით დადგინდა, რომ საკონვეიერო ამძრავების კვლევებში **ჩვენს მიერ პირველად იქნა განხილული დოლური ამძრავი, როგორც მძლავრი ლენტური საკისარი**, ხოლო იტერაციის მეთოდებმა საშუალება მოგვცა, შეგვედგინა საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელიც სრულიად მისაღებია ნებისმიერ სამთო-გეოლოგიურ პირობებში მომუშავე საკონვეიერო ვაკუუმ-ამძრავებისათვის.

ამძრავების გაანგარიშების შემოთავაზებული მეთოდოლოგია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს არა მხოლოდ ვაკუუმ-ამძრავებში, არამედ რთულ ჰიდროტექნიკურ პირობებში მომუშავე ნებისმიერი ამძრავისთვისაც.

1. ხახუნის ამძრავების ტრიბოლოგიის ასპექტები

ლენტური კონვეიერის მაღალი წვეისფაქტორიანი ამძრავების შექმნა დაკავშირებულია ერთმანეთის მიმართ მიმოდრავი ზედაპირების ურთიერთქმედების მეცნიერული და ტექნიკური საკითხების შესწავლასთან და ტრიბოლოგიის ძირითადი ამოცანაა, რომლის შესწავლაც მოითხოვს მრავალი დისციპლინის ღრმა ცოდნას. **ფიზიკა, ქიმია, მათემატიკა, მექანიკა, თერმოდინამიკა, მასალათამცოდნეობა, რეოლოგია, შეზეთვა, დრეკადობა, ბლანტ-დრეკადობა, დრეკადჰიდროდინამიკური შეზეთვა, თბოგადაცემა და ა.შ.** – აი, არასრული ნუსხა იმ დარგებისა, რომელიც საჭიროა რთული და ურთიერთდამოკიდებული სფეროს მანქანათა საიმედოობისა და ურთიერთის მიმართ მიმოდრავი შემადგენელი კვანძების (მაგ. ამძრავი დოლისა და საკონვეიერო ლენტის საკონტაქტო ზედაპირების რგოლური ჭვრიტე; ვაკუუმ-მექანიზმის ცილინდრ-დგუშები; ლენტის საყრდენი მოწყობილობები და ა.შ.) ხარისხიანი დაპროექტებისა და გაანგარიშებისას. თანამედროვე პირობებში მანქანა-მექანიზმების მოძრავი ნაწილების ხახუნისა და ცვეთის რეგულირების საკითხებს ეთმობა გაზრდილი ყურადღება, რადგან ურთიერთის მიმართ მიმოდრავი წვეილის არარეგულირებადი ხახუნის ძალები იწვევს საკონტაქტო ზედაპირების ნაადრევ დაზიანებას და მათი აღდგენის სამუშაოებზე გაუმართლებლად დიდ ხარჯებს. **წინამდებარე ნაშრომი (ლექციების კურსი) მნიშვნელოვან დამხმარებას გაუწევს სპეციალისტებს ლენტური კონვეიერების ამძრავებისა და მათი ურთიერთმიმართმოძრავი შერწყმული კვანძების ხახუნის ძალების რეგულირებისა და შესაბამისად მანქანა-მექანიზმების დეტალებისა და კვანძების ცვეთის შემცირებაში.**

ვითვალისწინებთ რა ვაკუუმში ხახუნის პროცესს, ვაკუუმური მექანიზმების დაპროექტებისას, კონვეიერის ამძრავის ამუშავებისთანავე ვაზუსტებთ ვაკუუმის წყაროს ძირითადი კვანძების (ჩვენს შემთხვევაში ცილინდრ-დგუშების მუშა მოცულობები, რგოლურ ჭვრიტესთან მათი შემაერთებელი რეციპიენტები – ნახვრეტები და დგუშების მაძრავი მოწყობილობები) მოძრაობის მიმართულებას და პარამეტრების სიდიდეთა ცვლილების დიაპაზონს. შესაბამისად ამძრავის რგოლურ ჭვრიტეში ზუსტდება ვაკუუმის ქვეზონების კუთხური სიხშირე და მათში მოსალოდნელი ჩაჭიდების კოეფიციენტი, გაუხშობის მნიშვნელობისა და ხახუნის აუცილებელი სახეობის (მშრალი, ზღვრული ან სველი) შექმნის შესაძლებლობების დადგენა. აღნიშნულის გათვალისწინებით თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებისას აღმოჩნდა, რომ საკონვეიერო ლენტის არა აუცილებელი, მაგრამ მაქსიმალური და საკმარისი საწყისი დაჭიმულობა ვაკუუმ-დოლების შემთხვევისას განისაზღვრება გამოსახულებით $S_f = pRB$ ან $2pRB$; ასეთი ამძრავი ხასიათდება საკუთარი წვეის ფაქტორით, რომელიც იანგარიშება შემდეგნაირად:

ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წვეის ფაქტორი, როდესაც ვაკუუმი იქმნება – S_{β} -დან $S_{\beta\gamma}$ -კენ

$$\frac{S_{\beta\gamma}}{pRB} = \left(e^{\mu\alpha} - \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\delta}} \right) \sum_{k=1}^{n_0} e^{-\mu(\beta+\delta)(k-1)}$$

როდესაც ვაკუუმი იქმნება $S_{\beta\gamma}$ -დან S_{β} -კენ

$$\frac{F^I}{P^I} = \left(e^{\mu\alpha} - \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\delta}} \right) \sum_{k=n}^1 e^{-\mu[\alpha_0+(\beta+\delta)(k-1)]}$$

თითოეული პარამეტრის გაანგარიშების მეთოდოლოგია მოცემულია თემატიკის მიხედვით შესაბამის თავებში.

ცხრილი 1.1.

N°	μ	$\mu \cdot \alpha = 3,14$	$e^{\mu\alpha}$	N°	μ	$\mu \cdot \alpha = 3,14$	$e^{\mu\alpha}$
1	0,2	0,628	1,87	8	0,9	2,826	16,733
2	0,3	0,942	2,558	9	1,0	3,14	22,88
3	0,4	1,256	3,498	10	1,1	3,454	31,295
4	0,5	1,57	4,784	11	1,2	3,768	42,798
5	0,6	1,884	6,542	12	1,3	4,082	58,53
6	0,7	2,198	8,947	13	1,4	4,396	80,045
7	0,8	2,512	12,235	14	1,5	4,71	

1.1. ზოგადი მიმოხილვა

სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი არის მუდმივ გაუმჯობესებაში მყოფი მაღალმწარმოებლური ტექნოლოგიური პროცესისა და წარმოების იარაღების კომპლექსის გეგმიანი გამოყენება. მისი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი რგოლია სატრანსპორტო მანქანა, რომლის სრულყოფილ ტექნოლოგიურ ფუნქციებზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული საწარმოს ეკონომიკა.

მრეწველობისა და მეურნეობის განვითარებისა და მომსახურების სფეროს სრულყოფისათვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს არსებული სატრანსპორტო საშუალებების ოპტიმალურ და მიზანსწრაფულ გამოყენებას, რისთვისაც საჭიროა მათი რეკონსტრუქცია და სრულყოფა, ცხოვრებითა და კონკრეტული პირობებით წარმოქმნილი 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 მიზეზებისა და გაუმჯობესების მიმართულებათა ღრმად შესწავლა-ანალიზი.

მრეწველობისა და მეურნეობის მრავალ დარგში დიდნაკადური ტვირთების გადაზიდვის ერთ-ერთი პერსპექტიული სატრანსპორტო დანადგარია ლენტური კონვეიერი. მათი დაპროექტების, სრულყოფისა და წარმოების (მშენებლობის) პრობლემებზე მუშაობს სხვადასხვა ქვეყნის მრავალი ფირმა და საწარმო [46, 34, 35, 36]. დაპროექტებისას დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს კონვეიერის გამოყენების არეს (პირობებს) და გადასაზიდი ტვირთების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. მათი გათვალისწინებით უნდა მოხდეს საკონვეიერო დანადგარის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა, სადაც გათვალისწინებული უნდა იქნეს ყველა ის ძირითადი მონაცემი, რომელიც საჭირო იქნება გაანგარიშებისა და მთლიანად პროექტის მკაფიოდ ჩამოყალიბებისათვის.

ლენტური კონვეიერის ამძრავის ძირითადი მაჩვენებელია მაღალი წვეის ფაქტორი, საკონტაქტო ზედაპრების მაღალი საქსპლუატაციო პარამეტრები, სამსახურის ვადა და ა.შ.

ცნობილია, რომ ლენტური კონვეიერის მაქსიმალური სიგრძე დამოკიდებულია ამძრავის ტიპზე (წვეის ფაქტორზე), ლენტის სიმტკიცეზე, მის საწყის დაჭიმულობაზე, ტვირთის სატრანსპორტო ტრასის პროფილსა და საჭირო სიმძლავრეზე. ამასთანავე მითითებულია [35, 36], რომ ყველაზე მტკიცე რეზინ-გვარლიანი ლენტის სიმტკიცის ზღვარი, ჩვეულებრივ, $6000 \div 6300$ დკნ/სმ ფარგლებშია. მისი შემდგომი გაზრდა კი ეკონომიკური და ტექნიკური თვალსაზრისით მიზანშეუწონელია. უფრო მტკიცე ლენტების წარმოებისას იზრდება მისი მასა და ღირებულება, ლენტის შეპირაპირების სიგრძე, დოლის დიამეტრი, რედუქტორის მგრეხი მომენტი, დგარის გაბარიტული ზომები და ლითონტევადობა და კონვეიერის სხვა მრავალი პარამეტრი [34].

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

ლაიპციგის გამოფენა-ბაზრობაზე 1977წ წარმოდგენილი იყო გერმანული ფირმა “ტაკრაფ“-ის დამზადებული 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 ფირმა “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 შედგებოდა 6,8-დან 11,7 კმ-მდე სიგრძის თერთმეტი კონვეიერისაგან 10 მლნ ტ/წმ მწარმოებლობით. პორტში კონვეიერის განტვირთვის პუნქტი, საკონვეიერო სისტემის დატვირთვის პუნქტთან შედარებით, 213 მ-ით დაბლა მდებარეობდა. მთელ ტრასას ემსახურებოდა 51 ბაზისური ამძრავი მექანიზმი, თითოეული სიმძლავრით 378 კვტ. ჯამური სიმძლავრე შეადგენდა 19278 კვტ-ს, ენერჯის ხარჯვის კოეფიციენტი - 0,0001 კვტ.სთ/ტმ; სათავისა და კუდის ამძრავები აღჭურვილი იყო (საკუთარი) დამოუკიდებელი დამჭიმი მოწყობილობებით. ლენტის სიჩქარე იყო 4,5 მ/წმ და საბადოდან პორტამდე ტვირთი ჩადიოდა 6,18 სთ-ში [34].

საკონვეიერო ტრანსპორტის განვითარებაში მნიშვნელოვანი ნაბიჯია დიდი ბრიტანეთის შახტა „სელბი“-ს დახრილ ჭაურში 1984-85წწ. ერთდგარიანი 14930 მ სიგრძისა და $D=2,674$ მ დიამეტრის ერთამძრავლოიანი ნახშირშიდი კონვეიერი “სტარატკლაიდის” (დიდი ბრიტანეთი) და „რეალიზაციონ დე ექვიფმენტს ინდუსტრიის“ ექსპლუატაციაში შეყვანა (პროექტი დაამუშავა ფირმა „ანდერსონმა“ საფრანგეთი). ამძრავი განლაგებულია შახტის ზედაპირზე და მოძრაობაში მოდის 2×5050 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 სიმაღლეა 1000 მ, მწარმოებლობა 3200 ტ/სთ. გამოყენებულია ლენტი ST-7100, რომლის მუშაუნარიანობა გათვლილია 15 წელზე, ხოლო მთლიანად კონვეიერისა – 30 წელზე. ლენტის სიგანეა 1,3 მ; მაქსიმალური სიჩქარე – 8,4 მ/წმ, აწევის ენერჯის ხარჯვის კოეფიციენტი – 0,00021 კვტ.სთ/ტ.მ [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 ტვირთნაკადის სიდიდის მიხედვით [34].

მოყვანილი ტექნიკური მაჩვენებლები სახასიათოა და მინიმალურად ასახავს დანარჩენი გრძელდგარიანი ლენტური კონვეიერების მრავალსახა პარამეტრებს, რომელთაგან ბევრი ამაჟამად მოქმედებს მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში.

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

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

ხახუნის მეცნიერული საფუძვლების ფუძემდებლებად და ადრეული თეორიის შემქმნელად ითვლებიან: ლეონარდო და ვინჩი, ამონტონი, კულონი, დე ლია გირი, ტომლინსონი, პარენტი, ბელიდორი და ლეონარდ ეილერი. ამ უკანასკნელმა წინამორბედთა კვლევის შედეგების ახსნისათვის შეასრულა ზუსტი ანალიზის სერია, რითაც მიიღო ამძრავი მექანიზმებით (დოლით, ბორბლით) მწვევ ორგანოზე (ბაგირზე, ლენტზე) ხახუნის ძალის მათემატიკური გამოსახულება. ამ კვლევარების შემდეგ 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 სიჩქარესა და კუთრ წნევას, რაც სრულფასოვნადაა წარმოდგენილია შრომებში [54, 55, 43, 76, 82, 83, 84].

ლითონის, ელასტომერებისა და სხვა საკომპოზიციო მასალების ხახუნის ბუნების თანამედროვე შეხედულებები ჩამოყალიბდა მთელი რიგი (მრავალი) დეტალური კვლევის საფუძველზე, რომელთა ავტორებიც არიან: კრაგელსკი, ჭიჭინაძე, გრინგუდი, ვილიამსონი, ხანტი, ბოუდენი, ტეიბორი, რაბინოვიჩი, კურტელი, ფრეიტაგო, არიანო, დერე, როტი, ტირიონი, შალამახი, ბარტენევი, რატნერი, გროში, დერიაგინი და სხვ. მათ კვლევებში ყურადღება გამახვილებულია ფაქტობრივი საკონტაქტო ფართობისა და შემზეთი ადსორბირებული შრის სისქის განსაზღვრაზე. ამჟამად ცნობილია რამდენიმე

თვალსაზრისი გარეგანი ხახუნის ბუნებაზე და მისი განმარტებისათვის შემოტანილია ცნებები: მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთგადაფარვის კოეფიციენტი [43] (ა. ჭიჭინაძის მიერ), ხახუნის ორმაგი ბუნება (მოლეკულურ-მექანიკური), საკონტაქტო ზედაპირებს შორის მესამე – ხახუნის შრე; პლასტიკური, დრეკადი და დრეკად-პლასტიკური დეფორმაცია; ადგეზიური, კოგეზიური, სიმშვიდის, სრიალისა და გორვის, სველი, ზღვრული და მშრალი ხახუნის, ჰისტერეზისის, მოლეკულური (შედუღების) ბოგირაკების, მყარი ფაზის წაკვეთის, ზედაპირზე კავშირების მიმართული რეკომბინაციისა [44] და სხვ. შესახებ. ამგვარად, ხახუნი დისიპაციური პროცესია, რომელიც შესაბამისად აისახება წინააღობების გადალახვასა და საკონტაქტო ზედაპირების ფორმის ცვლილებებში და დამოკიდებულია მრავალ რეოლოგიურ ფაქტორზე, ამიტომ ხშირად ავტორთა კვლევის შედეგები ერთმანეთს სრულად არ ემთხვევა და იწვევს პოლემიკას. 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 ნაჭდევიანი რეზინით ამოგების მიუხედავად) ხახუნის კოეფიციენტი მცირდება 0,7-დან 0,46-მდე, ხოლო თუ საკონტაქტო ზედაპირები ამავდროულად სველდება და კალიუმის მარილების ან თიხის შემცველი ხსნარით ჭუჭყიანდება, მაშინ ხახუნის კოეფიციენტი 0,7-დან 0,11-მდე და უფრო მეტადაც [35]. ხახუნის კოეფიციენტის ფუნდამენტურ კვლევებში [43] აღნიშნულია, რომ დაშვებები ლაბორატორიული ექსპერიმენტების დროს, რომელიც ითვალისწინებს მხოლოდ მოხახუნე სხეულების ბუნების გავლენას ხახუნის კოეფიციენტის სიდიდეზე, არასაკმარისია და უფრო მეტად დამოკიდებულია მოგვიანებით და თანამედროვე კვლევებში მოყვანილ 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 ეჭიდება-დუღდება და ერთიმეორის მიმართ გადაადგილებისას მნიშვნელოვნად ზიანდება. ზოგჯერ ამ მოვლენას „სუფთა ხახუნს“ უწოდებენ თუმცა, მისი გარეგან 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 აჩვენა, რომ ვაკუუმში ხახუნი არ არის პრინციპულად ახალი პროცესი. ის ემორჩილება იმავე ზოგად კანონზომიერებებს, რასაც ატმოსფერულ პირობებში. კერძოდ, ვაკუუმში ხახუნისათვის სრულიად მიზანშეწონილია ხახუნის მოლეკულურ-მექანიკური თეორია. ასევე მითითებულია, რომ ვაკუუმში ხახუნის ადგეზიური

მდგენელი გაცილებით მაღალია, ვიდრე ჰაერის გარემოში, შესაბამისად, დიდი უნდა იყოს ხახუნის კოეფიციენტიც [82].

ეს ნაშრომი წარმოადგენს ლენტური კონვეიერების ვაკუუმური ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევის მიზნით ჩატარებულ სამუშაოს, რომელიც ძირითადად ემყარება (სველი ხახუნის პირობებში) ამძრავის მოხახუნე ზედაპირების (ვაკუუმ-დოლი, საკონვეიერო ლენტი) სტანდარტულ პარამეტრებს (B, D, v, 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.).

სპეციალური ლიტერატურის 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 რეზინგვარლიანისათვის $m=6,3$ (10); ამძრავი დოლის მაქსიმალური დიამეტრი $D=2,45\div 2,674$ მ; გამოყენებული მაქსიმალურად მტკიცე ლენტის ტიპი (2PTJ-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 მასით 84 და 152,5 დკნ/მ² [34], ხოლო $v=5,2$ მ/წმ სიჩქარისა და $B=2,2$ მ ლენტის სიგანისას ამძრავის მოთხოვნილი (საჭირო) სიმძლავრე შესაბამისად 10 700 და 23 500 კვტ-ის ტოლად. ლენტის სიმტკიცის ეს თეორიული შესაძლებლობები გვაფიქრებინებს, რომ ამძრავის წვეის 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 $v_{\text{მაქ}}=8,4$ მ/წმ, სიმტკიცის ზღვარი გაგლეჯაზე $S_g=7100$ დკნ/სმ (თეორიული 10 000÷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 $N_{\text{დ}}=12 000\div 15 150$ კვტ.

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

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

შემდეგ ამძრავის შერჩევა ხდება ცნობილი წესის მიხედვით [94].

1.1.1. უწყვეტი რეჟიმის ტრანსპორტის გამოყენების არეალი

XIX საუკუნის 90-იან წლებში შემუშავებული იყო სამრეწველო ტრანსპორტის განვითარების გენერალური მიმართულებები [1], რომელებიც დღესაც აქტუალურია. მასში გათვალისწინებული იყო სამთო საწარმოებისათვის უწყვეტი, ციკლური, ციკლურ-ნაკადური მოქმედების ტრანსპორტისა და გარდამავალი სტრუქტურული რგოლების განვითარების კონცეფცია, სადაც ყურადღება ძირითადად გამახვილებული იყო დამუშავების ტექნოლოგიებში ფხვიერ-ნატეხოვანი ტვირთების იმ კონდიციამდე დაყვანაზე, რომელიც ფართო გზას მისცემდა ჰიდრაულიკური, საკონვეიერო, საბაგირო, ახალ სპეციალიზებულ (მაგალითად, პნევმოკონტეინერული [2]) და სხვა, მათ შორის ციკლური მოქმედების ტრანსპორტის მიზნობრივ გამოყენებას. ეს ნიშნავს, რომ ნებისმიერი (საბადოთა შახტური, ღია წესით დამუშავებისა და სხვა მრავალი კონკრეტული შემთხვევებისათვის) ტექნოლოგიური პროცესის შემადგენელი ოპერაციების დალაგება აუცილებლად უნდა მოხდეს იმ რიგით, რომ რაციონალური სატრანსპორტო ტექნიკის გამოყენება დადებითად აისახოს ტვირთის ტრანსპორტირებისა (ტონა კმ-ის ღირებულება) და პროდუქციის საბოლოო თვითღირებულებაზე. მაგალითად, თუ ტვირთების მოპოვებისას მიიღება არაგაბარტივული ტვირთები, რომელებიც აუცილებლად უნდა დაქუცმაცდეს, მაშინ ეს ოპერაცია უნდა შესრულდეს ტრანსპორტირებამდე, რაც განსაზღვრავს ოპტიმალური (მიზნობრივად გამართლებული) სატრანსპორტო საშუალებების შერჩევა-გამოყენების საკითხს. კონცეფციის პროექტში პირდაპირაა მითითებული, რომ საკონვეიერო ტრანსპორტის გამოყენებისას გაზრდილია მოთხოვნა ისეთ ნომენკლატურულ მოწყობილობებზე, როგორებიცაა სამსხვრევ-სახარისხებელი, მკვებავი და ა.შ. აგრეგატები, რომელთა სქემაში ჩართვა, მიუხედავად დამატებით ფინანსური ხარჯებისა, გამართლებულია, ვინაიდან ზრდის დანადგარების მუშაობის საიმედოობას, ხანგამძლეობას და იძლევა მნიშვნელოვან მოგებას (ეკონომიკურ ეფექტს).

მსჯელობის მიზანია, ციკლურთან შედარებით, უწყვეტი მოქმედების ტრანსპორტის გამოყენებით ტვირთბრუნვაში მიღებული დადებითი შედეგების ასახვა და დასაბუთება, რომლის შემდგომი გამოყენება საშუალებას იძლევა, საწარმოები აღიჭურვოს პერსპექტიული სატრანსპორტო სისტემებით. აღსანიშნავია ისიც, რომ ასეთი სატრანსპორტო სისტემების ავტომატიზაციის ხარისხი მაღალია, ხოლო მუშაობა – საიმედო.

საყოველთაოდ ცნობილია პირდაპირპროპორციული ფუნქციური დამოკიდებულება უწყვეტ რეჟიმზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებათა ქვემოთ წარმოდგენილ პარამეტრებს შორის ასეთია

$$Q = f(q, v) , \quad (1.1)$$

სადაც: Q არის უწყვეტი რეჟიმის სატრანსპორტო მანქანის მწარმოებლურობა, ტ/სთ;

q – უწყვეტი რეჟიმის სატრანსპორტო მანქანის გრძივი დატვირთვა, დკნ/მ;

v – ტვირთნაკადის ანუ ტვირთშიდი ორგანოს სიჩქარე, მ/წმ.

შესაბამისად, უწყვეტი რეჟიმის სატრანსპორტო დანადგარის მწარმოებლურობა (ტ/სთ) ტოლი იქნება

$$Q = 3,6 qv, \tag{ 12 }$$

ციკლურ რეჟიმზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებათა წარმოდგენილ პარამეტრებსა და მწარმოებლურობას შორის ფუნქციურ დამოკიდებულებას ექნება შემდეგი სახე:

$$Q = f\left(\frac{G, v}{L}\right)$$

მწარმოებლურობასთან პირდაპირპროპორციულ ფუნქციურ დამოკიდებულებაშია ციკლურ რეჟიმზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებათა პარამეტრები: ტვირთშიდი ჭურჭლის ტვირთამწეობა, (G , დკნ) და ჭურჭლის მოძრაობის სიჩქარე, (v , მ/წმ), ხოლო უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია სატრანსპორტო გზის სიგრძე (L , მ) ანუ ზიდვის მანძილი.

ციკლურ რეჟიმზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებების ერთი სრული ციკლის ხანგრძლივობა ($T = \frac{2L}{v_{საშ}} + \theta$) შედგება მისი დატვირთული (G , დკნ. - სასარგებლო) და ცარიელი (G_0 , დკნ. - უსარგებლო – მკვდარი წონის) სვლისაგან, n -რაოდენობის ჭურჭლების დატვირთვისა, გაცლისა და სამანევრო ოპერაციებისათვის საჭირო დროისაგან (θ , წმ); ამიტომ მიზანშეწონილია, სასარგებლო ტვირთბრუნვის დაზუსტების მიზნით ციკლური რეჟიმის ტრანსპორტის მწარმოებლურობა განვსაზღვროთ როგორც სასარგებლო ტვირთისა და მკვდარი წონის მოძრაობის ცალ-ცალკე გამოთვლილ სიდიდეთა ჯამი.

ამგვარად, მკვდარი წონის ტვირთის მოძრაობის მიხედვით $Q_G = nG_0$, ხოლო სასარგებლო ტვირთის წონის მიხედვით $Q_G = n(G + G_0)$. თუ ციკლების რაოდენობა საათში იქნება $n_G = 3600v_{საშ} / (2L + \theta v_{საშ})$, მაშინ ციკლური რეჟიმის ტრანსპორტის საათობრივი მწარმოებლურობა განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$Q_{სთ} = (Q_G + Q_0)n_G = [n_G G_0 + n(G + G_0)] n_G \tag{ 13 }$$

მასში ზემოთ მოცემული მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$Q_{სთ} = \frac{3,6v_{საშ}nG}{2L + \theta v_{საშ}} + \frac{2 \times 3,6v_{საშ}nG_0}{2L + \theta v_{საშ}}. \tag{ 14 }$$

(14) გამოსახულების პირველი შესაკრები ციკლური რეჟიმის ტრანსპორტის მოძრავი შემადგენლობის სასარგებლო ტვირთის წონაა, ხოლო მეორე შესაკრები – მოძრავი შემადგენლობის (უსარგებლო ანუ მკვდარ წონა), რომელიც მაძრავი მექანიზმისა და ტვირთშიდი ჭურჭლის ჯამური წონაა) ტარის წონა, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ტარის წონითი კოეფიციენტი ($K_ტ$)

$$K_{\delta} = \frac{G_0}{G} \quad \text{ანუ} \quad G_0 = K_{\delta} G, \quad (1.5)$$

გამოსახულება შეიძლება წარმოვადგინოთ (1.6) განტოლების სახით, სადაც უსარგებლო ანუ მკვდარი G_0 წონაც გამოსახული იქნება სასარგებლო ტვირთის G წონისა და ტარის წონით K_{δ} კოეფიციენტის საშუალებით:

$$Q_{\text{სო}} = \frac{3,6v_{\text{საშ}}nG}{2L + \mathcal{F}_{\text{საშ}}} + \frac{2 \times 3,6v_{\text{საშ}}nGK_{\delta}}{2L + \mathcal{F}_{\text{საშ}}}, \quad (1.6)$$

საიდანაც შეიძლება სასარგებლო ტვირთის წონასთან ჯერადული შეფარდებით (1.7) გამოსახულებით განისაზღვროს უსარგებლო, ანუ მკვდარი ტვირთის წონაც:

$$Q_{\text{სო}} = \frac{3,6v_{\text{საშ}}nG}{2L + \mathcal{F}_{\text{საშ}}}(1 + 2K_{\delta}). \quad (1.7)$$

ციკლური რეჟიმის სატრანსპორტო საშუალების სახეობისა და ტარის წონითი კოეფიციენტის ცვალებადობის შესაბამისად მერყეობს მკვდარი ტვირთის წონაც, რომლის განსაზღვრა ასევე ძალიან მარტივია, ჩვენ მიერ შემოთავაზებული მეთოდით, მოცემული კონკრეტული ტარის წონითი კოეფიციენტისათვის (1.7) გამოსახულებისა და საწარმოს მწარმებლურობის საშუალებით.

ხსენებული კონცეფციის პროექტისა და განხილული მასალის მიხედვით შევეცადეთ რეალური სურათი შეგვექმნა ტვიბულის შახტისათვის. შპს “საქნახშირის” (ჯი-აი-ჯი ჯგუფის) წევრებთან ერთად შევისწავლეთ შახტის ძირითადი (სასარგებლო) ტვირთბრუნვის სრული კონვეიერიზაციის საკითხი, რომელიც შპს “საქნახშირის” ადმინისტრაციის მიერ დიდი ხნის წინათაა დაგეგმილი, მაგრამ დღესაც გადაუჭრელი პრობლემაა.

ტვირთგამტარი გვირაბების ნახაზების წინასწარი განხილვისა და პრობლემური უბნების ჩამონათვალის შედგენის შემდეგ შახტის ხელმძღვანელებთან ერთად ადგილზე შევისწავლეთ საკითხის ყველა წვრილმანი, რომელიც შემდეგ განხილულ იქნა შპს “საქნახშირის” (ჯი-აი-ჯი ჯგუფის) პერსპექტიული განვითარების საბჭოს სხდომაზე.

ჩვენი აზრით, გვირაბების მინიმალური გაწმენდითი და მცირე სარეკონსტრუქციო სამუშაოების შესრულების შემდეგ, +582 ჰორიზონტის ტვირთგამტარი შტოლნისა და +275 ჰორიზონტის აღმოსავლეთის საველე შტრეკის სრული კონვეიერიზაცია შესაძლებელი იქნება: ა) შტოლნაში ერთი საკონვეიერო დგარით (დგარის სიგრძით ≈ 3000 მ) ძირითადი ტვირთების ზიდვა ბრმა ჭაურის მიმღები ბუნკერიდან ზედაპირამდე (საკონვეიერო ამძრავი განთავსდება დღისეულ (ნულოვან დონეზე) ზედაპირზე წიაღისეულის მიმღები ბუნკერის მახლობლად); ბ) +275 ჰორიზონტის აღმოსავლეთის საველე შტრეკში №9 შუროდან ცენტრალურ კვერშლაგამდე და შემდგომში სკიპის სატვირთავ მიმღებ ბუნკერამდე სპეციალური პროექტის შედგენის შემდეგ, ასევე ერთდგარიანი კონვეიერის საშუალებით. ყოველივე ამის მიღწევა შესაძლებელია მაღალი საკუთარი წვეისფაქტორიანი საკონვეიერო ვაკუუმური ამძრავით ლენტის საწყისი დაჭიმულობის შემცირების ხარჯზე და ტვიბულის

შახტის საზიდ გვირაბებში შესაბამისი ერთდგარიანი ლენტური კონვეიერების განთავსებით. მაღალი და საკუთარი წვეისფაქტორიანი საკონვეიერო ამძრავით [3] ლენტის საწყისი დაჭიმულობის შემცირების ხარჯზე, ვიყენებთ რა ნაკლებად ღირებულ ლენტებს, მიხსლოებით შეიძლება ითქვას, რომ დანადგარის კაპიტალღირებულება და საქსპლუ-ატაციო მომსახურების ხარჯები თითქმის ნახევრდება.

საცნობარო ლიტერატურის [4] მონაცემების მიხედვით, ტარის წონითი კოეფიციენტი $K_{ტ}$ იცვლება: ა) ქვანახშირის მცირე და დიდტვირთულობის ჭურჭლისათვის (ვაგონეტებისათვის) შესაბამისად 0,85-დან - 0,47-მდე; ბ) მადნებში მომუშავე ჭურჭლები-სათვის შესაბამისად 0,75-დან - 0,24-მდე; ავტოტრანსპორტისათვის 1,22-დან - 0,364-მდე.

რაც შეეხება შპს “საქნახშირის” ტვირთგამტარ გვირაბებში, საკონვეიერო ტრანსპორტის დანერგვით მიღებულ ეფექტს ის: შახტის წლიური მწარმოებლურობისა, (1.7) გამოსახულებისა და ტარის წონითი კოეფიციენტის მიხედვით, საორიენტაციოდ მინიმუმ შეიძლება ასე შეფასდეს:

$$1) Q_{წლ}=300\ 000\ \text{ტ/წ}; \quad 2) \text{ შახტის } Q_{წლ}=1\ 000\ 000\ \text{ტ/წ};$$

მკვდარი ტვირთი შეადგენს:

$$1) 300\ 000 \times 0,94 = 282\ 000\ \text{ტ/წ}; \quad 2) 1\ 000\ 000 \times 0,94 = 940\ 000\ \text{ტ/წ}$$

$$300\ 000 \times 1,7 = 510\ 000\ \text{ტ/წ}; \quad 1\ 000\ 000 \times 1,7 = 1\ 700\ 000\ \text{ტ/წ};$$

ღია წესით მოპოვებისას და ავტოტრანსპორტით ზიდვის შემთხვევაში, ანალოგიური მეთოდით შეიძლება მკვდარი ტვირთის წლიური რაოდენობისა და მისი გადაადგილებით გამოწვეული შესაბამისი ზედმეტი წლიური კაპიტალდანახარჯების განსაზღვრა.

$$1) \text{ კარიერის } Q_{წლ} = 300\ 000\ \text{ტ/წ}; \quad 2) \text{ კარიერის } Q_{წლ} = 1\ 000\ 000\ \text{ტ/წ};$$

მკვდარი ტვირთი შეადგენს:

$$1) 300\ 000 \times 0,728 = 218\ 400\ \text{ტ/წ}; \quad 2) 1\ 000\ 000 \times 0,728 = 728\ 000\ \text{ტ/წ};$$

$$300\ 000 \times 2,44 = 732\ 000\ \text{ტ/წ}; \quad 1\ 000\ 000 \times 2,44 = 2\ 440\ 000\ \text{ტ/წ};$$

ეკონომიკური ეფექტის გაანგარიშებისას პროექტის მოწყობილობათა ბაზა იტვირთება საწარმოს კონკრეტული მომარაგების მონაცემთა ღირებულების მიხედვით და ზუსტდება სამუშაოს ტექნოლოგიური პროცესის შემადგენელი ოპერაციების რიგითობის ზუსტად დაცვის შესაბამისად; რიგითობა ზუსტდება და მტკიცდება სათანადო კომპენ-ტენტური ორგანოებისა და პირთა მონაწილეობითა და ხელმოწერით და ჯდება მონაცემთა ბაზაში. ამგვარად, უწყვეტი და ციკლური რეჟიმის სატრანსპორტო მანქანების ძირითადი პარამეტრების გათვალისწინებით უპირატესი სატრანსპორტო საშუალების განსაზღვრის მეთოდის შემუშავებით დადგენილია, რომ ყველა შემთხვევაში, თუ სხვა აუცილებლობა არ არსებობს, ფხვიერ-ნატეხოვანი ტვირთების ყველაზე ხელსაყრელ სატრანსპორტო საშუალებად უნდა ვაღიაროთ ტექნოლოგიური პროცესის შესაბამისი, უწყვეტი რეჟიმით მომუშავეთაგან რომელიმე მათგანი, მაგალითად, ლენტური კონვეიერი, რადგან მაღალმწარმოებლურია და შესაძლებელია ავტომატიზაციის მაღალი ხარისხი.

1.1.2. გარეგანი ხახუნის შესწავლის (საფუძვლები) ისტორია

გარეგანი ხახუნის შესწავლას საფუძველი ჩაეყარა წარმოების მარტივი იარაღების შექმნის დროიდან. წარმოების იარაღების თანდათანობითი დახვეწის აუცილებლობამ კი, თავისი მხრივ, გამოიწვია მოხახუნე ზედაპირების პრაქტიკული საკითხების (შეზეთვა, ცვეთა და ა.შ.) ექსპერიმენტული კვლევა და თეორიული ანალიზი. ასე შეიქმნა **ტრიბოლოგია**. მეცნიერების ამ მიმართულების ერთერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ხახუნის ძალების რეგულირება, - უკიდურესად შემცირება ამყობლ მექანიზმებში ან მაქსიმალურად გაზრდა ამძრავებში, რათა არ დაეუშვათ ბუქსაობა.

პირველი ვინც დაამუშავა ძირითადი მეცნიერული დებულებები ხახუნის შესახებ იყო ლეონარდო და ვინჩი (1452-1519). მის შემდეგ კულონმა (1736-1806) შეისწავლა სრიალის ხახუნი და ამონტონის ექსპერიმენტების შედეგად გაცხადებული კანონი მათემატიკურად აღწერა

$$F=fP \quad (1.8)$$

სადაც F არის ხახუნის ძალა, f - ხახუნის კოეფიციენტი, P - ნორმალური ძალა, კულონის გამოკვლევები ხახუნის დარგში ფუნდამენტალური მნიშვნელობისაა. შვეიცარიელმა მათემატიკოსმა ეილერმა მე-18 საუკუნის სამოციან წლებში ჩაატარა ზუსტი ანალიზების სერიალი ამონტონის, პარენტისა და ბელიდორის შედეგების ახსნის მიზნით. მან მიიღო მათემატიკური გამოსახულება, მოქნილი ძაფის ამძრავ ბლოკზე (წვევის) ხახუნის ძალის განსაზღვრისათვის.

$$S_{სწ} / S_{წ} = e^{\mu\alpha} \quad (1.9)$$

$$\text{საიდანაც} \quad S_{სწ} = S_{წ} \cdot e^{\mu\alpha} \quad (1.10)$$

$$\text{წვევის ძალა} \quad F=S_{სწ} - S_{წ} = S_{წ}(e^{\mu\alpha}-1) \quad (1.11)$$

სადაც $S_{სწ}$ არის მოქნილი ძაფის (ლენტის, ბაგირის) დაჭიმულობა ამძრავზე სწრაფობის წერტილში; $S_{წ}$ - მოქნილი ძაფის დაჭიმულობა ამძრავი ბლოკიდან ჩამოქანების წერტილში; $e=2,71$ - ნეპერის რიცხვი; μ - მოქნილი ძაფის ამძრავი ბლოკის ზედაპირთან ჩაჭიდების კოეფიციენტი;

1.1.3. ლენტური კონვეიერების ამძრავების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების ზოგადი ანალიზი

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

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

ლ. ეილერის კვლევების მიხედვით, ხახუნის ამძრავის წვევის ძალა იანგარიშება (19) ფორმულით და სამართლიანია ყველა ჩვეულებრივი ტიპის ხახუნის ამძრავი მექანიზმისათვის: $F=S_{\text{წ}} - S_{\text{ჩ}} = S_{\text{წ}}(e^{\mu\alpha}-1)$.

სადაც α არის ამძრავ ბლოკზე მოქნილი ძაფის შემოხვევის კუთხე;

μ - მოქნილ ძაფზე ამძრავი ბლოკით განვითარებული ხახუნის ძალა.

შემდგომში ამ გამოსახულებამ გამოყენების სფეროს მიხედვით სხვადასხვანაირი ინტერპრეტაცია განიცადა. როგორც ლენტური კონვეიერების მუშაობის პრაქტიკული მაგალითები გვიჩვენებს, ამძრავის წვევის ფაქტორი ($e^{\mu\alpha}$) არასტაბილურია. ის, დამოკიდებულია დროში საკონტაქტო ზედაპირებისათვის რეოლოგიური და სხვა მრავალი გაუთვალისწინებელი პირობის ცვლილებებზე. აღნიშნული ფაქტი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს კონვეიერის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე. ამძრავების მუშაობის სრულყოფისათვის წლების მანძილზე იხვეწებოდა მისი პარამეტრების მასტაბილიზებელი კვანძები და იქმნებოდა ახალი ტიპის სპეციალური ამძრავები.

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 ამოუწურავია სტაბილური წვევის ფაქტორის მიღებამდე, რასაც მე-20 საუკუნის ბოლო წლების შრომებიც გვიჩვენებს [87]; მისი გადაწყვეტის გზები მრავალნაირია, რომელთაგან ერთ-ერთი პერსპექტიული მიმართულებაა ვაკუუმ-ამძრავების გამოყენება. ამ ამძრავების კვლევებისას [22, 21, 60, 93], სხვა სპეციალური და ჩვეულებრივი ამძრავებისაგან განსხვავებით, მიღებულია წვევის ძალისა და წვევითი ფაქტორის მიღებისა და მისი შენარჩუნების სრულიად დამაკმაყოფილებელი შედეგები. შედეგების სამართლიანობა დასტურდება ხახუნის კლასიკური თეორიითაც [82]. მაგალითად, ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში ნებისმიერი სითხის (ზეთისაც კი) მოხვედრა [22, 60] იწვევს მშრალ ხახუნთან შედარებით წვევის ძალების გაზრდას და, მაშასადამე, ვაკუუმამძრავით მომუშავე ლენტური კონვეიერის ეკონომიკურობის გარანტია, სხვა ამძრავებთან შედარებით, გაცილებით მაღალია. ზემოთ მოყვანილი ფაქტების მიხედვით ვთვლით, რომ ლენტური კონვეიერებიდან ერთ-ერთი პერსპექტიულია ვაკუუმური ამძრავი, რომლის მოქმედების პრინციპი შეიძლება საფუძვლად დაუდოთ, როგორც დოლური ტიპის სათავისა და კუდის, ასევე რგოლურად შეკრულ წრფივ საწვეორგანოებიან შუალედურ ამძრავებსაც. მიუხედავად ამ სფეროში 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 გათვალისწინებულ იქნეს:

ა) რეციპიენტების (ვაკუუმ-არხების) ნახვრეტებამდე დაყვანით და ჰიდროაეროდინამიკის (მაკროელასტოჰიდროდინამიკის) თვალსაზრისით ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების უფრო მეტად (არსებულთან შედარებით) გამარტივება;

ბ) ურთიერთდამოკიდებულების უზრუნველყოფა ამძრავი ვაკუუმ-დოლის კუთხურ სიჩქარესა (ბრუნვის სიხშირესა) და რგოლური ჭვრეტიდან სითხის (წვეთოვანის, გაზისებრის) დრენაჟირების (გაწოვის) სიჩქარეს შორის;

გ) საკონტაქტო ზედაპირების (რგოლურ) ჭვრიტეში მაღალი და თანაბრად განაწილებული გაუხშობების მიღებისა და ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირიდან ლენტის ნარნარად (აგლუჯვის გარეშე) გაყრის (გაცილების) უზრუნველყოფა.

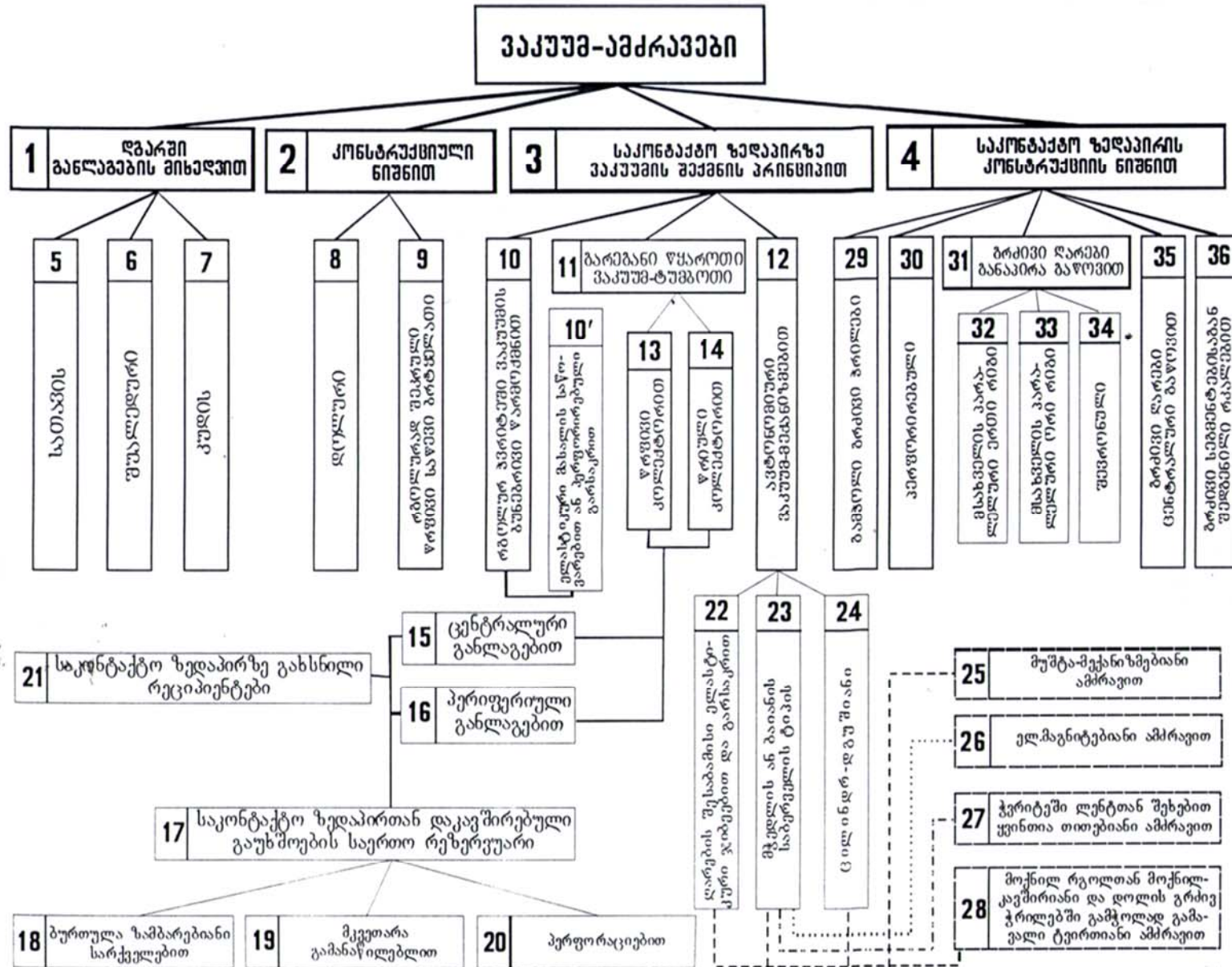
შემდგომში მოგვიანებითი კვლევებით: **ხარდიმ (1919წ.), ბირიმ, ბოუდენმა, გუმბელმა (1925წ), ასევე თანამედროვე მეცნიერ-მკვლევარებმა: ი.გ.კრაგელსკიმ, გრინგუდმა, ვილიამსონმა, ხანტმა, რაბინოვიჩმა, კურტელმა, ფრეიტაგომ** და სხვებმა აჩვენეს ადრეული კლასიკური თეორიის ვარგისიანობა ხახუნის პროცესის ყველა მომენტის განხილვისთვის და ამასთან დაზუსტებულ იქნა მრავალი კონკრეტული დეტალი და შემთხვევა. ასე მაგალითად ეილერის ფორმულა (1.2.) სამართლიანია ყველა ჩვეულებრივი ტიპის ხახუნის ამძრავი მექანიზმისათვის, თუ მივიღებთ, რომ მოქნილი ძაფის დრეკადი სრიალის სიჩქარე ამძრავი ბლოკის მიმართ მაქსიმალურია (ე.ი. სწრაფობის წერტილში საწვეი ორგანოს დაჭიმულობა მაქსიმალურია, ხოლო საწვეი ორგანოს ამძრავზე მოვლების გეომეტრიული კუთხე - $\alpha_{გ}$. და დრეკადი სრიალის კუთხე - $\alpha_{დ.ს.}$ დაახლოებით ერთმანეთის ტოლია, $\alpha_{გ}=\alpha_{დ.ს.}$).

თანამედროვე შეხედულებები ხახუნის ბუნებაზე დაიხვეწა და დაზუსტდა მეორე მსოფლიო ომის შემდგომ პერიოდში. კვლევებში თავიანთი მიმართულებებითა და მიღებული შედეგებით მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს გრინგუდმა, ვილიამსონმა, ბოუდენმა, ტეიბორმა, კრაგელსკიმ, ჭიჭინაძემ და სხვ.

კლასიკური თეორიის შედეგებზე დაყრდნობით შეიქმნა და სამრეწველო გამოცდები გაიარა ხახუნის ამძრავებმა, რომლებშიც ძირითადი ცვლადი სიდიდეა საწვეი ორგანოს (ლენტის) საწვისი დაჭიმულობა - $S_{წ}$ ან ამძრავ დოლზე (დოლებზე) მოქნილი საწვეი ორგანოს შემოხვევის კუთხე ($\alpha \geq 180^\circ \dots 530^\circ$) შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 1.2.

ცხრილი 1.2.

ლენტური კონვეიერის ამძრავების უპირატესი საანგარიშო სქემები					
№	1	2	3	4	5
გრად./რად.	180°/3,14	270°/4,71	420°/7,326	480°/8,373	530°/9,245
μ_α					
0,2	0,628	0,942	1,4652	1,6746	1,849
0,3	0,942	1,413	2,1978	2,5119	2,7735
0,4	1,256	1,884	2,9304	3,3492	3,698
0,5	1,57	2,355	3,663	4,1865	4,225
0,6	1,884	2,826	4,3956	5,0238	5,547
0,7	2,198	3,297	5,1282	5,8611	6,4715
0,8	2,512	3,768	5,8608	6,6984	7,396
0,9	2,826	4,239	6,3954	7,5357	8,3205
1,0	3,14	4,17	7,236	8,373	9,245
წევის ფაქტორი e^{μ_α}					
0,2	1,87	2,558	4,309	5,309	6,317
0,3	2,558	4,09	8,945	12,234	15,88
0,4	3,498	6,542	18,568	28,19	39,91
0,5	4,784	10,463	38,549	64,957	100,32
0,6	6,542	16,733	80,0,13	149,67	252,16
0,7	8,947	26,76	166,094	344,88	633,81
0,8	12,235	42,798	344,78	794,7	1593,09
0,9	16,733	68,447	587,505	1831,16	4004,25
1,0	22,88	109,47	1485,7	4219,4	10064,7



ნახ. 1.1. ვაკუუმ-ამძრავების კლასიფიკაცია

1.2. ლენტური კონვეიერების ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციული სქემების კლასიფიკაცია და ანალიზი

დასახული მიზნის განხორციელებისათვის ჩავატარეთ საპატენტო და ლიტერატურული მოკვლევა ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციების, კონსტრუქციული სქემების, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების სფეროში. მოკვლეული მასალების ანალიზმა აჩვენა, რომ კონკრეტული პირობებისათვის ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირის პარამეტრების დადგენა, ხდებოდა ნახვრეტებში, მილსადენებში, რეციპიენტების ფასონურ ნაწილებსა და რგოლურ ჭვრიტეში სითხის (ჰაერის) დინების წინააღმდეგობის გაუთვალისწინებლად, ხოლო ვაკუუმის ფორმირება საკონტაქტო ზედაპირებს შორის – პირობით რგოლურ ჭვრიტეში განხილვებოდა 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 კრიტერიუმის**, ვაკუუმ-ტუმბოს მოქმედების სისწრაფის, საკონტაქტო რგოლური ჭვრიტის ეფექტური ამოტუმბვისა და რთული ლაბირინთული რეციპიენტების გამტარობის შესახებ. ბუნდოვნადაა წარმოდგენილი კოლექტორების (ურთიერთის მიმართ) მოძრავი ნაწილების ჰერმეტიზაციის ხარისხი, მათი რესურსები და საიმედოობა. ყურადსაღებია კოლექტორიანი ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციების ნაკლები ეფექტურობაც იმ ცნობილი ფაქტის გათვალისწინებით, რომლის მიხედვით, ბლანტ რეჟიმში გაზების (სითხეების) დინებისას, წრიული კვეთის მილსადენებისადმი გამტარობა უკუპროპორციულია მისივე სიგრძისა და გაზის დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტის [22].

ნაირსახეობათაგან ამორჩეული და განხილული რამდენიმე სახასიათო ნიმუშის საშუალებით მოვახდინეთ ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციათა და კონსტრუქციულ სქემათა 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).

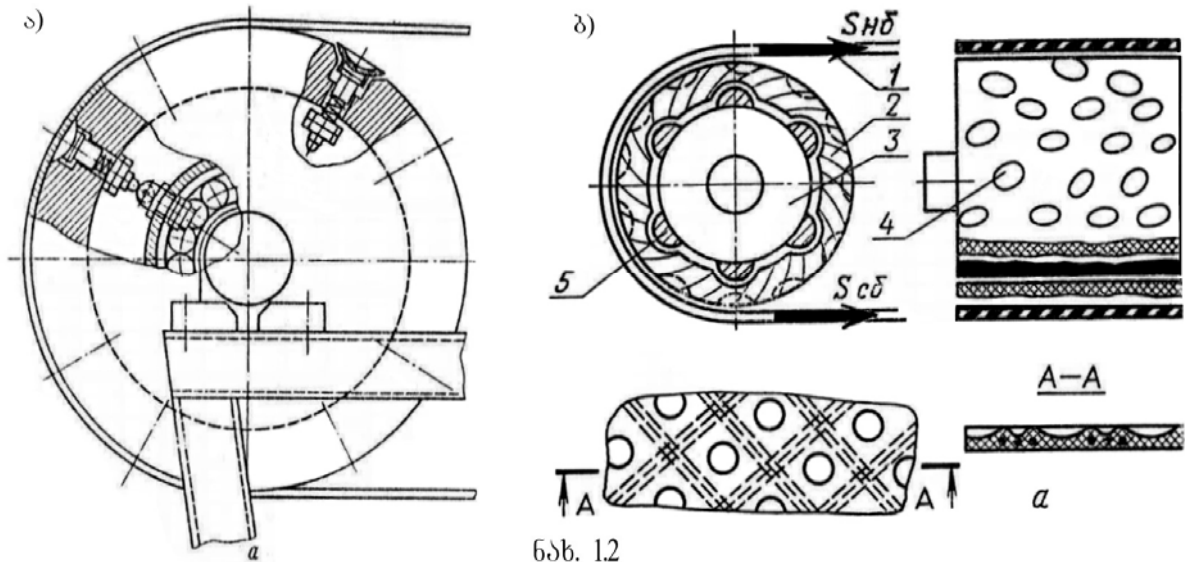
პირველი ნიშნის მიხედვით არსებობს (5) სათავის, (6) შუალედური და (7) – კუდის ამძრავები.

მეორე ნიშნის მიხედვით არსებობს (8) – დოლური [18, 61, 62] და (9) – რგოლურად შეკრული ამძრავები წრფივი საწვეი ბრტყელათი [15, 18].

მიზანშეზონილად მიგვაჩნია, რომ გარდა დოლური ამძრავებისა, სათავისა და კუდის ამძრავებად გამოვიყენოთ რგოლურად შეკრული წრფივი საწვეი ბრტყელათი წარმოდგენილი სრულყოფილი შუალედური ამძრავებიც. ეს საშუალებას მოგვცემს, გამოვიყენოთ ერთი ტიპის ამძრავი მექანიზმები სიგრძეში პრაქტიკულად შეუზღუდავი

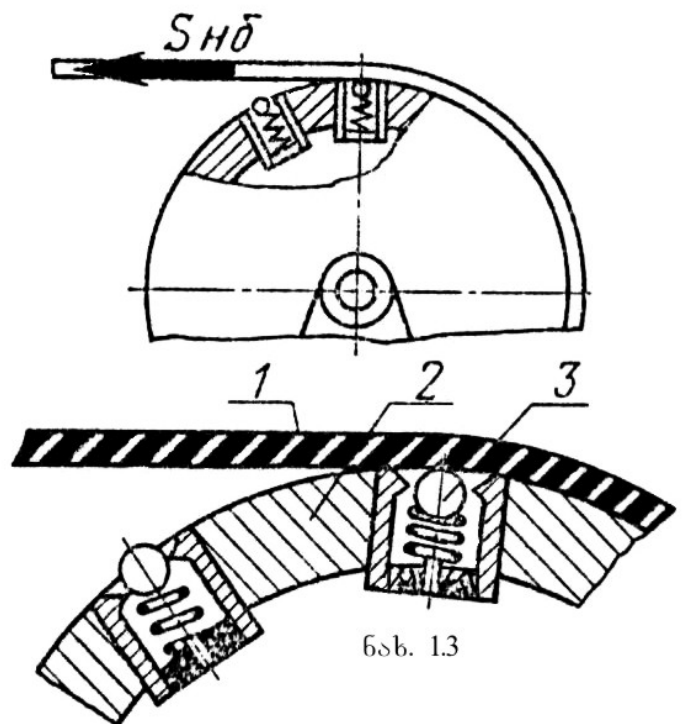
*ნახ.1.1-ზე მითითებულია, კლასიფიკაციის საფეხურის ნომერი 1, 2, 3, ... 36.

კონვეიერის მთელ დგარში. შესაბამისად კონვეიერის მთელი სიმძლავრე თანაბრად განაწილდება დგარის უბნებში, რაც შეამცირებს საკონვეიერო ლენტის საწყის დაჭიმულობას (S_0) და მის საჭირო სიმტკიცეს (S_3). ამძრავების აღნიშნული სახით წარმოდგენა უზრუნველყოფს უნიფიკაციის მაღალ დონეს და უფრო მოხერხებულს გახდის ექსპლუატირებისა და რემონტის პროცესს.



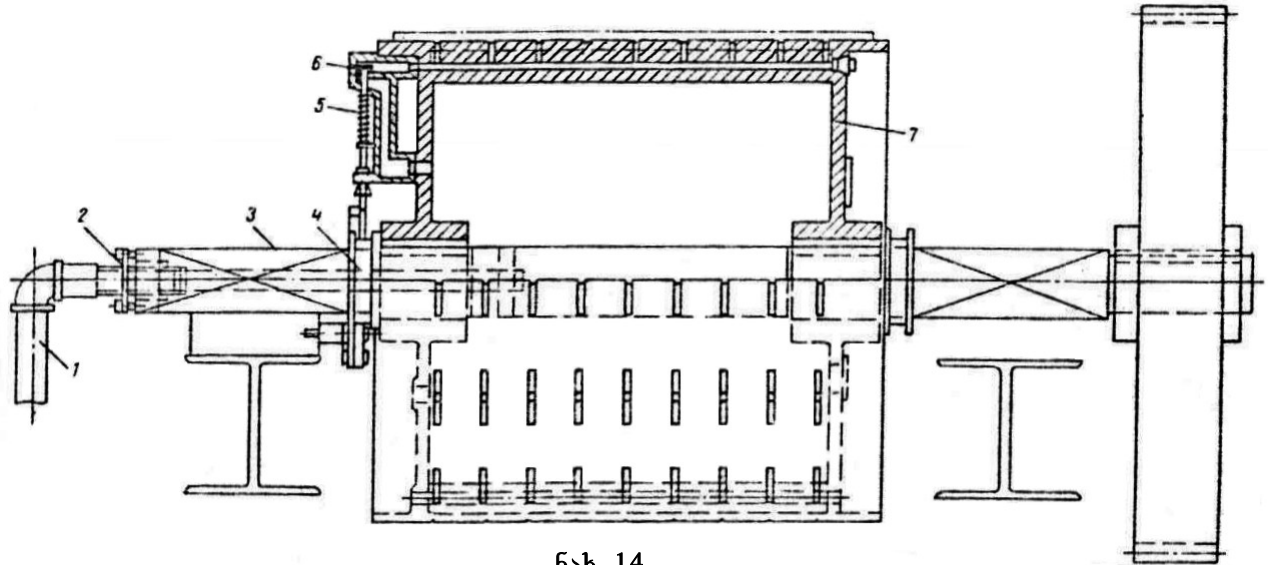
ნახ. 1.2

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 (10'), რომელიც ელასტიკური მასალით ან მისი საწოვარებით ხორციელდება (ნახ.1.2) [52] (ს.მ. 543573), მათივე დაბალი სიმტკიცის გამო არაპრაქტიკულია. (11) – ვაკუუმ-ტუმბოთი და (13) – წრფივი ან (14) – წრიული, (15) – ცენტრალური და თუნდაც (16) – პერიფერიული განლაგების კოლექტორებით გაუხშობის შექმნას (17) – საერთო რეზერვუარში, მისი შემდგომი დაკავშირებით საკონტაქტო ზედაპირთან (18) – ბურთულა-ზამბარული სარქველებით (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,



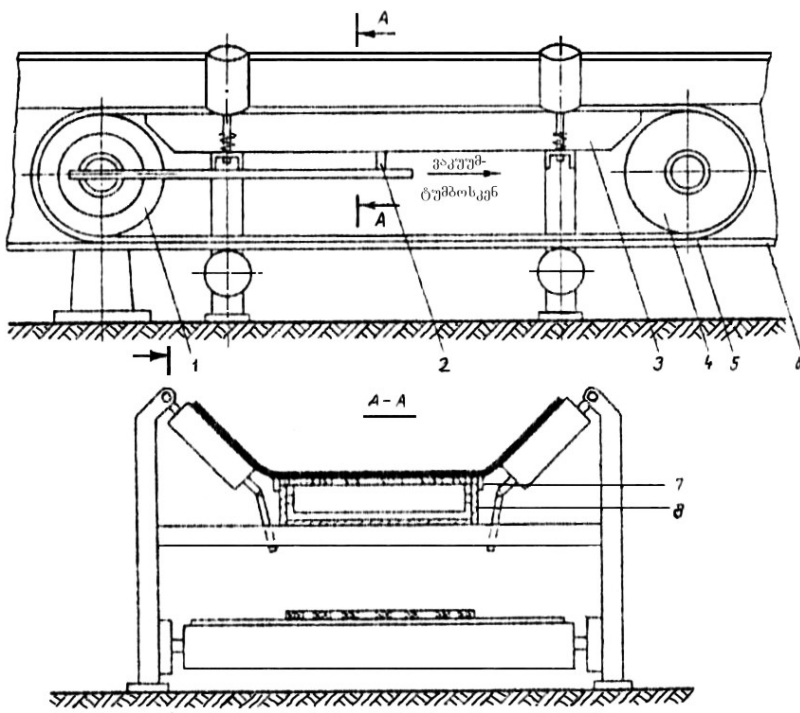
ნახ. 1.3

19 ან 20) მტყუნება (ან ატმოსფეროსთან მოკლედ შერთვა) გამოიწვევს გაუზშობის 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 ჭკრიტეში ვაკუუმის შექმნის (ცხრ. 1.1) მრავალგზის ნაცადი პრაქტიკულად განხორციელებული [7, 8] ხერხებია.



ნახ. 14

ლიტერატურული წყაროებიდან [71, 54, 55] ცნობილია, რომ ბლანტ რეჟიმში გაზების (სითხეების) დინებისას, მრგვალი კვეთის მილსადენების გამტარუნარიანობა უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია მისივე სიგრძისა და გაზის დინამიკური

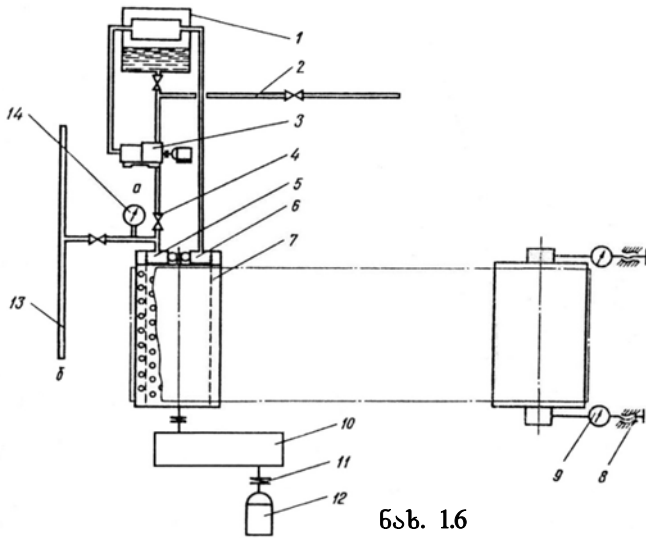


ნახ. 15

სიბლანტის კოეფიციენტისადმი ზემოთ აღნიშნულისა და ვაკუუმ-ამპრაჲი საღეჭურის (ნახ. 1.6) [12] (ს.მ.581030) გარე ქსელის მიხედვით შეიძლება გააკეთდეს დასკვნა ასეთი კოლექტორიანი ამპრაჲების საექსპლუატაციო და სარემონტო ხარჯების ნაკლებად ეკონომიკურობაზე. თუ დოლის რეციპიენტების ლაბირინთებსა (ნახ. 1.7) [11] (ს.მ.543572) და კოლექტორის მოძრაჲი ნაწილების ჰერმეტიზაციის საკითხსაც გაითვალისწინებთ, ნათელი გახდება რთული და

საკმარისად დიდი სიგრძის ვაკუუმ-არხების მცირე (U) გამტარუნარიანობის გამო გამაუზშობელი მექანიზმის მოქმედების სისწრაფისა (S_ჭ) და საკონტაქტო ზედაპირებშორისი

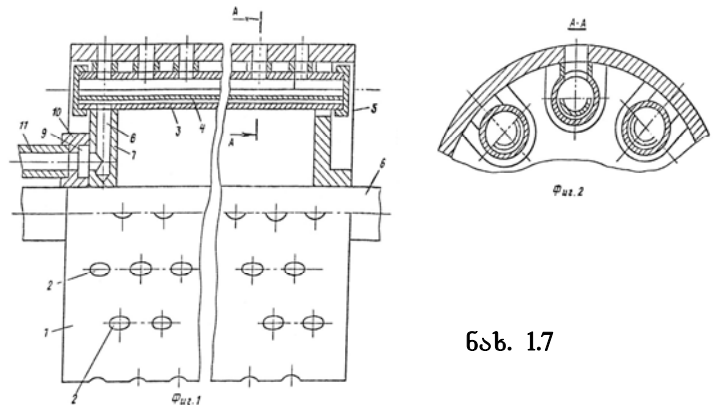
რგოლური ჭვრიტედან სითხის დრენაჟირების (გაწოვის) ანუ ეფექტური ამოტუმბვის სისწრაფის ($S_{ეფ}$) შეუსაბამოდ მცირე მნიშვნელობა ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის ხაზოვან



ნახ. 1.6

ქსელი [12] (ს.მ.581030), კოლექტორის წრფივი ან რგოლური საკანი, ამძრავის ტორსული ბადროს რადიალური ნახვრეტები, დოლის მსახველის პარალელური გრძივი არხები მასში ჩამონტაჟებული გამოსაცვლელი ფილტრებით (ნახ.1.7) [11] (ს.მ.543572) და ბოლოს, რგოლურ ჭვრიტესთან დამაკავშირებელი პერფორაციები ან გრძივი ღარები).

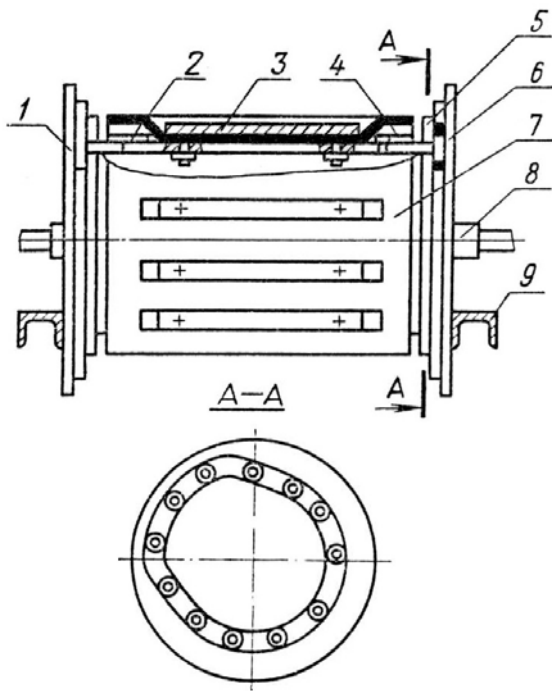
1.1 კრებსითი ცხრილი, რომელშიც წარმოდგენილია საავტორო მოწმობის ან პატენტის ყველა სახასიათო ვარიანტი, მათ შესაბამის გრაფიკულ ნაწილთან ერთად უფრო ნათელს ფენს პრობლემის აქტუალურობას.



ნახ. 1.7

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) ერთრიგად 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) – გრძივღარებიანი ცენტრალური გაწოვის საკონტაქტო ზედაპირები (მაგ. ნახ. 1.15, 1.16) და ბოლოს (36) – გრძივღარებიანი დოლის სეგმენტებისაგან შედგენილი ზედაპირები (იხ. ნახ. 1.10).

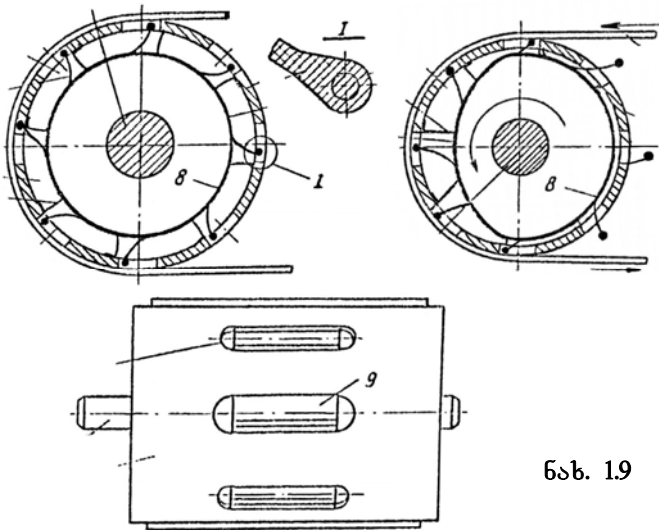
*1.14 ნახაზში – ვინაიდან კოლექტორი ცენტრალური განლაგებისაა, ამიტომ მიიღება ცენტრალური გაწოვის იმიტაცია და განსხვავდება ნახ. 1.11-ზე ნაჩვენები კონსტრუქციისაგან, ვინაიდან ამ კონსტრუქციულ სქემაში კოლექტორები პერიფერიებშია განლაგებული.



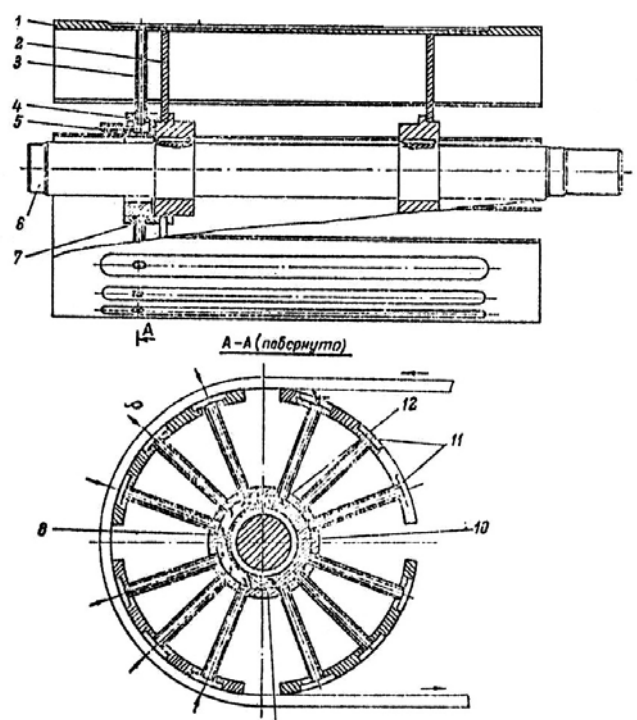
ნახ. 1.8

ბის მეთოდით, ამბრავისა და საკონვეიერო ლენტის ზედაპირების რგოლურ ჭვრიტეში კოლექტორით, მუდმივად ჩართული ვაკუუმ-ტუმბოს მაგალითზე, რაც ნიშნავს ამბრავის ბრუნვის სისშირის გაუთვალისწინებლობას ანუ მყისიერი ვაკუუმის ფორმირების ცნების უხეშ დარღვევას. ეს საკითხი შედარებით კარგადაა წარმოდგენილი საკვალიფიკაციო ნაშრომში [60] სადაც დოლის ბრუნვის სისშირის 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

საკონტაქტო ზედაპირებით შემქმნილ რგოლურ ჭვრიტეში საჭირო და სტაბილური ვაკუუმის მიღების გარანტია, მოძიებული სამეცნიერო-კვლევითი მასალების გათვალისწინებით, განსაკუთრებით კოლექტორიანი ვაკუუმ-ამბრავებისათვის, შეუძლებელია ან ნაკლებად ეფექტური. ეს იმით აიხსნება, რომ (ჰიდრო)აეროდინამიკური წინააღობები ლითონ-ელასტომერს შორის (რგოლურ ჭვრიტეში) გაცილებით დიდია (პლასტიკურობისა და დრეკადი დეფორმაციის გამო), ვიდრე კოლექტორის მოძრავ კვანძებს (ლითონი-ლითონი) შორის. წინა შრომებში [17, 18, 21] საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირების საკითხი შეისწავლებოდა სტატიკაში, ზონდირე-

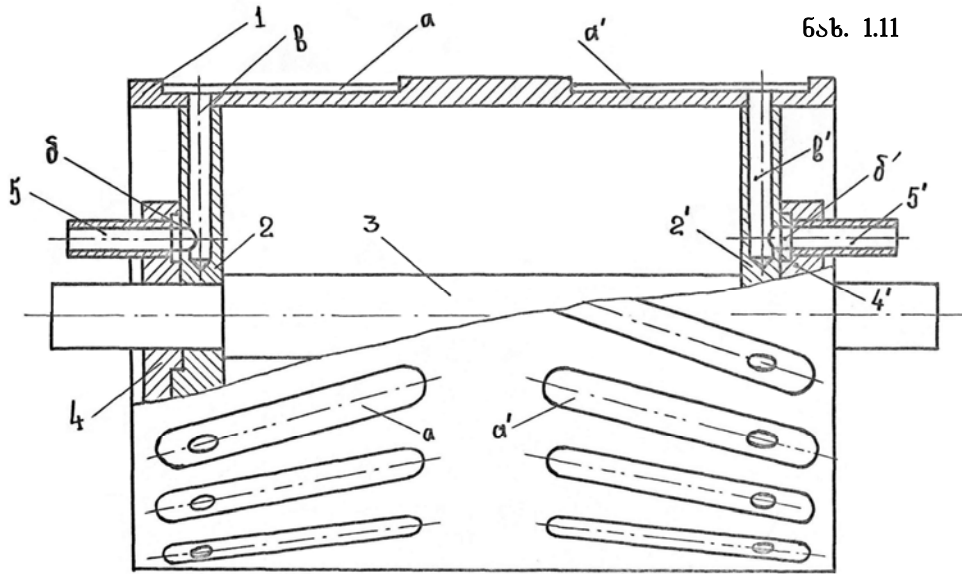


ნახ. 1.9



ნახ. 1.10

ნაწილების ჰერმეტიზაციის) გაცილებით მაღალი უნდა იყოს რგოლური ჭვრეტის ჰერმეტიზაციასთან შედარებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ვაკუუმის სიდიდის ოსცილოგრამები ჩაწერილია არა უშუალოდ რგოლურ ჭვრეტეში, არამედ განივი ღარების მოცულობებში, რის გამოც შეიძლება ოსცილოგრამების შედეგებსა და საკონტაქტო ზედაპირების რგოლურ ჭვრეტეში მიმდინარე პროცესებს შორის იყოს გარკვეული შეუსაბამობა, თუმცა ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით, ლოგი-

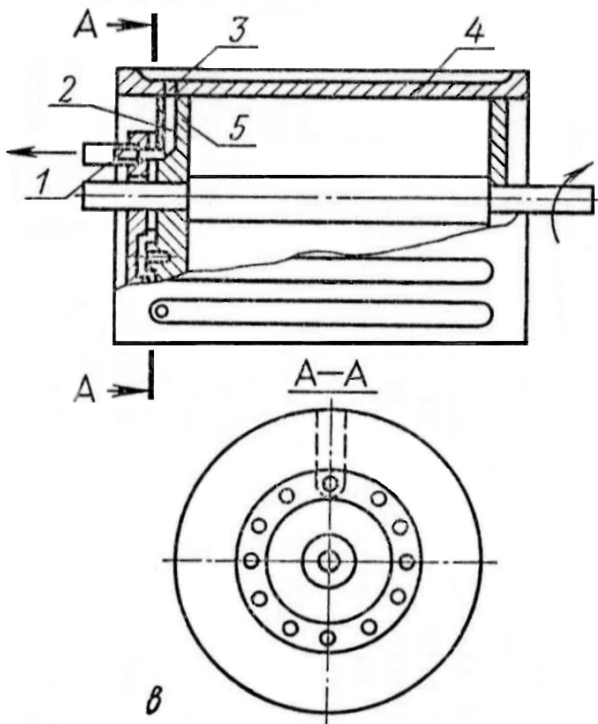


ნახ. 1.11

კური ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნები [60] პირობით რგოლურ ჭვრეტეში თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის წარმოქმნის შესახებ. ამასთან, უნდა შეგნიშნოთ, რომ საკითხის უფრო ღრმა ანალიზისათვის საკონტაქტო რგოლურ და ცილინდრ-დგუმის ჭვრეტეში სითხის (წვეთოვანის, აირის) მოძრაობის ექსპერიმენტული და თეორიული შესწავლა

საჭიროა ელასტოჰიდროდინამიკის, მაკროელასტოჰიდროდინამიკის, ჰისტერეზისის და ადგეზიის მოვლენების გათვალისწინებით.

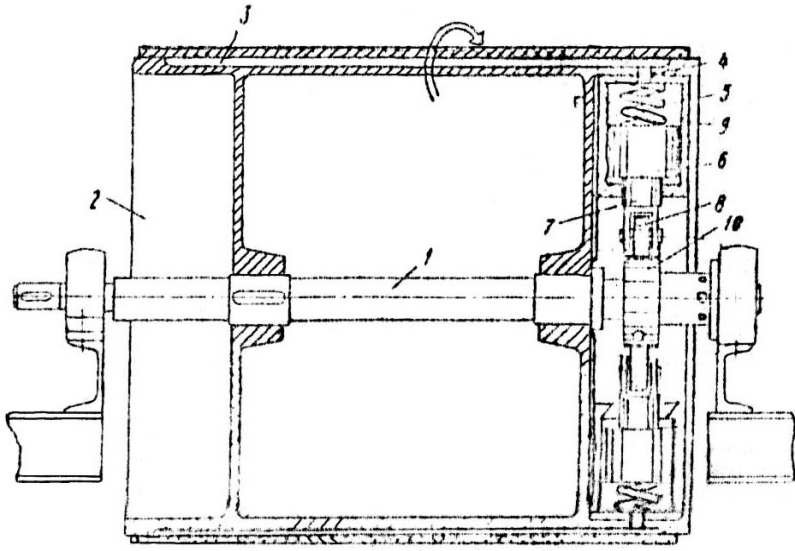
ხახუნის კლასიკური თეორიისა და მაღალი სიზუსტის ექსპერიმენტული კვლევების [54] მიხედვით, დატვირთვის ქვეშ მყოფი ცილინდრის ელასტომერზე სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი შედგება ორი ადგეზიური და ჰისტერეზისული კომპონენტისაგან, ხოლო ხახუნის განზოგადოებული კოეფიციენტი $f_{\text{ტვდ}}$ წნევისა და დრეკადობის მოდულის ფარდობის (P/E) ფუნქციაა. სრიალის სიჩქარის გაზრდით ეს თანაფარდობა პრაქტიკულად არ იცვლება. და ხახუნის განზოგადოებული კოეფიციენტი მშრალი ხახუნისას (შეზეთვის გარეშე) რჩება დაახლოებით ერთ დონეზე. გრინვულისა და ტეიბორის [54]



ნახ. 1.12.

მიხედვით ლითონის ელასტომერზე სრიალისას ან გორვისას ერთნაირ გავლენას ახდენს ჰისტერეზისის მოვლენა. ნორმანმა კი ხისტი ცილინდრის ელასტომერზე გორვის ხახუნის

კოეფიციენტის კვლევისას თეორიულად დაადგინა, რომ ჰისტერეზისით (დეფორმაციით) [54] განპირობებული ხახუნის კოეფიციენტი არის რბილი მასალის (მაგ. რეზინის) მექანიკური დანაკარგის კუთხის ტანგენსის რთული ფუნქცია, ხოლო ხახუნის ადგეზიური მდგენელის გავლენა ელასტომერზე შეისწავლეს ბალდვინმა და შალამახმა. მათ დასკვნებში აღნიშნულია, რომ ადგეზიური ხახუნის კოეფიციენტი პირდაპროპორციულ დამოკიდებულებაშია ელასტომერის მექანიკური დანაკარგის კუთხის ტანგენსისა და

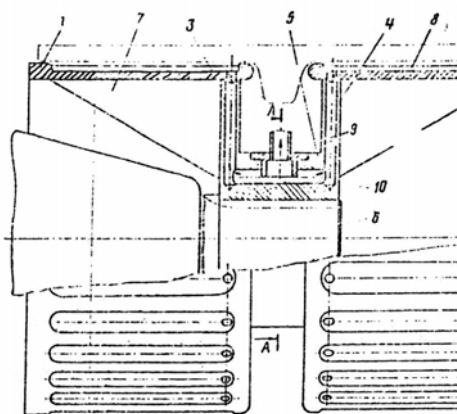


ნახ. 1.13.

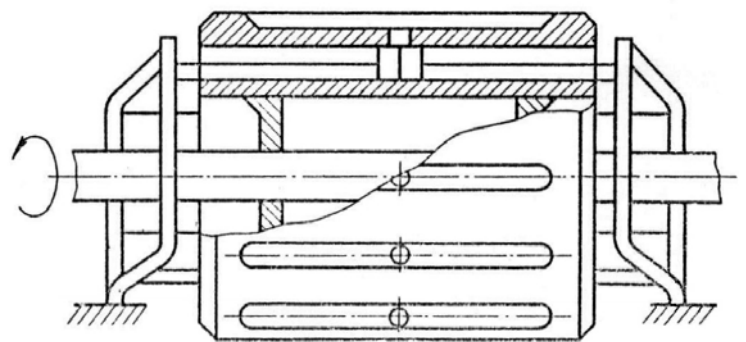
უკუპროპორციულია მისი სიმაგრისა.

ჩვენი სამუშაოს სწორი მიმართულების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მამტიცებელ ფაქტად მიგვაჩნია დ. მურის [54] განზოგადებული თეორია გადაჯერებულად სველი საკონტაქტო ზედაპირებისათვის. მასში აღნიშნულია, რომ საკონტაქტო ზედაპირების უხვად დასველებისას, მაღალი ხახუნის კოეფიციენტის უზრუნველსაყოფად

საჭიროა ზედაპირიდან სითხის მნიშვნელოვანი სადრენაჟო ეფექტის ღონისძიებების ჩატარება [54]. ზემოთ მოყვანილი ანალიზის მიხედვით, კვლევის მოდელად ვირჩევთ კლასიფიკაციით (იხ. ნახ. 1.1) გათვალისწინებულ ვაკუუმ-ამძრავის შემდეგ სქემას: 5, 8, 12, 24, 25, 35+წრიული ამონაჩარხები (ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირი ახალი კონსტრუქციაა იხ. ნახ. 3.4თ).



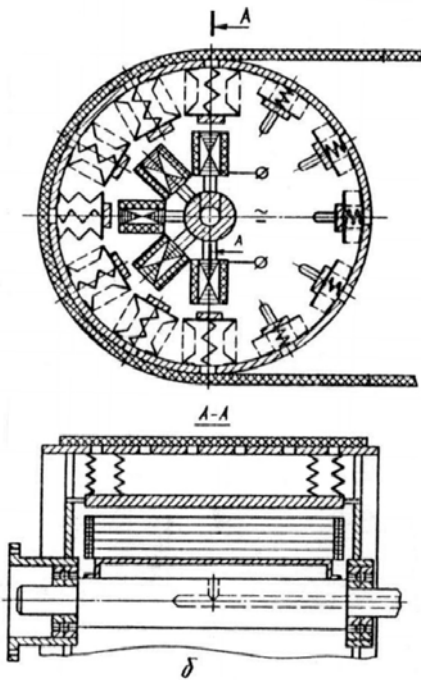
ნახ. 1.14



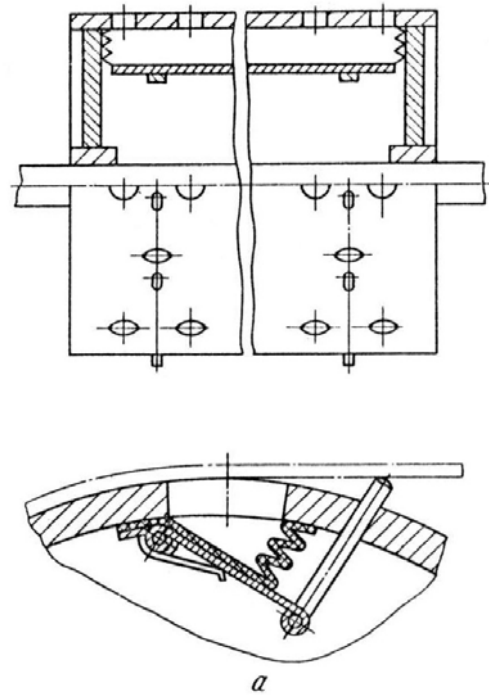
ნახ. 1.15

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. კერძოდ დღეისათვის

ცნობილი ყველა სახის მოდელი შესაძლებელია დავყოთ ოთხ მექანიკურ მოდელად.



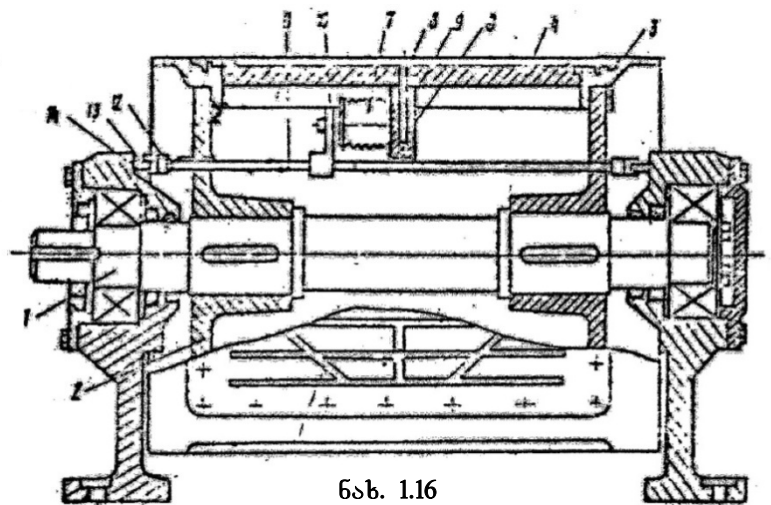
ნახ. 1.17



ნახ. 1.18

პირველი მექანიკური

მოდელით მომუშავე ვაკუუმ-ამძრავები (წრიული ან წრფივი) კოლექტორში ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე და ტორსულ ბადროში (ბადროებში) არსებული ვაკუუმ-არხების ერთობლიობაა რასაც ემატება 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)



ნახ. 1.16

ზოგიერთი პუნქტის გათვალისწინებით, რეციპიენტების სირთულისა და ტუმბოს გამოყენების კოეფიციენტის სიმცირის გამო აღნიშნული მოდელი ნაკლებად ეფექტურია.

მეორე მექანიკური მოდელით მომუშავე ვაკუუმ-ამძრავები (იხ. ნახ. 1.8.) მიგვაჩნია არასიცოცხლისუნარიანად, ვინაიდან ერთ ელემენტში (დოლზე შემოკრულ გარსში) ცვეთამედგობის, ელასტიკურობისა 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 მოდლებთან შედარებით მისი ვაკუუმ-არხების სიმარტივე.

მესამე მექანიკური მოდელით მომუშავე ვაკუუმ-ამძრავები (იხ. ნახ. 1.17. და 1.18.) მუშაუნარიანია და თითქოს ექვემდებარება არხების თვითგაწმენდასაც, მაგრამ ვაკუუმ-არხების დიდი საწყისი მოცულობა, გაწმენდას დაქვემდებარებული რთული ფორმის საკნები და ვაკუუმის კომპენსაციის შეუძლებლობა კარგების შემთხვევაში ამცირებს აღნიშნული კონსტრუქციის მუშაობის უნარს.

მეოთხე მექანიკური მოდელით მომუშავე ვაკუუმ-ამძრავებში (იხ. ნახ. 1.15.) რგოლური ჭვრიტის გაუხშობა ხდება ცილინდრ-დგუშიანი და მუშტამექანიზმებიანი 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 სელის სიდიდეს, აუმჯობესებს საკონტაქტო ზედაპირზე თანაბრად განაწილებული გაიშვიათების შექმნის პირობებს და წინამორბედი მკვლევარების შედეგების მსგავსად ჩვენს შემთხვევაშიც ზრდის ვაკუუმში სველი ხახუნით გამოწვეულ წევით თვისებებს.

ამ მეთოდებიდან გამწვევი ორგანოს (ამძრავის) საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევისათვის ვირჩევთ მეოთხე მექანიკურ მოდელს, ჩვენი აზრით, ყველაზე სრულყოფილს, სადაც ვაკუუმის ფორმირებისათვის გამოყენებულია მრავალჯერ ნაცადი და მრავალმხრივ გამოცდილი, უტყუარი მოქმედების ტრადიციული ცილინდრ-დგუშიანი და მუშტამექანიზმებიანი მოწყობილობები. გარდა ზემოთ ჩამოთვლილისა, კონსტრუქციული უპირატესობებიდან აღსანიშნავია ვაკუუმ-მექანიზმისა და გაუხშობის ობიექტის (რგოლური ჭვრიტის) ურთიერთკავშირი მარტივი ნახვრეტის საშუალებით. საკითხისადმი კომპლექსურად მიდგომის მეთოდით – საკონტაქტო ზედაპირი (რგოლური ჭვრიტე) – ვაკუუმმექანიზმი, – ვიხილავთ თანაბრად განაწილებული გაუხშობის შექმნის უზრუნველყოფის აუცილებელ პირობებს:

1) ვაკუუმ-ტუმბოს მოქმედების სისწრაფე (S_{ζ}) უნდა ეთანადებოდეს ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირებს შორის რგოლური ჭვრიტედან სითხის (წვეთოვანის, გაზისებრის) სრულფასოვანი დრენირების (გაწოვის) ანუ ობიექტის ეფექტური ამოტუმბვის სისწრაფის ($S_{ფ}$) უზრუნველყოფას;

2) ვაკუუმის წყაროსა და ამძრავის რგოლური ჭვრიტეს შემაერთებელი კვანძის (უმჯობესია იყოს ნახვრეტი და არა რთული ლაბირინთული რეციპიენტი) გამტარობა (U) უნდა უზრუნველყოფდეს ვაკუუმის შმქმნელი მექანიზმის გამოყენების (K_{ζ}) კოეფიციენტი დაახლოებით ერთის ტოლია ე.ი. $K_{\zeta} = S_{ფ} / S_{\zeta} \approx 1$ ანუ $K_{\zeta} = U / (U + S_{\zeta}) \approx 1$, რაც ამძრავის კვლევისა და დაპროექტების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პირობაა.

3) ამძრავის რგოლური ჭვრიტედან სითხის (წვეთოვანის, გაზობრივის) მყისურად გამწოვი მექანიზმის (ვაკუუმ-მექანიზმის, ვაკუუმ-ტუმბოს კოლექტორის) ვაკუუმური სისტემის ჰერმეტიზაცია უნდა იყოს რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაციაზე უფრო

სრულყოფილი (მაღალი), ამასთან ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების პარამეტრები უზრუნველყოფდეს გარემოდან რგოლურ ჭვრიტეში სითხის მინიმალურ შეწოვას.

4) ტუმბოს მოქმედების სისწრაფე (S_ტ), ობიექტის ეფექტური ამოტუმბვის სისწრაფე (S_{ეფ}) და მათი შემაერთებელი მილსადენების (ნახვრეტის) გამტარობა (U) უნდა განიხილებოდეს აუცილებლად ამძრავისა და ტვირთშიდი ლენტის შესაბამისი კუთხური და ხაზოვანი სიჩქარეების გათვალისწინებით.

ნახ. 3.1.-ზე მოცემულია ვ.ა.აგუშევისა და სხვათა მიერ (ს.მ. №132536) შემოთავაზებული აგმ დოლის კონსტრუქციული სქემა. ამ სქემის მიხედვით აგმ დოლის ზედაპირზე - ლენტის ქვეშ, გაუხშოვება იქმნება ამ დოლზე შემოჭიმული ცვეთამდეგი ჰაერგაუმტარი მოქნილი გარსით, რომლის ჯიბეები რადიალური მიმართულების უკუქცევით - წინსვლით მოძრაობას ასრულებენ მუშტა მექანიზმის საშუალებით. ამ კონსტრუქციის უპირატესობა აგმ დოლებში განისაზღვრება: სიმარტივით, სიიაფით რეციპიენტების თვითგასუფთავების შესაძლებლობით.

უარყოფითი მხარეებიდან კი საჭიროა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ ცვეთამდეგი, ელასტიური, ჰაერგაუმტარი გარსი ერთდროულად ასრულებს: ამონაგის, ვაკუუმის შექმნის მექანიზმსა და მაჰერმეტიზირებელ ელემენტის როლს. ეს სამი თვისება ერთ ელემენტში შეუთავსებელია, ვინაიდან ამონაგისათვის გამოყენებული მასალა უნდა იყოს ხისტი - მხები ძალის მოდებისას მცირე დეფორმაციის უნარით. სამაგიეროდ, ვაკუუმის შექმნის შექმნის მექანიზმი უნდა იყოს მოქნილი და არ უნდა ზიანდებოდეს ნიშანცვლადი დატვირთვის მოქმედებით. ამგვარად, ასეთი კონსტრუქციის პრაქტიკული რეალიზაცია ჩვენის აზრით ნაკლებად ეფექტური იქნება.

ზემოთ მოყვანილი კონსტრუქციის ნაკლოვანი მხარეები ნაწილობრივ გამოსწორებულია აგმ დოლში, რომელიც შემოთავაზებულია № 475323 საავტორო მოწმობაში (**ნახ. 3.2**).

ამ კონსტრუქციაში პერფორირებულ ზედაპირზე, ლენტის ქვეშ გაუხშოვება იქმნება დოლის რკალის ქვეშ დამონტაჟებული სამჭედლო საბერველის ტიპის მექანიზმით, რომელიც უკუქცევით-წინსვლით მოძრაობას ასრულებს ზამბარულ-ბერკეტული მოწყობილობის მეშვეობით. ამასთან, ვაკუუმის შექმნისთვის საბერველი მოძრაობაში მოდის ბერკეტულ სისტემაზე საკონვეიერო ლენტის მოქმედებით, ხოლო უკუსვლა ხორციელდება ზამბარული მოწყობილობის საშუალებით მას შემდეგ, რაც რაც ბერკეტული სისტემა გათავისუფლდება ლენტისაგან. ამ ლენტის დადებითი მხარეებიდან უნდა აღინიშნოს სიმარტივე და რეციპიენტების მტვრისაგან ნაწილობრივი გაწმენდის შესაძლებლობა. უარყოფითი მხარეებიდან კი ისეთი სერიოზული ნაკლოვანებები, როგორცაა: რეციპიენტების საწყისი მოცულობა, ვაკუუმის სიდიდის რეგულირების შეუძლებლობა და, რა თქმა უნდა, ვაკუუმ-არხებისა და მთლიანად რეციპიენტების არასრული გასუფთავება. უარყოფით მხარეებზე შეიძლება ჩაითვალოს ასევე ის, რომ

საბერველის ამძრავი ბერკეტის ბოლო და საკონვეიერო ლენტის ქვედა შემონაფენი უშუალო ურთიერთკავშირშია, რაც იწვევს ლენტის დამატებით ცვეთას.

ვაკუუმ-დოლის ერთ-ერთ კონსტრუქციაში (ნახ. 3.3 ს.მ. № 543573) ლენტის ქვეშ ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე გაუხშობა იქმნება კონსტრუქციული ელემენტების ლენტის ქვედა შემონაფენთან ურთიერთქმედების შედეგად. კონსტრუქციულ ელემენტებში შედის დოლის რკალის ნახვრეტებში ჩასმული რადიალური მიმართულებით (ლენტის ქვედა შემონაფენის ან ზამბარის მოქმედების შედეგად) მოძრავი ღეროები, რომელთა ერთ - დოლის ზედაპირზე გამომავალ მხარეს დამაგრებულია სფერული თასისმაგვარი ელესტიკური ელემენტები, ღია პირით ლენტის ქვედა შემონაფენისაკენ, ხოლო მეორე მხარეს გათვალისწინებულია ზამბარები და ქანჩები, რომელთა საშუალებითაც ხორციელდება ღეროს სვლის სიდიდის რეგულირება და მისი უკუსვლა.

ბრუნვის დროს დოლის შიგნით მოცულობაში ლილვზე საკისრებით უძრავად დამაგრებული ცილინდრული კორპუსისა და ლენტის სწრაფობის ზონაში მასზე დასმული რეგულირებადი მუშტანების საშუალებით ხორციელდება ელასტიკური ელემენტების რადიალურად ზევით გადაადგილება და ვაკუუმის შექმნა. როგორც 3.3 ნახაზის აღწერილობიდან ჩანს, დოლის კონსტრუქცია საკმაოდ რთული და არატექნოლოგიურია, ხოლო ამ კონსტრუქციით შექმნილი და საკონტაქტო ზედაპირების ურთიერთქმედების მთელი პერიოდის მანძილზე შენარჩუნებულმა ვაკუუმის სიდიდემ (დრეკადი სრიალის რკალზე ხდება რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაციის რღვევა დრეკადი სრიალის უცილობელი არსებობის გამო) საეჭვოა, რომ გამოიწვიოს წვევის ძალების მნიშვნელოვანი ნაზარდი.

3.4 ნახაზზე ს.მ.№ 753727 მიხედვით წარმოდგენილია ვაკუუმ-დოლის გრძივი ჭრილი. საავტორო მოწმობის მიხედვით დოლის გრძივ ღარებში გაუხშობა იქმნება პერიფერიული ხვრეტების ქვეშ განლაგებული ცილინდრებისა და დგუშების საშუალებით, ამასთან რადიალურად განლაგებულ ცილინდრებში დგუშები უკუქცევით-წინსვლით მოძრაობებს ასრულებს ზამბარული და მუშტა მექანიზმების კომპლექტების მეშვეობით. მას შემდეგ, რაც გრძივი ღარი დაიფარება ლენტით, მამოძრავებელი მექანიზმების კონსტრუქცია ლენტის სწრაფობის წერტილში უზრუნველყოფს დგუშების მაქსიმალურ სვლას და, მაშასადამე, მაქსიმალური სიდიდის ვაკუუმის შექმნას, რაც ავტორთა შეხედულებით ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კონსტრუქციული ღირსებაა. ჩვენი მხრიდან კი უნდა აღვნიშნოთ, რომ კონსტრუქციაში შემცირებული ვაკუუმის საკომპენსაციო მექანიზმის უქონლობა და გრძივი ღარებიდან ჰაერის პერიფერიული გაწოვა ამცირებს მექანიზმის საიმედო და უმტყუნო მუშაობის უნარს.

ნახ. (3.5.) წარმოდგენილ ტულის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ავტორთა ჯგუფის საავტორო მოწმობის № 967896 თანახმად, გრძივი ღარებიდან ჰაერის გაწოვა ხორციელდება დოლის ცენტრალურ წრეხაზზე განლაგებული ნახვრეტების საშუალებით, ამით გაუმჯობესებულია ე.წ. პირობითი რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაცია. გრძივ ღარებში ლენტის ქვეშ გაიშვიათება ხდება № 475323 საავტორო მოწმობაში აღწერილი სამჭედლო

საბერვლის ტიპის მექანიზმების საშუალებით, იმ განსხვავებით, რომ აქ ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმის უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობა ხორციელდება იძულების წესით, ამასთან მხოლოდ დოლის ორივე მხარეს განლაგებული მუშტა მექანიზმების საშუალებით. აღნიშნული ვაკუუმური მექანიზმის დადებით მხარედ უნდა ჩაითვალოს ვაკუუმის საკომპენსაციო მექანიზმის შექმნის შესაძლებლობაც. ავტორთა აზრით აწყობის თვალსაზრისით კონსტრუქცია უფრო ტექნოლოგიურია, ვინაიდან ვაკუუმური მექანიზმები დამონტაჟებულია დოლის ტორსულ ბადროებზე, მოსახსნელი რკალების ქვეშ; შესაძლებელია მაქსიმალური ვაკუუმის შექმნა და ვაკუუმური არხების გასუფთავებაც. ავტორების ეს დასკვნა ეჭვს იწვევს, ვინაიდან ვაკუუმის მექანიზმები მოქმედებს ცალ მხარეს და პერიფერიული ტორსული ბადროების დემონტაჟის ფარგლებში მათთან მიდგომა შეუძლებელია. გარდა ამისა, ვაკუუმ-მექანიზმებს აქვს დიდი საწყისი მოცულობის მქონე რეციპიენტები, ხოლო ვაკუუმ-მექანიზმის კონსტრუქციის სპეციფიკურობის გამო კოჭის სვლაც შეზღუდულია.

რაც შეეხება ამ კონსტრუქციის პრაქტიკულ რეალიზაციას, ის დამოკიდებულია ვაკუუმ- დოლის ელემენტთა საკომპოზიციო მასალების შერჩევასა და შექმნილი ვაკუუმის სიდიდეზე, რომელიც ზემოაღნიშნული ნაკლოვანებების გამო არცთუ ისე დიდი იქნება.

№ 475323 საავტორო მოწმობის (იხ. ნახ. 3.2.) ავტორებმა, ვაკუუმ-მექანიზმების მამოძრავებელი ბერკეტული სისტემის გამარტივების მიზნით შექმნეს ახალი, სრულიად განსხვავებული კონსტრუქციის ვაკუუმ-დოლი (ს.მ. №823238), რომელიც წარმოდგენილია ნახაზზე 3.6. აქ ელასტიკური საკნები, რომელთა მოცულობის გაზრდით იქმნება ვაკუუმი, მოცულობას ცვლიან ელექტრომაგნიტების საშუალებით, რომლებიც უშუალოდ მოქმედებენ ელასტიკური საკნის ფერომაგნიტური თვისებების მქონე ფსკერზე. ფსკერის უკუსვლა აქაც ზამბარების საშუალებით ხორციელდება.

აღნიშნულ კონსტრუქციაში, ავტორებმა, მართალია გააუმჯობესეს ვაკუუმ-მექანიზმის ამძრავი მოწყობილობა, მაგრამ უარყოფით მხარედ რჩება ისეთი მნიშვნელოვანი საკითხები, როგორცაა დიდი საწყისი მოცულობა, ვაკუუმის მაკომპენსირებელი მექანიზმების უქონლობა და ვაკუუმ-არხების თვითგაწმენდის შეუძლებლობა.

აშშ დოლების დამახასიათებელ კონსტრუქციათა განხილვის საფუძველზე და ავტორთა სხვა მრავალი მოსაზრების მიხედვით შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი წინასწარი დასკვნები:

1. ლენტის გამოყენების ვადის გაზრდის მიზნით უმჯობესია, გრძივლარებიანი ან პერფორირებული ზედაპირის მქონე ვაკუუმ-დოლის ლენტი ქვედა შემონაფენით უშუალოდ ეხებოდეს, სხვა ელემენტებთან (ბერკეტები, სფერული ელასტიკური ელემენტები და ა.შ.) ურთიერთკონტაქტის გარეშე;

2. კონსტრუქციაში ვაკუუმ-მექანიზმის ნორმალური მუშაობის აუცილებელი პირობაა გაუხშობის მაკომპენსირებელი მექანიზმის არსებობა;

3. კომპაქტური ამძრავის შექმნის წინაპირობაა **აშშ** დოლების რეციპიენტების მცირე საწყისი მოცულობა;

4. რგოლური ჭვრიტის ჰერმეტიზაციის თვალსაზრისით უმჯობესია რეციპიენტების მოცულობათა გაუხშობა ცენტრალური გაწოვით;

5. რეციპიენტებში გაუხშობის შექმნა უმჯობესია განხორციელდეს უკუმშველი (წვეთოვანი) სითხის საშუალებით, რისთვისაც დოლის საკონტაქტო ზედაპირს სითხე გამუდმებით უნდა მიეწოდოს წვეთოვანი სახით;

6. გრძელვარებიანი საკონტაქტო ზედაპირების გამოყენება მაქსიმალურად უნდა შეიზღუდოს და გამოყენებულ იქნეს უკიდურეს შემთხვევაში;

7. დაცული უნდა იქნეს აქამდე ჩამოყალიბებული ყველა მოთხოვნა (იხ. გვ. 7. მეცნიერული დებულებები სახუნის კვანძების კონსტრუქციებისა და ვაკუუმის ჰიგიენისადმი მოთხოვნების შესახებ).

ზემოაღნიშნული წინასწარი დასკვნების გათვალისწინებისა და ზოგიერთი დეტალის კონსტრუქციის ტექნოლოგიურობის წინასწარი პრაქტიკული მოსინჯვის შემდეგ ავტორთა მიერ შეიქმნა **აშშ** ტიპის ვაკუუმ-დოლის კონსტრუქციები, ს.მ. №543574 და ს.მ. №676506, რომლებიც წარმოდგენილია ნახ. 3.7. და 3.8.

ამ კონსტრუქციაში, როგორც ნახაზებიდან ჩანს, რეციპიენტებში გაუხშობა ხორციელდება დგუშიანი და მუშტამექანიზმის საშუალებით, ხოლო ნახ. 3.8.-ზე ნაჩვენებ კონსტრუქცია დამატებით აღჭურვილია 9 ფრქვევანით (საქშენით), რომლის საშუალებითაც ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირს მიეწოდება სითხე. ამით იზრდება რგოლურ ჭვრიტეში ჰერმეტიულობა და მცირდება რეციპიენტების საწყისი მოცულობა, ვინაიდან მის უდიდეს ნაწილს იჭერს ფრქვევანით (საქშენით) მიწოდებული სითხე. შემდგომში დგუშების პერიფერიებისაკენ გადაადგილებისას საკონტაქტო ზედაპირებიდან და რეციპიენტებიდან გაიწოვება არა ჰაერი (როგორც ეს ხორციელდება ყველა სხვა ვაკუუმ დოლებში), არამედ უკუმშველი სითხე (მაგალითად წყალი).

2. ვაკუუმ-ამძრავის ავტონომიურ ვაკუუმურმექანიზმებიანი (აჰმ) ვაკუუმ-დოლის კონსტრუქციული სქემების დამუშავება და კვლევა

2.1. ტექნიკური მოთხოვნები ვაკუუმ-ამძრავების მიმართ

ვაკუუმ-ამძრავების ხახუნის კვანძები წარმოდგენილია სხვადასხვა კომპოზიციური მასალების კონსტრუქციული გადაწყვეტების სახით. ამ კვანძების საკონტაქტო, ერთმანეთის მიმართ გადაადგილებადი ზედაპირებით ხდება არხებსა (რეციპიენტებსა) და რგოლურ ჭვრიტებში 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-ამძრავის მუშა რეციპიენტების დაკავშირება;

2. ამძრავისა და ლენტის საკონტაქტო ზედაპირებით შექმნილი რგოლური ჭვრიტე, რომლითაც ხდება წვეის ძალების რეალიზაცია. ამ კვანძში რგოლური ჭვრიტის დოლისეულ ზედაპირებში წარმოდგენილია (განხილული გვაქვს) ყველა ცნობილი საკონტაქტო ზედაპირის კონსტრუქცია [1], მათ შორის ჩვენ მიერ შემოთავაზებული – გრძივდარიანიც წრიული ამონახარხებით. [2].

3. ცილინდრ-დგუშიანი აჰმ (ავტომატური ვაკუუმური მქანძი), რომლითაც დოლის ბრუნვის თანხედენილად, დგუშების უაქცევით-წინსვლითი მოძრაობით მარტივი ვაკუუმ-არხებისა და ნახვრეტების საშუალებით, რგოლურ ჭვრიტეში გაუხშობა იქმნება [3].

მიუხედავად წინამორბედ მკვლევართა (ა.გ. ევნევიჩი, კ.ა. ვასილევო, ი.ბ. ვოლჩეკი, ვოკუანგ-ფენი, დ.ა. იუნგმეისტერი, რ.ნ. მოლოდინი. და სხვ.) მიერ მიღებული მაღალი ტექნიკური მაჩვენებლებისა, ვაკუუმ-ამძრავები საჭიროებს კონსტრუქციისა და ვაკუუმის შექმნის ტექნოლოგიური პროცესის შემდგომ სრულყოფას. განსაკუთრებით ეს ეხება ვაკუუმ-დოლებს, რომელთა რგოლურ ჭვრიტეში, ლენტის ქვეშ ვაკუუმის შექმნის ტექნოლოგიური პროცესი მიმდინარეობს ვაკუუმ-ტუმბოზე მიერთებული განაპირა განლაგების, კოლექტორისა და რთული პროფილის გრძელი ლაბირინთული არხების (რეციპიენტების) საშუალებით. მათი უარყოფითი მხარეები და ის პრობლემური ამოცანები, რის გამოც უმჯობესია ამგვარ კონსტრუქციაზე უარი განვაცხადოთ, ვრცლადაა წარმოდგენილი [4] ნაშრომში. ვითვალისწინებთ რა ჩვენ მიერ ჩატარებული საპატენტო და სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ანალიზის შედეგებს, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია, ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციისა და ოპტიმალური პარამეტრების დამუშავება-გაანგარიშებისას გავითვალისწინოთ შემდეგი ტექნიკური მოთხოვნები:

1. ვაკუუმ-ამძრავის საკონვეიერო ლენტთან საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირება უმჯობესია განხორციელდეს ავტონომიური ვაკუუმური

მექანიზმები (აშმ), რომლებიც (რომელთა დგუშისეული სივრცე) საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმ-არხებთან დაკავშირებული იქნება ექსპლუატაციისა და რემონტისათვის მოხერხებული და მარტივი კვანძების საშუალებით;

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

3. ხახუნის პროცესის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია მექანიკური ურთიერთქმედების ბუნება, ამიტომ საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუირება-დამუშავებისას აუცილებელია, გათვალისწინებულ იქნეს რგოლური ჭვრიტეს წარმომქმნელი ზედაპირების (ლენტი – ამძრავი დოლი) სიმქისის ისეთი მნიშვნელობები, რომელთა დროსაც შენარჩუნდება სითხის მოცულობითი თვისებები (იხ. ბ. დერიაგინისა და ნ. პეტროვის კვლევების შედეგები [5,6]) და უზრუნველყოფილი იქნება სწრაფი და სრულყოფილი დრენაჟირების პროცესი;

4. თანაბრად განაწილებული გაუხშოების შექმნის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია შემდეგი პირობების დაცვა:

ა) ვაკუუმ-ტუმბოს მოქმედების სისწრაფე (S_{δ}) უნდა ეთანადებოდეს ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირებს შორის რგოლური ჭვრიტედან სითხის (წვეთოვანის, გაზისებრის) სრულფასოვანი დრენაჟირების (გაწოვის) ანუ ობიექტის ეფექტური ამოტუმბვის სისწრაფის ($S_{\text{ფ}}$) უზრუნველყოფას;

ბ) ვაკუუმის წყაროსა და ამძრავის რგოლური ჭვრიტეს შემაერთებელი კვანძის (უმჯობესია იყოს ნახვრეტი და არა რთული ლაბირინთული რეციპიენტი) გამტარობა (U) უნდა უზრუნველყოფდეს ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმის გამოყენების კოეფიციენტის (K_{δ})-ს დაახლოებით ერთთან ტოლობას, ე.ი. $K_{\delta} = S_{\text{ფ}}/S_{\delta} \approx 1$ ანუ $K_{\delta} = U/(U+S_{\delta}) \approx 1$ რაც ამძრავის კვლევისა და დაპროექტების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პირობაა;

გ) ამძრავის რგოლური ჭვრიტედან სითხის (წვეთოვანის, გაზობრივის) მყისიერად გამწოვი მექანიზმის (ვაკუუმ-მექანიზმის, ვაკუუმ-ტუმბოს კოლექტორის) ვაკუუმური სისტემის ჰერმეტიზაცია უნდა იყოს რგოლური ჭვრიტეს ჰერმეტიზაციაზე სრულყოფილი, ამასთან ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირების პარამეტრები უზრუნველყოფდეს გარემოდან რგოლურ ჭვრიტეში სითხის მინიმალურ შეწოვას;

დ) ტუმბოს მოქმედების სისწრაფე (S_{δ}), ობიექტის ეფექტური ამოტუმბვის სისწრაფე ($S_{\text{ფ}}$) და მათი შემაერთებელი ნახვრეტის გამტარობა (U), უნდა განიხილებოდეს ამძრავისა და ტვირთშიდი ლენტის შესაბამისი კუთხური და ხაზოვანი სინქარების გათვალისწინებით;

5. გრძელდგარიანი საკონვეირო დანადგარების სათავის, კულისა და შუალედური ამძრავების დამუშავებისას, უმჯობესია გათვალისწინებულ იქნეს 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 ჭკრიტეს ჰერმეტიზაციის აუცილებელ პირობებს: აწმ-ების ურთიერთდამოუკიდებელ მუშაობას (არ უნდა ხდებოდეს მეზობელი რეციპიენტებიდან სითხის გაწოვა) და ლენტის ნაპირებიდან სითხის (ჰაერის) შეუღწევადობას;

7. ამძრავის ვაკუუმური რეციპიენტების გარე და შიგა მოცულობათა სიდიდე უნდა უზრუნველყოფდეს ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმების ოპტიმალურ რეჟიმში მუშაობას;

8. საკონტაქტო ზედაპირის გეომეტრიული პარამეტრების შერჩევა-გაანგარიშება უნდა მოხდეს ამძრავის (საკონვეიერო ლენტის) კუთხური სინქარის გათვალისწინებით;

9. აწმ-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 დასაშვებ საზღვრებში;

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 აშ.ს. – “შედარებითი სიმშვიდის” რკალის ფარგლებში;

11. საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმიზაციის მიღწევის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წინაპირობაა ამძრავის განხილვა ლენტური საკისრის რანგში ამასთან, აწმ-ის დგუშისეული სივრცის ზედაპირთან შემაერთებელი ცენტრალური ნახვრეტის შერჩეული დიამეტრი უნდა უზრუნველყოფდეს სითხის ნაკადის უწყვეტად გადადინებას ვაკუუმ-სისტემის რეციპიენტებში – საკონტაქტო ზედაპირზე განლაგებული გარე მოცულობებიდან (დარებიდან, პერფორაციებიდან და ა.შ.) ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმის მუშა მოცულობამდე (მაგალითად დგუშისეულ სივრცემდე).

საკონტაქტო ზედაპირებისა და მთლიანად ვაკუუმ-ამძრავის კონსტრუქციისათვის წაყენებული ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მოთხოვნაა ამძრავი სადგურის დაშლა-აწყობისას მისი თითოეული კვანძისა (კოლექტორიან ვაკუუმ-დოლებში იგი წარმოადგენს საკმარისად გრძელ და რთულ ლაბირინთულ რეციპიენტებს-ვაკუუმ-არხებს) და შემადგენელი ნაწილის ადვილი მისადგომობა, კომპაქტურობა, სარემონტოდ ვარგისიანობა, ხანგამძლეობა და ა.შ.

2.2. ავმ ტიპის ვაკუუმ-ამძრავი საკონტაქტო ზედაპირიდან სითხის ცენტრალური გაწოვით

ვაკუუმის ცნება, ფიზიკასა და ტექნიკაში განისაზღვრება, როგორც სითხეების (გაზისებრის, წვეთოვანის) მდგომარეობა ატმოსფერულზე გაცილებით დაბალი წნევის პირობებში, ე.ი. ვაკუუმში რაოდენობრივად განისაზღვრება სითხის აბსოლუტური წნევით. ვაკუუმის ფიზიკაში გამოყენებული ძირითადი პოსტულატები ჩამოყალიბებულია შემდეგი სახით:

1. სითხეები შედგება ცალკეული მოლეკულებისაგან;
2. არსებობს სიჩქარის მიხედვით სითხის მოლეკულების მუდმივი განაწილება ანუ მოლეკულების ერთნაირ რიცხვს ყოველთვის ერთი და იგივე სიჩქარე აქვს;
3. სითხეების მოლეკულების მოძრაობისას არ არსებობს უპირატესი მიმართულება ანუ სითხის მოლეკულების სივრცე იზოტროპულია;
4. სითხის ტემპერატურა არის მისი მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერჯის განმსაზღვრელი პარამეტრი;
5. მყარი ტანის ზედაპირთან ურთიერთქმედებისას სითხის მოლეკულა აღსორბცირდება.

გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ვაკუუმში მიმდინარე მრავალი ფიზიკური პროცესი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული რეციპიენტების კედლებზე მოლეკულების დაჯახებათა საშუალო რიცხვისა (K_p) და მოლეკულების ურთიერთდაჯახებათა რიცხვის (K_a) ფარდობაზე – $K_p = K_p / K_a$, სადაც K_p არის კნუდსენის კრიტერიუმის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომლის მიხედვით განისაზღვრება ვაკუუმის ხარისხი: დაბალი, საშუალო, მაღალი და ზემოდალი.

დაბალი ვაკუუმის დროს $K_p \ll 1$, მოლეკულების რეციპიენტის კედელთან დაჯახებისას განვლილი მანძილი (L) ვაკუუმ-კამერის რაციონალურ ზომაზე ($d_{ფვ}$) მნიშვნელოვნად მცირეა.

საშუალო ვაკუუმში არის სითხის მდგომარეობა, რომლის დროსაც მოლეკულების ურთიერთდაჯახებათა რიცხვი და რეციპიენტების კედლებთან მოლეკულების დაჯახებათა რიცხვი ერთნაირია, ამ დროს $L \approx d_{ფვ}$, ხოლო $K_p \approx 1$.

მაღალი და ზემოდალი ვაკუუმისას ანუ პირობისათვის, როდესაც $K_p \gg 1$ და $L/d_{ფვ} \gg 1$, საკმარისია აბსოლუტური წნევის მნიშვნელობა p_3 იყოს არაუმეტეს 10^{-9} პა-ისა.

ამგვარად, უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ვაკუუმ-ამძრავებში შექმნილი ვაკუუმში დაბალი და საშუალო ხარისხის ფარგლებშია კნუდსენის კრიტერიუმის მიხედვით და ვაკუუმით მიღებული დოღზე ლენტის მიჭერის კუთრი ძალა $(0,1-0,95) \times 10^5$ პასკალის ფარგლებშია მოქცეული.

ვაკუუმ-ამძრავების თეორიის კვლევით სამუშაოებში [1, 2, 3] საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის თანაბარი განაწილება გათვალისწინებულია დოღის როგორც განივი, ასევე წრიული მიმართულებით. თუმცა, შრომებში [3, 4] ხაზგასმითაა მითითებული ლენტისა და ვაკუუმ-დოღის საკონტაქტო ზედაპირების „ელასტიკურ

კბილანურ მოდებზე“, რაც ეწინააღმდეგება ვაკუუმის თანაბარი განაწილების პირობას. ამგვარად, აღნიშნულ შრომებში ვაკუუმის თანაბრად განაწილების იდეა არავითარ მამტიციცებელ დებულებებს არ შეიცავს, პირიქით, „ელასტიკური კბილანური მოდებით“ უფრო მეტ წინააღმდეგობაში ვარდება.

პერფორირებულ საკონტაქტოზედაპირიანი ვაკუუმ-დოლის კვლევებში [2] მითითებულია წინამორბედ მკვლევართა უზუსტობები, რომლებიც ოთხ პუნქტადაა ჩამოყალიბებული [2]. სამუშაოს მიზნია ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტებში სითხის მოლეკულების მოძრაობის წინააღმდეგობის თეორიული შესწავლით საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში თეორიული ვაკუუმის განსაზღვრა და შემდგომ მისი ექსპერიმენტის გზით შემოწმება. წარმოდგენილია ვაკუუმ-დოლის სისტემაში ნარჩენი წნევის ცვლილების განმსაზღვრელი ფორმულები: ჰაერის ტურბულენტური მოძრაობისას მართკუთხა ფორმის გრძივი ღარებისათვის, წრიული კვეთის რეციპიენტებისათვის, საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმ-დოლის პერფორაციების ირგვლივ და შემოთავაზებულია გასაშუალოებულ თეორიულ წნევათა სხვაობის განმსაზღვრელი ფორმულა, რომლითაც დოლის ზედაპირს აწვება ლენტი. მიღებული ნორმალური ძალების საფუძველზე განსაზღვრულია ამძრავი ვაკუუმ-დოლის წვეთით შესაძლებლობა (W_0) და მოცემულია ფორმულა ჰაერის პოლიტროპული პროცესით გაფართოებაზე მომუშავე ვაკუუმ-ტუმბოს მწარმოებლურობის (Q) განსაზღვრისათვის:

$$W_0 = S_6(e^{f\alpha} - 1) + K_1 K_3 [0.8 K_2 R \alpha' B + mn F_1 (1 - K_2)] (e^{f\alpha'} - 1) / 736 \alpha';$$

$$Q = 60 K_d (V_{არხ} \alpha' + V_{კოლ} \alpha'') \times 2.31 g P_6 / P_3 / R \alpha'' t,$$

სადაც K_1 არის კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს წნევის ცვალებადობას ვაკუუმ-დოლის ვაკუუმ-სისტემის შემავალ მილტუჩისა და მისი საკონტაქტო ზედაპირის პერფორაციას შორის; K_2 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს რგოლური ჭვრიტეს ნებისმიერ წერტილში ვაკუუმის ვარდნისას ვაკუუმის განვითარების ზონის ცენტრიდან (პერფორაციიდან) ამ წერტილის დაშორების შესაბამისად; P_3 – ვაკუუმმეტრის ჩვენება, მმ ვერცხლის წყ. სვ; R – ამძრავი ვაკუუმ-დოლის რადიუსი, სმ; m – პერფორაციის რიცხვი მსახველის გასწვრივ რეციპიენტებზე; n – რეციპიენტების რიცხვი რგოლურ ჭვრიტეში; α' – რგოლურ ჭვრიტეში ცენტრალური კუთხე, რომელზეც იქმნება ვაკუუმი, გრადუსი, α'' – ბიჯი ვაკუუმ-დოლის ორ მეზობელ რეციპიენტს შორის; F_1 – პერფორაციის ფართობი, სმ²; B – ლენტის სიგანე, სმ; K_d – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს, რგოლური ჭვრიტედან და ვაკუუმ-სისტემის სხვა ღრეჩოებიდან შეწოვილი ჰაერის რაოდენობას; $V_{არხ}$ – ერთი ღარის ერთეულოვანი ვაკუუმ-სისტემის, – რეციპიენტის მოცულობა, სმ³; $V_{კოლ}$ – კოლექტორის საკნის მოცულობა, სმ³; R – პოლიტროპიის მაჩვენებელი; t – ამოტუმბვის დრო, წმ; P_6 და P_3 – ამძრავი ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტებში საწყისი და საბოლოო წნევები, პა.

ექსპერიმენტულ ნაწილში პერფორაციებს შორის საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმი იზომებოდა ზონდირებით და მიღებული შედეგი ედარებოდა კოლექტორის წინ ვაკუუმ-

ტუმბოს ქსელში ჩართული ვაკუუმეტრის ჩვენებას. ექსპერიმენტები ტარდებოდა სხვადასხვა სიდიდის ვაკუუმისა და საკონვეიერო ლენტის დაჭიმულობისას, აგრეთვე მშრალი და სველი საკონტაქტო რგოლური ჭვრიტეს შემთხვევებისათვის. დაკვირვებები მიმდინარეობდა გავლენაზე, რომელსაც ახდენდა ლენტის სისისტე და დაჭიმულობა თანაბრადგანაწილებული ვაკუუმის ფორმირებაზე. თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულია შესაბამისი დასკვნები.

საკონტაქტო ზედაპირის კონფიგურაცია და მისი პარამეტრები განსაზღვრულია მხოლოდ ამძრავის კონსტრუქციული (კოლექტორის საკნის ზომები, რეციპიენტის ბიჯი და ა.შ.) შესრულების მოსაზრებით, სადაც არ ფიგურირებს ისეთი აუცილებელი პარამეტრები, როგორებიცაა: დოლის ბრუნვის სიხშირე, კოლექტორული რგოლის ჰერმეტიზაციის ხარისხი, ვაკუუმ-ტუმბოს გარე ქსელისა და საკუთრივ ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტების ჰაერის გამტარუნარიანობა. ნაშრომში [2] წარმოდგენილი $\nabla R=55 \times 10^{-3}$ სმ სისქის რგოლური ჭვრიტეს შემთხვევაშიც კი კოლექტორული რგოლის ღრეჩოს (ლითონი-ლითონთან) ჰიდრაულიკური წინაღობა გაცილებით მცირე იქნება ამძრავის საკონტაქტო რგოლური ჭვრიტეს წინაღობასთან შედარებით, რაც საგრძნობლად გაზრდის $K_{\text{დ}}$ -კოეფიციენტს (იხ. ვაკუუმ-ტუმბოს მწარმოებლურობის გამოსახულება) და არარაციონალურს გახდის კონსტრუქციას. დასკვნებში ნათქვამია, რომ სველი რგოლური ჭვრიტეს შემთხვევაში უმჯობესდება ვაკუუმ-დოლისა და ლენტის ჩაჭიდულობის პირობა, ვაკუუმის ზონის ჰერმეტიზების დონის ამაღლების ხარჯზე. ჩვენი მოსაზრებები ამ საკითხზე სრულად ემთხვევა ხახუნის კლასიკურ თეორიას და განხილულიც გვაქვს თანაბრადგანაწილებული ვაკუუმის შექმნის უზრუნველყოფის აუცილებელ პირობებში.

ვაკუუმ-ამძრავების რგოლურ ჭვრიტეებსა და ფრიქციულ საკონტაქტო ფართობებზე ვაკუუმის ფორმირების პროცესის აღწერის შესახებ (მიძღვნილ) შრომებში [5-9] გამოყენებულია რეინოლდსის, პრანდტლის და ნუსსელტის კრიტერიუმები [9], ხოლო ლაბორატორიული ექსპერიმენტებისათვის სტატიკურ რეჟიმში ტარდებოდა ვაკუუმის სიდიდის გაზომვა პერფორაციებში ზონდირებით, გრძივ ღარებში მათ შორის საკონტაქტო ფართობებზე, რაც არ შეესაბამება ვაკუუმის მყისიერად ფორმირების რეალურ სურათს.

ვაკუუმ-ტუმბოს თეორიული მწარმოებლურობის განმსაზღვრელი ფორმულა წარმოდგენილია ვაკუუმ-არხებში (რეციპიენტებში - მილსადენებში) სითხის მოძრაობის წინააღმდეგობის გაუთვალისწინებლად და აქვს სახე [7] :

$$Q = \frac{V_s}{t_0} \ln \frac{P_1}{P_2},$$

სადაც V_s არის გასაუხშობელი (რგოლური ჭვრიტეს, რეციპიენტების, კოლექტორის) მოცულობა; t_0 – გასაუხშობელი მოცულობიდან ამოტუმბვის დრო (არამოძრავი რეციპიენტის კოლექტორის საკანში ყოფნის დრო ($t_0 = L_{\text{ს.ფ.}}/v$), სადაც $L_{\text{ს.ფ.}}$ – შუალედი ამძრავის სიგრძეა, სმ; v – ამძრავის ბრტყელას მოძრაობის სიჩქარე, მ/წმ; P_1 და P_2 – აპარატში შესაბამისად საწყისი და საბოლოო წნევები, პა.

ამ შრომების ნაკლოვან მხარეებს შეიძლება მიეკუთვნოს იგივე, რაზეც მსჯელობაა შრომის [2] ანალიზისას.

მიუხედავად მე-[10] ნაშრომში განხილული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებისა, რომელიც მიეძღვნა საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში მიმდინარე პროცესებს, მცირე ყურადღება აქვს დათმობილი ავტონომიურ ვაკუუმურ-მექანიზმებიანი (აგმ) ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების მთელ ფართობზე ვაკუუმის გავრცელების ხასიათის თეორიულ შესწავლას. იქვე მითითებულია, რომ ვაკუუმი მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე თანაბრად ვრცელდება იმის გამო, რომ ზედაპირების მაკრომოცულობები და ვაკუუმ-არხები შევსებულია – დასველებულია სითხით, რომლის გაწოვით ხდება ვაკუუმის შექმნა რგოლური ჭვრიტეს მთელ ფართობზე. მტკიცება სარწმუნოა, და მაინც, ვაკუუმის გავრცელების სიჩქარისა და ხასიათის თეორიული შესწავლა ამ შემთხვევაშიც აქტუალურია და კვლევის საინტერესო ამოცანად მიიჩნევა. ჩვენი აზრით, მხოლოდ ამ ამოცანის სრულფასოვანი გადაწყვეტა მოგვცემს ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრის სრულყოფილ მეთოდიკას. ნაშრომში [10] წარმოდგენილია ზოგადი დასკვნები : 1) ახალი მეთოდით ვაკუუმის შექმნის; 2) ცენტრალური გაწოვის მარტივრეციპიენტებიანი აგმ-იანი ამძრავის უპირატესობის; 3) ვაკუუმის ფორმირების ზონად “შეღარებითი სიმშვიდის რკალის” აღიარება; 4) ვაკუუმ-ამძრავების გამოყენების ეფექტურ ზონად $S_{\text{ჩ}} \leq 2pRB$ – პროგრამული (ლენტის საწყისი) დაჭიმულობის მიჩნევის; 5) “დრეკადი სრიალის რკალზე” მყისიერი “საშუალო” სიდიდის ვაკუუმის შენარჩუნებით, ამძრავისათვის შესაძლებელი ყველაზე დიდი წვეთი თვისებების უზრუნველყოფისა და 6) ვაკუუმ-ამძრავის დახასიათებელი საკუთარი წვეის ფაქტორების შესახებ – $S_{\text{წ}}/pRB$ სავსებით მისაღებია და მათი გათვალისწინებით ვირჩევთ თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შემდგომ ეტაპს. ამ ეტაპზე ძირითადი მიზანია ვაკუუმის წყაროსთან და ვაკუუმ-ამძრავთან კომპლექსში საკონტაქტო ზედაპირის რაციონალური კონსტრუქციისა და მისი ოპტიმალური პარამეტრების საანგარიშოდ ისეთი მეთოდების დამუშავება, რომელიც მართებული იქნება ნებისმიერი თანამედროვე სტანდარტული ტიპ-ზომის საკონვეიერო ამძრავის საანგარიშოდ.

ახალი საკონტაქტო ზედაპირის ყველა პარამეტრის გაანგარიშება და მათი შემდგომი შემოწმება ექვემდებარება შერჩეული ბაზისური ვაკუუმ-დოლის მისადაგებას და შემდეგ მიღებული ახალი, მოდიფიცირებული ამძრავის იტერაციულ გაანგარიშებას, რამაც საშუალება მოგვცა, შეგვექმნა ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის გეომეტრიული ზომებისა და სხვა აუცილებელი პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდები.

სპეციალური ლიტერატურული წყაროებისა და საპატენტო ფონდების მოკვლევისა და გაანალიზების საფუძველზე მიღებული შედეგებიდან დასკვნების სახით შეიძლება გამოიყოს ვაკუუმამ-ძრავების კონსტრუირების რამდენიმე ყველაზე მნიშვნელოვანი საკითხი, ხოლო საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის მიღებისათვის – კვლევის შემდგომი ამოცანები.

ღ ა ს კ ვ ნ ე ბ 0:

- ვაკუუმის ფორმირების ერთ-ერთი პერსპექტიული ტექნოლოგიური სქემა არის უმარტივესი რეციპიენტებითა და ავმ-ის რგოლურ ჭვრიტესთან შემაერთებელი კვანძებით აღჭურვილი ავტონომიური ვაკუუმ-მექანიზმებიანი (ავმ) ვაკუუმ-ამძრავების კონსტრუქციებში მიმდინარე გაუხშობის პროცესი;
- ვაკუუმის შექმნის ეფექტურ ($\alpha_{ფფ}$) ზონად მივიღოთ “შედარებითი სიმშვიდის” რკალი (დგუშის სვლის სიდიდეზე დამოკიდებულებით $\alpha_{ფფ} \approx (0,05-0,2) \cdot \alpha_{გ}$), ხოლო წვევის ძალების რეალიზაციის ეფექტურ საკონტაქტო უბნად – “დრეკადი სრიალის რკალი“, სადაც საჭიროების შემთხვევაში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს ვაკუუმის კარგების კომპენსაცია;
- ავმ-იანი ვაკუუმ-დოლის რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირება და მისი თანაბრად განაწილება უნდა განვიხილოთ კომპლექსურად, ავმ-იანი დოლის ბრუნვის სისწორისა და დგუშის სვლის სიდიდის გათვალისწინებით;
- ყველა ტექნიკური მოთხოვნა, რომელიც ჩამოყალიბებულია ნაშრომში [10], მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ვაკუუმ-ამძრავის კონსტრუირების ნებისმიერი ეტაპისათვის;
- ვაკუუმის შექმნის ყველაზე ხელსაყრელი პირობაა რეციპიენტებში ჩაკეტილი სითხის ადიაბატური ან ჰიპერადიაბატური გაფართოება, რომლის დროს ოპტიმალური სიდიდის ვაკუუმია $P=(0,9-0,95) \cdot 10^5$ პა. ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის კონსტრუქცია უნდა უზრუნველყოფდეს რგოლური ჭვრიტეს ჰერმეტიზაციის აუცილებელ პირობებს: ავმ-ების ურთიერთდამოუკიდებელ მუშაობას (არ უნდა ხდებოდეს მეზობელი რეციპიენტებიდან სითხის გაწოვა) და ლენტის ნაპირებიდან სითხის (ჰაერის) შეუღწევადობას.

კვლევის შემდგომი ამოცანები:

- კონსტრუირების თვალსაზრისით რგოლური ჭვრიტეს საკონტაქტო ზედაპირებზე ხახუნის წყვილში – ლითონი-საკონვეიერო ლენტი (ელასტომერი) – ფრიად მნიშვნელოვანია იმის ცოდნა, რა პირობებია – მოჭარბებული შეხეთვა თუ მშრალი ხახუნი. შესაბამისად შესწავლილ უნდა იქნეს ჰიდროდინამიკურ, ზღვრულ და დრეკად ჰიდროდინამიკურ რეჟიმებში სითხის (წვეთოვანის ან გაზისებრის) მოძრაობის კანონზომიერება;
- რგოლურ ჭვრიტეში ხახუნის ძალის წარმომშობი მექანიზმი განხილული იქნეს საინჟინრო კვლევისათვის მისაღებ მაკროსკოპულ დონეზე, შედარებით უხეში, მაგრამ სარწმუნო მოდელის საფუძველზე (სიმქისე უნდა გაიზომოს მმ-ში);
- დამუშავდეს მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას მოგვცემს, ვიანგარიშოთ საკონტაქტო ზედაპირის ოპტიმალური პარამეტრები: ვაკუუმ-არხების ბიჯი – t , საკონვეიერო ლენტის საყრდენი სეგმენტის δ სიგანე, დარის β სიგანე, პერფორაციის a დიამეტრი და ა.შ.;
- მიღებული თეორიული შედეგებისა და ძირითადი პარამეტრები შემოწმდეს ლაბორატორიის ფიზიკურ და კომპიუტერულ მოდელზე.

2.3. ვაკუუმ-დოლის წვეის ფაქტორზე მუშა განივი კილოების მდებარეობის გავლენის ანალიზური განსაზღვრა

მეცნიერ მკვლევართა [1, 2] და ჩვენს მიერ შესრულებული სამუშაოების მიხედვით მაქსიმალური წვეის ძალა მიიღება ვაკუუმის ზონის განლაგებით (მდებარეობისას) შედარებითი სიმშვიდის რეალზე. დრეკადი სრიალის რეალზე მის არსებობას უარყოფენ იმის გამო, რომ “ამ საკონტროლო ზონაში მიმდინარე დრეკადი სრიალის გამო ისედაც დიდია ლენტის ცვეთა” [4]. პეტროვ-ჟუკოვსკის ამოცანის თანახმად წვეის ძალების რეალიზაცია ხახუნის ამძრავებში მიმდინარეობს დრეკადი სრიალის ხარჯზე. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ვაკუუმის ზონის ადგილმდებარეობის ასეთი პირობით შეცვლა ვერ შეამცირებს დრეკად სრიალსა და შესაბამისად ლენტის ცვეთას. ამიტომ, ამჯერად კვლევას ვატარებთ მხოლოდ მაღალი წვეის ძალის მისაღებად. კოლექტორიანი ვაკუუმ-დოლების შემთხვევაში ამ ამოცანის ექსპერიმენტით შემოწმებას და ასევე ანალიზური წესით განსაზღვრას აზრი არა აქვს, ვინაიდან კოლექტორის ვაკუუმური საკანი ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ვაკუუმურ ზედაპირს უერთდება დიდი წინააღობის რეციპიენტებით. ამდენად, უფრო მართებულია კვლევები ჩავატაროთ ისეთი კონსტრუქციის ვაკუუმ-დოლისათვის, სადაც მთელი საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმური ზონა დაყოფილი იქნება ცალკე მომუშავე ვაკუუმურ-ქვეზონებად. ამ მიზნისათვის მიზანშეწონილია აწმ (ავტონომიურ ვაკუუმურ მექანიზმებიანი) ვაკუუმ-დოლის კვლევა შემდეგი დაშვებების გათვალისწინებით:

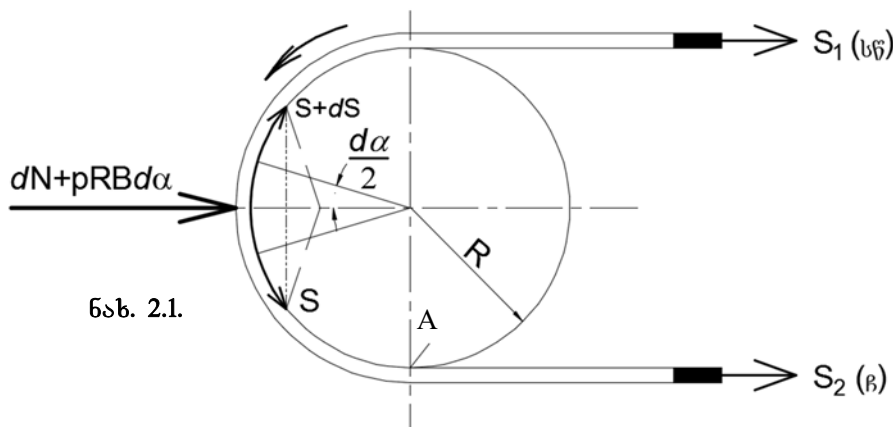
1. ამძრავი დოლი არის R - რადიუსიანი იდეალურად წრიული ცილინდრი;
2. ამძრავის ყველა ელემენტი განიხილება, როგორც აბსოლუტურად ხისტი;
3. ჩამოქანების შტოს ლენტის მონაკვეთის წინააღობა გამორიცხულია;
4. ამძრავზე ლენტის შემოხვევის კუთხის საწყისად მიღებულია ჩამოქანების წერტილი (წერტილი A იხ. ნახ. 2.1)

მოქნილი ძაფის ელემენტარული უბნისათვის, როდესაც საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმი არ იქმნება, წონასწორობის განტოლებას აქვს სახე $dS = \mu S d\alpha$

ვაკუუმის შემთხვევაში კი გვექნება $dS = \mu(S d\alpha + pRB d\alpha)$ (2.1)

საიდანაც $dS/d\alpha = S\mu + pRB\mu$;

სადაც S არის საკონვეიერო ლენტის დაჭიმულობა; μ – ჩაჭიდულობის (ხახუნის) კოეფიციენტი; p – ვაკუუმის სიდიდე; B – საკონვეიერო ლენტის სიგანე;



ნახ. 2.1.

S_1 (სწ)
 S_2 (ს)
 S_1 (სწ)
 S_2 (ს)

(2.1) განტოლება არის S-ის მიმართ პირველი რიგის წრფივი არაერთგვაროვანი დიფერენცია-

ღური განტოლება, რომელიც ზოგადად შეგვიძლია ჩავწეროთ ასე:

$$S' = A(\alpha)S + Q(\alpha) \tag{2.2}$$

შესაბამის ერთგვაროვან დიფერენციალურ განტოლებას ექნება სახე:

$$S' = A(\alpha) S, \quad \text{ანუ} \quad S'/S = A(\alpha)$$

იმის გათვალისწინებით, რომ $dS/S = S'$ ანუ $S'd\alpha = dS$,

შეგვიძლია დავწეროთ: $\int \frac{dS}{S} = \int A(\alpha)d\alpha + c$; ანუ $\ln S = \int A(\alpha)d\alpha + c$;

საიდანაც $S = e^{\int A(\alpha)d\alpha} \cdot e^c = e^{\int A(\alpha)d\alpha} \cdot c_1$;

სადაც $c_1 = f(\alpha)$, რომელსაც ვირჩევთ ისე, რომ დაკმაყოფილდეს (2) განტოლება.

$$S = e^{\int A(\alpha)d\alpha} \cdot c_1(\alpha) \tag{2.3}$$

ანუ
$$S' = A(\alpha)e^{\int A(\alpha)d\alpha} \cdot c_1(\alpha) + e^{\int A(\alpha)d\alpha} \cdot c_1'(\alpha) \tag{2.4}$$

(3) და (4) მნიშვნელობები შევიტანოთ (2) განტოლებაში, მივიღებთ

$$A(\alpha)e^{\int A(\alpha)d\alpha} \cdot c_1(\alpha) + e^{\int A(\alpha)d\alpha} \cdot c_1'(\alpha) = A(\alpha)e^{\int A(\alpha)d\alpha} \cdot c_1(\alpha) + Q(\alpha)$$

საიდანაც

$$c_1'(\alpha)e^{\int A(\alpha)d\alpha} = Q(\alpha)$$

ანუ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$c_1'(\alpha) = Q(\alpha)e^{-\int A(\alpha)d\alpha},$$

ხოლო

$$c_1(\alpha) = Q(\alpha)e^{-\int A(\alpha)d\alpha} \cdot d\alpha + c \tag{2.5}$$

თუ (2.5) გამოსახულებას შევიტანოთ (2.3) ფორმულაში, მივიღებთ

$$S = e^{\int A(\alpha)d\alpha} \left[\int Q(\alpha)e^{-\int A(\alpha)d\alpha} d\alpha + c \right] \tag{2.6}$$

თუ (2.6) გამოსახულებას ჩავწეროთ ჩვენ მიერ მიღებული აღნიშვნებით,

$$\mu = A(\alpha) \text{ და } pRB\mu = Q(\alpha)$$

მაშინ მივიღებთ (2.1) განტოლების ამოხსნას, რომელსაც ექნება სახე:

$$S = e^{\int \mu d\alpha} \left(\int_0^\alpha pRB\mu R^0 \cdot d\alpha + c \right) \tag{2.7}$$

ჩავთვალოთ, რომ $\mu = \text{const}$, მაშინ (2.7) განტოლება შეიძლება ჩავწეროთ სემდეგნაირად

$$S = e^{\mu\alpha} \left(RB\mu \int_0^\alpha p(\alpha)e^{-\mu\alpha} d\alpha + c \right) \tag{2.8}$$

როდესაც $\alpha = 0$, $S_1 = c = S_C$; და როდესაც $\alpha = \alpha_{max}$, $S = S_{sw}$;

მაშინ (2.8) განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$S_{sw} = e^{\mu\alpha_{max}} \left(RB\mu \int_0^{\alpha_{max}} p(\alpha) e^{-\mu\alpha} d\alpha + S_C \right)$$

აქედან ვაკუუმ-დოლის წვეის ძალა

$$F_{max} = e^{\mu\alpha_{max}} RB\mu \int_0^{\alpha_{max}} p(\alpha) e^{-\mu\alpha} d\alpha + S_C (e^{\mu\alpha_{max}} - 1) \tag{2.9}$$

მიღებული (2.9) განტოლება, საკონტროლო რგოლურ ჭვრიტეში ნულოვანი ($P=0$) ვაკუუმის შემთხვევაში გვაძლევს ეილერის ცნობილ განტოლებას

$$F_{max} = S_C (e^{\mu\alpha_{max}} - 1)$$

ხოლო თუ მივიღებთ, რომ საკონვეიერო ლენტისა და ამძრავი ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირების მიერ შექმნილ რგოლურ ჭვრიტეში თანაბრად განაწილებული ($P(\alpha) = \text{const}$) და მაქსიმალური მნიშვნელობის ვაკუუმი იქმნება, მაშინ (9) განტოლება შეიძლება ჩავწეროთ ასე:

$$F_{max} = e^{\mu\alpha_{max}} pRB\mu \int_0^{\alpha_{max}} e^{-\mu\alpha} d\alpha + S_C (e^{\mu\alpha_{max}} - 1); \tag{2.10}$$

ეს შედეგი შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგნაირადაც

$$F_{max} = P(e^{\mu\alpha_{max}} - 1) + S_C (e^{\mu\alpha_{max}} - 1) \tag{2.11}$$

სადაც

$$P = pRB \tag{2.12}$$

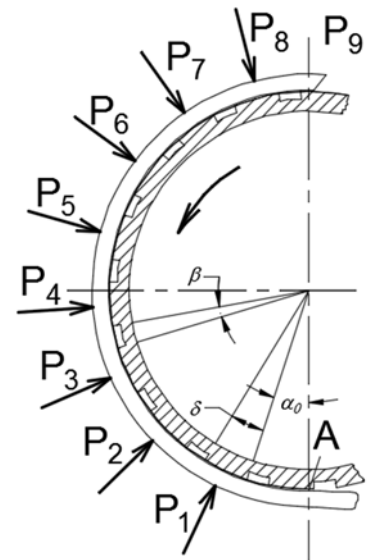
ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე საკონვეიერო ლენტის ერთეულოვანი კუთხის შესაბამის რკალზე შექმნილი ვაკუუმით მიღებული დამატებითი მიჭერის ძალაა, ხოლო გამოსახულება (2.11), რომელშიც გავითვალისწინებთ (2.12)-ს

$$F_{max} = pRB(e^{\mu\alpha_{max}} - 1) + S_C (e^{\mu\alpha} - 1)$$

რაც შეესატყვისება ა.ვ. ევენეიჩის [3] ფორმულას.

თუ ვაკუუმ-დოლის განხილვისას, რომლის მთელი საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმური ზონა დაყოფილია მომუშავე ცალკე ვაკუუმ-ქვეზონებად, დავუშვებთ, რომ: ა) p სიდიდის ვაკუუმი იქმნება და ვრცელდება მხოლოდ δ ცენტრალური კუთხით მოჭიმულ ვაკუუმ-ქვეზონაზე (იხ. ნახ. 2.2), ხოლო მის საზღვრებს გარეთ $p = 0$; ბ) ვაკუუმ-ქვეზონაში ვაკუუმი წყდება ამძრავიდან ტვირთშიდი ლენტის ჩამოქანების წერტილიდან მისი α_0 კუთხურ მანძილზე განლაგებისას. მაშინ (2.10) გამოსახულება შეიძლება გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$F_{max} = e^{\mu\alpha_{max}} pRB\mu \int_{\alpha_0}^{\alpha_0 + \delta} e^{-\mu\alpha} d\alpha + S_C (e^{\mu\alpha_{max}} - 1);$$



ნახ. 2.2.

$$\text{ან } F = e^{\mu\alpha_{\max}} P\left(e^{-\mu\alpha_0} - e^{-\eta(\alpha_0+\delta)} + S_c(e^{\mu\alpha_{\max}} - 1)\right) \quad (2.13)$$

ხოლო n_0 არის მუშა ქვეზონებში ვაკუუმის შექმნისას წვევის ძალების საანგარიშო ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$F = e^{\mu\alpha_{\max}} \sum_{k=1}^{n_m} P\left[e^{-\mu[\alpha_0]+(k-1)(\beta+\delta)} - e^{-\mu[\alpha_0+(k-1)(\beta+\delta)]}\right] + S_c(e^{\mu\alpha_{\max}} - 1); \quad (2.14)$$

სადაც k არის ვაკუუმური ქვეზონის ნომერი (ნახ. 2.2);

β – ვაკუუმ-ქვეზონების შორისი რკალის მომჭიმავი კუთხე.

ვაკუუმ-ქვეზონების კუთხურ ბიჯს თუ აღვნიშნავთ $t = \beta + \delta$, მაშინ ჩავწერთ, რომ

$$F = e^{\mu\alpha_{\max}} \left(1 - e^{-\mu\delta}\right) \sum_{k=1}^{n_m} P e^{-\mu[\alpha_0+t(k-1)]} + S_c(e^{\mu\alpha_{\max}} - 1); \quad (2.15)$$

(2.15) გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს, ვაკუუმის ზონის ნებისმიერ ქვეზონაში შექმნილი ვაკუუმისას განვსაზღვროთ განვითარებული წვევის ძალა.

ამ გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ვაკუუმ-ქვეზონის მდებარეობა ვაკუუმ-დოლის მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მის მიერ განვითარებულ წვევის ძალაზე – კერძოდ, რაც უფრო ახლოს არის განლაგებული ვაკუუმ-ქვეზონა ლენტის ვაკუუმ-დოლიდან ჩამოქანების წერტილიდან (წერტილი A ნახ. 2.1), მით მეტია წვევის ძალის ზრდის ეფექტი.

ამგვარად, ვაკუუმდოლის საკონტაქტო ზედაპირზე განლაგებული ერთნაირი რაოდენობის ვაკუუმ-ქვეზონებისას, იმის მიხედვით, საით არის განლაგებული, ჩამოქანების თუ სწრაფობის წერტილისაკენ, მნიშვნელოვნად განსხვავებულ წვევის ძალებს იძლევა. წვევის ძალების ეს განსხვავება შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$\Delta F = e^{\mu\alpha_{\max}} \left(1 - e^{-\mu\delta}\right) P \left[\sum_{k=n}^{n+n_m-1} e^{-\mu[\alpha_0+t](k-1)} - \sum_{k=\xi}^{\xi-n_m+1} e^{-\mu[\alpha_0+t](k-1)} \right], \quad (2.16)$$

სადაც ξ - ვაკუუმ-დოლზე ლენტის სწრაფობის წერტილში განლაგებული პირველი მუშა ვაკუუმ-ქვეზონის ნომერია და ჩაწერილია ზოგადი სახით

$$\xi = n_s - n + 1;$$

n_s - ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე ლენტის ქვეშ განლაგებული ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობაა;

n – დოლიდან ლენტის ჩამოქანების მხარეს პირველი მუშა ვაკუუმ-ქვეზონის ნომერია;

n_0 – თანამიმდევრულად განლაგებული ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობა;

აღნიშნული ეფექტის რაოდენობრივი შეფასება საშუალებას გვაძლევს, განვსაზღვროთ აშშ ვაკუუმ-დოლის ოპტიმალური პარამეტრები.

(2.15) და (2.16) განტოლებები ამოიხსნა კომპიუტერული პროგრამებით შემდეგი მონაცემებისას (ლაბორატორიული ვაკუუმდოლის დიამეტრი, სიგანე და ა.შ. შეირჩა [3,4] სამუშაოების შესაბამისად):

ვაკუუმ-დოლზე საკონვეიერო ლენტის შემოხვევის კუთხე $\alpha_{\max} = \pi$, დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე ლენტის ჩაჭიდების (ხახუნის) კოეფიციენტი $\mu = (0,1-1,2)$;

ვაკუუმურ-ქვეზონების კუთხური ბიჯი $t = \beta + \delta = 0,33$ რად.;

ვაკუუმურ-ქვეზონის მომჭიმავი ცენტრალური კუთხე $\beta = 0,11$ რად.;

ვაკუუმურ-ქვეზონებს შორისი სეგმენტის მომჭიმი ცენტრალური კუთხე $\delta = 0,22$ რად.;

ვაკუუმის შექმნის დოლზე ლენტის დამატებითი მიჭერის ძალა $P = pRB$.

ვაკუუმ-დოლის რადიუსი $R=0,18$ მ;

საკონვეიერო ლენტის სიგანე $B=0,50$ მ.

გაანგარიშება სრულდებოდა როგორც ცალკეული ვაკუუმური ქვეზონებისათვის 1-დან 9-მდე, ასევე მათი ერთობლივი მუშაობისას, როგორც რაოდენობრივი, ასევე მათი ვაკუუმის ზონაში სხვადასხვა მდებარეობითი განლაგებისათვის.

(2.15) ფორმულით შესრულებული გაანგარიშების მონაცემები წარმოდგენილია (2.1-2.8) ცხრილებში, რომელთა ანალიზი გვიჩვენებს:

ცხრილი 2.1 – ვაკუუმის დოლისა და ლენტის ჩაჭიდების (ხახუნის) კოეფიციენტის ზრდით იზრდება $e^{\mu\alpha_{\max}}$ და $(1 - e^{-\mu\delta})$ თანამამრავლები;

ცხრილი 2.2 – ვაკუუმურ-ქვეზონის რაოდენობა – ერთი; $\alpha_0 = 0$; $e^{-\mu(k-1)}$ თანამამრავლის სიდიდე მცირდება, როგორც ჩაჭიდების კოეფიციენტის ზრდით, ასევე ვაკუუმ-ქვეზონის გადაადგილებით ამძრავიდან საკონვეიერო ლენტის ჩამოქანების წერტილიდან სწრაფობის წერტილისაკენ;

აქვე აღვნიშნავთ, რომ მიღებული დაშვება $\alpha_0=0$, მიზანშეწონილია დავიცვათ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $K \geq 2$.

ვაკუუმ-დოლის წვეის ძალვაზე ვაკუუმ-ქვეზონის ადგილმდებარეობისა და ჩაჭიდების კოეფიციენტის მნიშვნელობის კომპლექსური ანალიზი გვიჩვენებს შემდეგს: როდესაც $\mu=0,9$; №9 ვაკუუმ-ქვეზონისათვის $e^{-\mu(k-1)} = 0,092$, ხოლო, როდესაც $\mu=0,1$, №2 ვაკუუმ-ქვეზონისათვის $e^{-\mu(k-1)} = 0,968$; ანუ თანამამრავლის სიდიდე იზრდება $\frac{0,968}{0,092} \approx 11$, რაც გვაძლევს საფუძველს დავასკვნათ, რომ თუ არ არის საშუალება მთელი შემოხვევის კუთხის რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის შექმნისა, მაშინ მაქსიმალური წვეის ძალების მიღების მიზნით უმჯობესია ვაკუუმ-ზონა განვაღაგოთ ვაკუუმ-დოლიდან საკონვეიერო ლენტის ჩამოქანების მხარეს.

ცხრილი 2.3 – ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობა იზრდება თანამიმდევრულად ერთიდან ცხრამდე სწრაფობის წერტილიდან ლენტის ჩამოქანების წერტილისაკენ;

ცხრილი 2.4 – ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობა იზრდება თანამიმდევრულად ერთიდან ცხრამდე ლენტის ჩამოქანების წერტილიდან სწრაფობის წერტილისაკენ. $\mu = 0,1$

მე-3 და მე-4 ცხრილების მონაცემების შედარება გვიჩვენებს, რომ როდესაც ვაკუუმ-ქვეზონების ორიდან ცხრამდე გაზრდისას მე-4 და მე-3 ცხრილების მონაცემების

შეფარდება იცვლება $1,97/1,56=1,26$ -დან $7,92/7,92=1$ -მდე, ხოლო $\mu=0,9$. ეს შეფარდება იცვლება $1,74/0,22=7,91$ -დან $3,62/3,62=1$ -მდე.

მიღებული შედეგების მიხედვით შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა: რაც მეტია ჩაჭიდების კოეფიციენტი ან მცირეა მუშა ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობა, მით აუცილებელია ვაკუუმის ზონის განლაგება ვაკუუმ-დოლიდან ლენტის ჩამოქანების წერტილთან ახლოს. გარდა აღნიშნულისა, ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით შეიძლება ვაკუუმ-ქვეზონების ოპტიმალური რაოდენობის, მათი განლაგების და სხვა ტექნიკური მანევრებლების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა, მაღალი წვეის ფაქტორიანი ვაკუუმ-დოლის მიღების მიზნით.

2.5 ცხრილში მოცემულია (2.15) ფორმულით გაანგარიშებული ვაკუუმ-დოლის წვეის ძალები, სხვადასხვა საწყისი დაჭიმულობისა და სხვადასხვა რაოდენობის ვაკუუმ-ქვეზონებისას, რომლებიც განლაგებულია ვაკუუმ-დოლზე საკონვეიერო ლენტის შემოხვევის კუთხის სხვადასხვა მხარეს, როგორც ჭვრიტეში მუდმივი მნიშვნელობისა. ვაკუუმი $p=0,94$ ბარი და ჩაჭიდების კოეფიციენტი $\mu=0,63$ (განისაზღვრება ცდების შედეგებით).

ამ ცხრილის მონაცემების მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ ვაკუუმ-დოლზე საკონვეიერო ლენტის შემოხვევის კუთხეზე რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმ-ქვეზონების მუშა რაოდენობებისა და განლაგების შესახებ.

(2.15) ფორმულის საშუალებითვე შეიძლება განისაზღვროს ვაკუუმ-დოლის წვეის ფაქტორი.

ვარდობას, როდესაც $\frac{S_{sv}}{P} = \frac{S_{sv}}{pRB}$ ეწოდება ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წვეის ფაქტორი.

(2.15) განტოლების მიხედვით, საკუთარი წვეის ფაქტორი

$$\frac{S_{sw}}{P} = \frac{S_{sw}}{pRB} = \left(e^{\mu\alpha} - \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\delta}} \right) \sum_{n=1}^{n_m} e^{-\mu\tau(k-1)} \quad (2.17)$$

ხოლო ვაკუუმ-დოლის საერთო (ზოგადი) წვეის ფაქტორი, როდესაც კონვეიერის კონტურში, ამა თუ იმ პირობებიდან გამომდინარე, ლენტის საწყისი დაჭიმულობა არის შექმნილი

$$\frac{S_{sw}}{S_c} = e^{\mu\alpha} \left[\frac{pRB}{S_c} \left(1 - e^{-\mu\delta} \right) \sum_{k=1}^{n_m} e^{-\mu\tau(k-1)} + 1 \right], \quad (2.18)$$

მოცემული კონკრეტული ამძრავისათვის, ამ გამოსახულებაში ცვლადი სიდიდეები შეიძლება იყოს ლენტის საწყისი $S_{sv} = S_{\beta}$ დაჭიმულობა და ლენტის ქვეშ რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის p მნიშვნელობა.

(2.18) ფორმულის ამონახსნები, როდესაც $p=0,94$ ბარს. $\mu=0,63$ (განისაზღვრება ცდის შედეგებით) და $S_{\beta}=10-3400$ დკნ, – დაფიქსირებულია 2.6 ცხრილში, რომელიც საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ ვაკუუმ-დოლის მოცემული ტიპის გამოყენების არე მიზანშეწონილია განისაზღვროს აუცილებელი საწყისი დაჭიმულობის S_{β} მნიშვნელობისა

და ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე საკონვეიერო ლენტის დამატებითი მიჭერით შექმნილი ძალის მიხედვით.

აჰმ ვაკუუმ-დოლის რაციონალური გამოყენების არე განისაზღვრება $S_f = pRB$ გამოსახულებიდან უფრო დიდი საწყისი დაჭიმულობისას ვაკუუმის შექმნით მიღებული საკონვეიერო ლენტის ამძრავ დოლზე დამატებითი მიჭერის ძალის ეფექტი მცირდება, თუმცა ვაკუუმ-დოლის ეფექტურად გამოყენების ზონად შეიძლება მივიღოთ $S_f \leq 2pRB$.

2.7 და 2.8 ცხრილებში მოყვანილია (2.17) ფორმულის საშუალებით გამოთვლილი ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წვეის ფაქტორი, ლენტისა და დოლის საკონტაქტო ზედაპირების სხვადასხვა ჩაჭიდების კოეფიციენტისას, ვაკუუმ-ქვეზონის რაოდენობისას და საკონტაქტო ზედაპირზე მათი შემოხვევის კუთხის სხვადასხვა მხარეს განლაგებისას.

მოცემული ცხრილების ანალიზით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წვეის ფაქტორის მინიმალურად შემცირებისა და ერთდოლიანი კომპაქტური ამძრავი ვაკუუმ-დოლის დაპროექტების მიზნით ლენტის სწრაფობის მხარეს მთელი შემოხვევის კუთხის 1/5 ნაწილზე შესაძლებელია ვაკუუმ-ქვეზონების შემცირება, სწორედ ეს ზონა არის საკონტაქტო ზედაპირის შედარებითი სიმშვიდის ზონა ანუ ამძრავი ვაკუუმ-დოლის წვეის ძალების მარაგი.

ცხრილი 2.1.

ჩაჭიდების (ხახუნის) კოეფიციენტი μ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
წვეის ფაქტორი $e^{-\mu\alpha_{max}}$	1,369	1,87	2,56	3,51	4,81	6,586	9,01	12,34	16,9
$e^{-\mu\delta}$	0,977	0,955	0,933	0,912	0,893	0,872	0,861	0,838	0,813
$\alpha_{max}=\pi$	$\delta = 0,22$ რად								
$1-e^{-\mu\delta}$	0,023	0,045	0,067	0,088	0,117	0,128	0,139	0,170	0,187

ცხრილი 2.2.

$e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$	$t=\beta+\delta=0,33; \alpha_0=0; \beta=0,11; \delta=0,22$ რად								
გრძივი ღარის ნომერი K	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ჩაჭიდების კოეფიციენტი μ									
0,1	1,0	0,968	0,936	0,905	0,876	0,848	0,820	0,793	0,768
0,2	1,0	0,936	0,876	0,820	0,768	0,719	0,673	0,630	0,590
0,3	1,0	0,905	0,820	0,743	0,673	0,609	0,552	0,500	0,453
0,4	1,0	0,876	0,768	0,673	0,590	0,516	0,453	0,396	0,347
0,5	1,0	0,848	0,719	0,609	0,516	0,438	0,371	0,315	0,267
0,6	1,0	0,820	0,673	0,552	0,453	0,371	0,304	0,250	0,205
0,7	1,0	0,793	0,630	0,500	0,396	0,315	0,250	0,198	0,157
0,8	1,0	0,768	0,590	0,453	0,347	0,267	0,205	0,157	0,121
0,9	1,0	0,743	0,552	0,410	0,304	0,226	0,168	0,125	0,092

ცხრილი 2.3.

$\sum_{K=9}^1 e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$	$\alpha_0=0; \quad \beta=0,11; \quad \delta=0,22; \quad t=0,33$ რად								
გრძივი ღარის Σ ნომერი ჩაჭიდების μ კოეფიციენტი	$n=1$ 9	$n=2$ 9, 8	$n=3$ 9, 8, 7	$n=4$ 9÷6	$n=5$ 9÷5	$n=6$ 9÷4	$n=7$ 9÷3	$n=8$ 9÷2	$n=9$ 9÷1
0,1	0,7679	1,5617	2,3820	3,2299	4,1063	5,0120	5,9481	6,9157	7,9157
0,2	0,5897	1,2198	1,8928	2,6117	3,3797	4,2000	5,0764	6,0125	7,0125
0,3	0,4529	0,9530	1,5051	2,1146	2,7877	3,5307	4,3511	5,2563	6,2568
0,4	0,3478	0,7447	1,1977	1,7145	2,3043	2,9773	3,7453	4,6216	5,6216
0,5	0,2671	0,5821	0,9537	1,3920	1,9088	2,5184	3,2373	4,0852	5,0852
0,6	0,2051	0,4552	0,7600	1,1316	1,5845	2,1366	2,8096	3,6300	4,6300
0,03	0,0143	0,0298	0,0462	0,0631	0,0799	0,0955	0,1084	0,1164	0,1164
0,7	0,1575	0,3560	0,6061	0,9211	1,3181	1,8181	2,4482	3,2419	4,2419
0,8	0,1209	0,2785	0,4837	0,7508	1,0986	1,5516	2,1414	2,9093	3,9093
0,9	0,0929	0,2129	0,3862	0,6127	0,9176	1,3276	1,8799	2,6230	3,6230

ცხრილი 2.4.

$\sum_{K=1}^9 e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$	$\alpha_0=0; \quad \beta=0,11; \quad \delta=0,22; \quad t=0,33$ რად								
გრძივი ღარის Σ ნომერი ჩაჭიდების μ კოეფიციენტი	$n=1$ 1	$n=2$ 1, 2	$n=3$ 1, 2, 3	$n=4$ 1÷4	$n=5$ 1÷5	$n=6$ 1÷6	$n=7$ 1÷7	$n=8$ 1÷8	$n=9$ 1÷9
0,1	1,000	1,9675	2,9036	3,8094	4,6857	5,5336	6,3540	7,1477	7,9157
0,2	1,000	1,9361	2,8124	3,6328	4,4008	5,1197	5,7927	6,4227	7,0125
0,3	1,000	1,9057	2,7261	3,4691	4,1421	4,7517	5,3038	5,8039	6,2568
0,4	1,000	1,8763	2,6443	3,3173	3,9071	4,4239	4,8768	5,2738	5,6216
0,5	1,000	1,8478	2,5668	3,1763	3,6932	4,1314	4,5030	4,8181	5,0852
0,6	1,000	1,8203	2,4933	3,0454	3,4984	3,8700	4,1748	4,4249	4,6300
0,03	1,000	0,00825	0,0208	0,0365	0,0533	0,0702	0,0867	0,1022	0,1164
0,7	1,000	1,7937	2,4237	2,9238	3,3207	3,6358	3,8858	4,0843	4,2419
0,8	1,000	1,7679	2,3577	2,8106	3,1585	3,4256	3,6308	3,7883	3,9093
0,9	1,000	1,7430	2,2951	2,7054	3,0102	3,2367	3,4050	3,5300	3,6230

ცხრილი 2.5.

გაკუმ-დოლის თეორიული წევის ძალა, დკნ (სველი ხახუნის პირობებში)									
გრძივი ღარის Σ ნომერი ღენტის დაჭიმ. S_b , დკნ	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$	$n=9$
	$\frac{1}{9}$	$\frac{1-2}{9-8}$	$\frac{1-3}{9-7}$	$\frac{1-4}{9-6}$	$\frac{1-5}{9-5}$	$\frac{1-6}{9-4}$	$\frac{1-7}{9-3}$	$\frac{1-8}{9-2}$	$\frac{1-9}{9-1}$
50	$\frac{1114}{465}$	$\frac{1756}{653}$	$\frac{2292}{885}$	$\frac{2719}{1168}$	$\frac{3076}{1519}$	$\frac{3361}{1950}$	$\frac{3586}{2479}$	$\frac{3778}{3131}$	$\frac{3930}{3930}$
200	$\frac{2050}{1401}$	$\frac{2692}{1589}$	$\frac{3228}{1821}$	$\frac{3655}{2105}$	$\frac{4012}{2455}$	$\frac{4297}{2886}$	$\frac{4522}{3415}$	$\frac{4714}{4067}$	$\frac{4866}{4866}$
400	$\frac{3298}{2649}$	$\frac{3940}{2837}$	$\frac{4476}{3069}$	$\frac{4903}{3353}$	$\frac{5260}{3703}$	$\frac{5545}{4134}$	$\frac{5770}{4663}$	$\frac{5962}{5315}$	$\frac{6114}{6114}$
500	$\frac{3927}{3278}$	$\frac{4569}{3466}$	$\frac{5105}{3698}$	$\frac{5532}{3982}$	$\frac{5889}{4332}$	$\frac{6174}{4763}$	$\frac{6399}{5292}$	$\frac{6591}{5944}$	$\frac{6743}{6743}$

ცხრილი 2.6.

N	S_b , დკნ	$\frac{S_c}{S_{sw}}$	N	S_b , დკნ	$\frac{S_c}{S_{sw}}$
1	10	326,7	16	1000	9,80
2	20	166,65	17	1200	9,27
3	30	113,3	18	1300	9,06
4	40	86,63	19	1400	8,88
5	50	78,6	20	1500	8,74
6	100	38,61	21	1600	8,60
7	150	27,94	22	1800	9,37
8	200	24,33	23	2000	8,20
9	300	17,27	24	2200	8,05
10	400	15,28	25	2400	7,93
11	500	13,49	26	2600	7,83
12	600	11,93	27	2800	7,74
13	700	11,12	28	3000	7,67
14	800	10,60	29	3200	7,60
15	900	10,16	30	3400	7,54

ცხრილი 2.7.

ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წვევის ფაქტორი $\alpha_0=0; \alpha_{max}=\pi$									
$F'/P_K = \left(e^{\mu\alpha} - \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\delta}} \right) \sum_{K=9}^1 e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$									
გრძივი ღარის \sum ნომერი ნაჭიდ. μ კოეფიციენტი	$n=1$ 9	$n=2$ 9, 8	$n=3$ 9, 8, 7	$n=4$ 9÷6	$n=5$ 9÷5	$n=6$ 9÷4	$n=7$ 9÷3	$n=8$ 9÷2	$n=9$ 9÷1
0,1	0,0242	0,0492	0,0750	0,1017	0,1293	0,1578	0,1873	0,2177	0,2492
0,2	0,0496	0,1026	0,1593	0,2198	0,2844	0,3534	0,4272	0,5059	0,5901
0,3	0,0777	0,1638	0,2581	0,3627	0,4781	0,6056	0,7465	0,9016	1,0732
0,4	0,1074	0,2300	0,3699	0,5296	0,7117	0,9196	1,1568	1,4275	1,7364
0,5	0,1503	0,3276	0,5367	0,7834	1,0742	1,4173	1,8218	2,2990	2,8618
0,6	0,1729	0,3837	0,6406	0,9539	1,3357	1,8012	2,3685	3,0601	3,9031
0,7	0,1972	0,4458	0,7591	1,5381	1,6508	2,2770	3,0661	4,0601	5,3125
0,8	0,2536	0,5342	1,0147	1,5750	2,3046	3,2549	4,4922	6,1031	8,2009
0,9	0,2936	0,6886	1,2205	1,9363	2,8999	4,1962	5,9410	8,2895	11,4497

ცხრილი 2.8.

ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წვევის ფაქტორი $\alpha_0=0; \alpha_{max}=\pi$									
$F'/P_K = \left(e^{\mu\alpha} - \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\delta}} \right) \sum_{K=1}^9 e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$									
გრძივი ღარის \sum ნომერი ნაჭიდ. μ კოეფიციენტი	$n=1$ 1	$n=2$ 1, 2	$n=3$ 1, 2, 3	$n=4$ 1÷4	$n=5$ 1÷5	$n=6$ 1÷6	$n=7$ 1÷7	$n=8$ 1÷8	$n=9$ 1÷9
0,1	0,031487	0,0619	0,0914	0,0199	0,1475	0,1742	0,2000	0,2250	0,2492
0,2	0,08415	0,1629	0,2366	0,3057	0,3703	0,4308	0,4874	0,5404	0,5901
0,3	0,17520	0,3263	0,4676	0,5950	0,7104	0,8150	0,9097	0,9955	1,0732
0,4	0,30888	0,5795	0,8168	1,0240	1,2068	1,3664	1,5063	1,6290	1,7364
0,5	0,56277	1,0399	1,4445	1,7875	2,0784	2,3250	2,5341	2,7115	2,8618
0,6	0,843008	1,5345	1,1018	2,5673	2,9492	3,2624	3,5194	3,7302	3,9031
0,7	1,25239	2,2464	3,0354	3,6617	4,1588	4,5534	4,8665	5,1151	5,3123
0,8	2,0278	3,7087	4,9460	5,8960	6,6259	7,1862	7,8167	7,9471	8,2009
0,9	3,1603	5,5084	7,2532	8,5499	9,5131	10,2289	10,7608	11,1558	11,4497

2.4. ამძრავი ვაკუუმ-დოლის ვაკუუმური მექანიზმების ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრების გაანგარიშება

ამძრავი ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირის პარამეტრები: გრძივი ღარის სიგანე განისაზღვრება დამოკიდებულებებით [1]: $b = (0.045 - 0.055) \cdot D$ (სადაც D დოლის დიამეტრია); გრძივი ღარის სიგრძე - $l = (0.8 - 0.85) \cdot B$ (სადაც B საკონვეიერო ლენტის სიგანეა); თუ გრძივი ღარის სიღრმეს აღვნიშნავთ h_1 -ით, მაშინ ღარის მოცულობა $V = b \cdot h_1 \cdot l = 0.055 \cdot D \cdot 0.85 \cdot B \cdot h_1 = 0.047 \cdot B \cdot D \cdot h_1$.

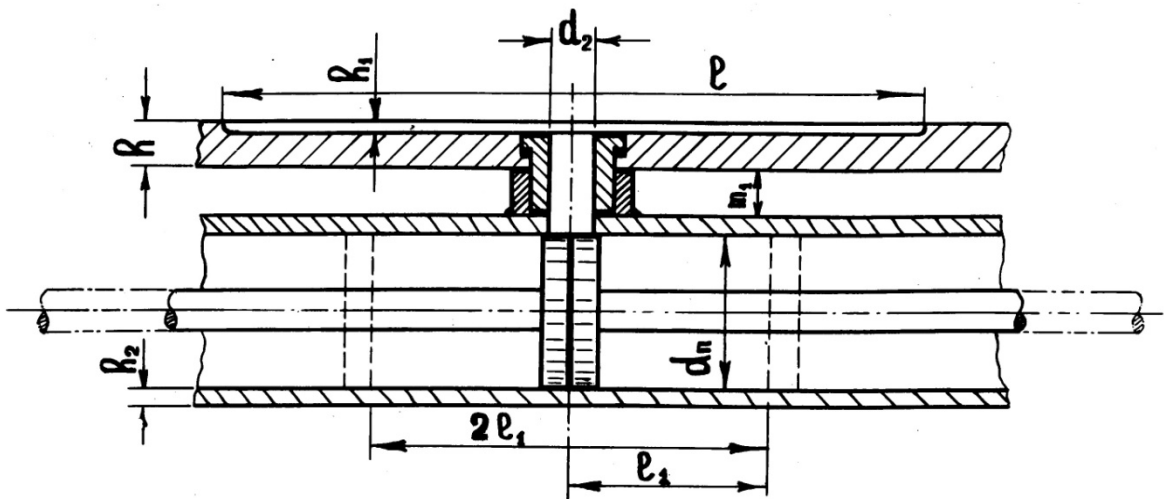
ავტონომიური ვაკუუმურმექანიზმებიანი (აშმ) ამძრავი ვაკუუმ-დოლების ერთ-ერთი საპასუხისმგებლო კონსტრუქციული ელემენტი, რომელიც უზრუნველყოფს ვაკუუმის პროგრამულ ცვლილებას და რომლის საშუალებითაც მიიღწევა მაღალი წევის ფაქტორი, ვაკუუმური მექანიზმებია. ამ მექანიზმების გაანგარიშებისას, თუ გავითვალისწინებთ ამძრავი დოლის საკონტაქტო ზედაპირის პარამეტრებს, მივიღებთ მაღალი წევისფაქტორიანი კომპაქტური ლენტური კონვეიერის ამძრავის დაპროექტების რეალურ შესაძლებლობას. ვაკუუმ-დოლის ცნობილ კონსტრუქციებში მისი ზედაპირის კონსტრუქციული კოფიციენტი ანუ ზედაპირზე განთავსებული გრძივი ღარისა და ორ გრძივ ღარს შორის სეგმენტის სიგანეთა ურთიერთანაფარდობა არის $K = 0.45 - 0.55$ -ის ფარგლებში.

ვაკუუმური სისტემის სრული მოცულობა ერთი გრძივი ღარისათვის, ცილინდრ-დგუშისა და გრძივი ღარის შემაერთებელი ცენტრალური ხვრეტის გათვალისწინებით, იქნება

$$V = 0.047 \cdot B \cdot D \cdot h_1 + \frac{\pi d^2}{4} \cdot m, \tag{2.19}$$

სადაც d არის გრძივი ღარის ვაკუუმურ მექანიზმებთან შემაერთებელი ცენტრალური ხვრეტის დიამეტრი; ის განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$d = \frac{b}{2} = \frac{0.055}{2} \cdot D = 0.0275 \cdot D, \tag{2.20}$$



ნახ. 2.3. აშმ-ის საანგარიშო სქემა

m - ცენტრალური ხვრეტის სიგრძეა და იანგარიშება

$$m = h - h_1 + m_1 + h_2,$$

სადაც h_2 არის ვაკუუმური მექანიზმის ცილინდრის კედლის სისქე, მმ; h - ვაკუუმ-დოლის რკალის სისქე (იხ. ნახ. 2.3), მმ; m_1 - ვაკუუმ-დოლსა და ვაკუუმ-მექანიზმებს შორის ღრეხო, მმ.

ამრიგად, ვაკუუმური სისტემის სრული საწყისი მოცულობა ერთი ვაკუუმური გრძივი ღარისათვის იქნება

$$V = (470 \cdot B \cdot D \cdot h_1 + 5.9 \cdot m \cdot D^2) \cdot 10^{-4}, \quad (2.21)$$

აპმ - ტიპის ავტონომიურ ვაკუუმურმექანიზმებიან ვაკუუმ-დოლისა და საკონვეიერო ლენტის მიერ შექმნილ რგოლურ ჭვრიტეში, ვაკუუმის ფორმირება უზრუნველყოფილია ღარებით წარმოდგენილი საწყისი მოცულობების ცვლილების (გაზრდის) საშუალებით, რაც ხორციელდება მასთან (საწყის მოცულობებთან) მიერთებული ვაკუუმური მექანიზმების დგუშების პერიფერიებისაკენ გადაადგილებით მიღებული დამატებითი მოცულობების ხარჯზე [2]. ამგვარად ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე ლენტის ქვეშ ვაკუუმის ფორმირება შეიძლება ორი წესით:

ა) საწყის მოცულობებში არსებული ჰაერის გადანაწილებით ვაკუუმური მექანიზმის ცენტრალური ხვრეტიდან დგუშების პერიფერიებისაკენ გადაადგილებით მიღებულ დამატებით მოცულობებში;

ბ) საწყის მოცულობებიდან ჰაერის ნაწილობრივი იძულებით გამოდევნით, მფრქვევანით მიწოდებული (წვეთოვანი) სითხის ხარჯზე, რომელიც შემდგომში გაიწოვება ვაკუუმური მექანიზმების საშუალებით [3,4].

ჩვენი სამუშაოს ამოცანა არის (ბ) მეთოდის შესაბამისად, ანუ ელასტოჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ლენტური კონვეიერის ვაკუუმ-დოლური ამძრავების დამუშავება და კვლევა.

სხვადასხვა ფაქტორზე დამოკიდებულებით (ვაკუუმური მექანიზმების კედლების მასალების თვისებები, სითხის ტემპერატურა, გარემო პირობები და ა.შ.) ვაკუუმის ფორმირების პროცესი შეიძლება განვითარდეს სხვადასხვა კანონზომიერებით. თუ ჩავთვლით, რომ ჰაერის გაფართოება ხორციელდება პოლიტროპული კანონის შესაბამისად, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$pV^n = \Delta p \cdot V_1^n, \quad (2.22)$$

საიდანაც
$$V_1 = \sqrt[n]{\frac{p}{\Delta p}} \cdot V,$$

სადაც p არის ატმოსფერული წნევა, პა; Δp -ნარჩენი წნევის მნიშვნელობა ვაკუუმ-მექანიზმებში, პა; V_1 -პროგრამული ვაკუუმის მიღებისათვის საჭირო ვაკუუმური სისტემის საბოლოო მუშა სივრცის (მოცულობის) მნიშვნელობა, მ³; თუ ვაკუუმური მექანიზმების დგუშების გადაადგილებით მიღებული დამატებითი მოცულობის სიდიდე

$$V_{\text{გ}} = V_1 - V = \frac{p^{1/n} - \Delta p^{1/n}}{\Delta p^{1/n}} \cdot V, \quad (2.23)$$

მაშინ ვაკუუმური მექანიზმების დგუშების დიამეტრები განისაზღვრება გამოსახულებით

$$d_{II} = \sqrt{\frac{2 \cdot V \cdot (p^{1/n} - \Delta p^{1/n})}{\Delta p^{1/n} \cdot \pi \cdot l_1}} \quad (2.24)$$

$$\text{ან } d_{II} = \sqrt{\frac{2 \cdot (470 \cdot B \cdot D \cdot h_1 + mD^2) \cdot 10^{-4} \cdot (p^{1/n} - \Delta p^{1/n})}{\Delta p^{1/n} \cdot \pi \cdot l_1}} \quad (2.25)$$

სადაც l_1 არის თითოეული დგუშის სვლა, მმ.

ვაკუუმ-დოლის ტორსულ ბადროში ვაკუუმ-მექანიზმების განთავსების რადიუსი, რომელიც ჭოკის (ცილინდრის) ღერძებზე გაივლის, იანგარიშება დამოკიდებულებით

$$R = \frac{D - 2 \cdot (h + m_1 + h_2) - d_{II}}{2} \quad (2.26)$$

მეორე მხრივ კონსტრუქციის კომპანოვიკისა და სიმტკიცის მიხედვით ვაკუუმ-მექანიზმების ტორსულ ბადროში განთავსების შესაბამისად ჭოკის ღერძებზე გამავალი წრესახის სიგრძე ტოლი იქნება:

$$2\pi R = (d_{II''} + 2 \cdot h_2 + \varepsilon) \cdot n', \quad (2.27)$$

საიდანაც, მოცემული პირობის მიხედვით, დგუშის დიამეტრი

$$d_{II''} = \frac{\pi \cdot [D - 2 \cdot (h + m_1 + h_2)] + n' \cdot (2 \cdot h_2 + \varepsilon)}{n' + \pi} \quad (2.28)$$

სადაც n' არის ვაკუუმ-მექანიზმების რიცხვობრივი მნიშვნელობა; ε – განთავსების წრეზე ვაკუუმ-მექანიზმებს შორის მანძილი (წრის რკალის სიგრძე ვაკუუმ-მექანიზმებს შორის), მმ (იხ. ნახ. 2.3). ε -ის მნიშვნელობა შეგვიძლია ვიანგარიშოთ და ავიღოთ საზღვრებში - $\varepsilon = (0.015 - 0.02) \cdot D$, დგუშის შერჩეული დიამეტრი d_{II^*} კი უნდა იყოს საზღვრებში

$$d_{II} \leq d_{II^*} \leq d_{II''} \quad (2.29)$$

ვიციოთ რა d_{II^*} -ის მნიშვნელობა დანაკარგების (გაქონვების) მხედველობაში მიღების გარეშე, (2.24) ფორმულიდან შეიძლება განვსაზღვროთ ვაკუუმ-მექანიზმის თითოეული დგუშის სვლის მნიშვნელობა (ნახ. 2.3)

$$l_1 = \frac{2 \cdot (470 \cdot B \cdot D \cdot h_1 + 5.9 \cdot mD^2) \cdot 10^{-4} \cdot (p^{1/n} - \Delta p^{1/n})}{\Delta p^{1/n} \cdot \pi \cdot d_{II^*}^2} \quad (2.30)$$

თუ ჩავთვლით, რომ ჰაერის გაფართოების პროცესი მიახლოვებით იზოთერმულია ($n=1$), მაშინ (2.24), (2.25) და (2.30) ფორმულებიდან

$$d_{II} = \sqrt{\frac{2 \cdot V \cdot (p - \Delta p)}{\Delta p \cdot \pi \cdot l_1}} \quad (2.31)$$

ა6

$$d_{II} = \frac{2 \cdot (470 \cdot B \cdot D \cdot h_1 + 5.9 \cdot mD^2) \cdot 10^{-4} \cdot (p - \Delta p)}{\Delta p \cdot \pi \cdot d_{II}^2} \quad (2.32)$$

ხოლო

$$l_1 = \frac{2 \cdot (470 \cdot B \cdot D \cdot h_1 + 5.9 \cdot mD^2) \cdot 10^{-4} \cdot (p - \Delta p)}{\Delta p \cdot \pi \cdot d_{II}^2} \quad (2.33)$$

თუ ავმ ტიპის გრძივდარებიანი ვაკუუმ-დოლისა და საკონვეიერო ლენტით შექმნილ რგოლურ ჭვრიტეში გაიშვიათების ფორმირება ხორციელდება საწყისი მოცულობებიდან ჰაერის მაქსიმალურად შესაძლო გამოდევნით, მფრქვევანით მიწოდებული წვეთოვანი სითხის ხარჯზე, რომელიც შემდგომში გაიწოვება ვაკუუმური მექანიზმების საშუალებით, მაშინ საწყისი მოცულობის შემცირების შესაბამისად შემცირდება დგუშის საჭირო სვლაც და ამძრავი სადგურიც ასევე კომპაქტური იქნება; ხოლო ჰერმეტიკულობის გაზრდისა და სხვა მრავალი ფაქტორის გავლენით იზრდება წვევის ფაქტორი და ამძრავი დოლის წვეთით თვისებები. ზემოთ მოცემული მსჯელობის მიხედვით ვაკუუმური მექანიზმის დგუშის სვლის სიგრძე იქნება

$$l_1 = \frac{2 \cdot [(470 \cdot B \cdot D \cdot h_1 + 5.9 \cdot mD^2) \cdot 10^{-4} - V_{\text{ბოთბ}}] \cdot (p^{1/n} - \Delta p^{1/n})}{\Delta p^{1/n} \cdot \pi \cdot d_{II}^2} \quad (2.34)$$

ამ გამოსახულებაში $V_{\text{ბოთბ}}$ სითხის ის მოცულობაა, რომელმაც შეავსო ვაკუუმ-დოლის შესაბამისი საწყისი მოცულობა. (2.33) ფორმულით დგუშის სვლა გამოთვლილია ჰაერის გაფართოების იზოთერმული პროცესისათვის, შესაბამისად, თუ (2.34) ფორმულით დგუშის სვლას ვიანგარიშებთ შემთხვევისათვის, როდესაც ჰაერის გაფართოების პროცესი ექვემდებარება პოლიტროპულს, მაშინ p და Δp -თვის ხარისხის მაჩვენებლები იქნება $1/n$.

იზოთერმული გაფართოების დროს კი გამოსახულებას ექნება სახე

$$l_{1.\text{ბოთბ}} = \frac{2 \cdot [(470 \cdot B \cdot D \cdot h_1 + 5.9 \cdot mD^2) \cdot 10^{-4} - V_{\text{ბოთბ}}] \cdot (p - \Delta p)}{\Delta p \cdot \pi \cdot d_{II}^2} \quad (2.35)$$

ვაკუუმური მექანიზმების პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდების საფუძველზე უნდა მოხდეს ვაკუუმ-დოლის უძრავი მრუდწირული მიმართველების ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშება, რომელიც განაპირობებს რგოლურ ჭვრიტეში პროგრამული ვაკუუმის მიღებას.

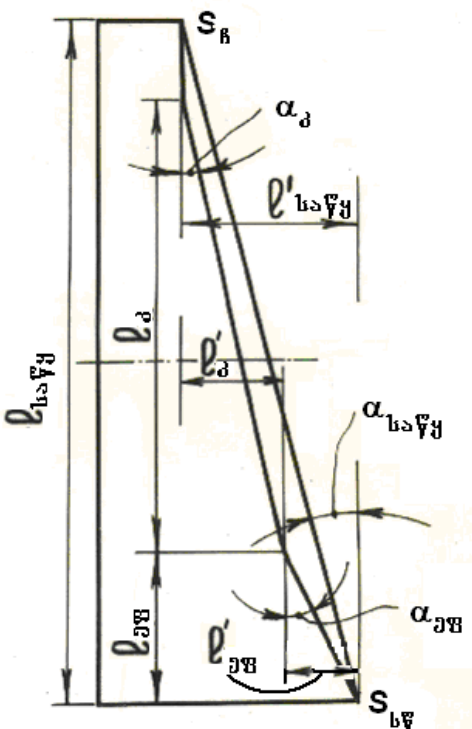
2.5. ვაკუუმ-დოლის ვაკუუმ-მექანიზმების ამძრავი მრუდწირული მიმართველების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა

კონკრეტული კონსტრუქციული პარამეტრების მქონე ავტონომიური ვაკუუმურ-მექანიზმებიანი (ავმ) ტიპის ვაკუუმდოლებისათვის [1] უძრავი მრუდწირული

მიმართველების ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშებისას, ქვემოთ მოყვანილ ჩვენ მოსაზრებებთან ერთად, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია, გავითვალისწინოთ ლეონარდ ეილერის თეორიის (ფორმულის $S_{სწ} \leq S_{წ} \cdot e^{\mu\alpha}$) მიხედვით წარმოდგენილი მრავალჯერად კვლევათა შედეგებიც. კერძოდ, ლენტური კონვეიერების ამძრავი დოლების წვეთით თვისების ანალიზმა, დიდი ხნის წინათ უტყუარად აჩვენა, რომ საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში საკონვეიერო ლენტის ქვეშ დოლზე ლენტის სწრაფობის წერტილიდან შედარებითი სიმშვიდისა და დრეკადი სრიალის რკალების თანმიმდევრულობა და მათი მომჭიმავი კუთხეების გამოკვეთილობა განაპირობებს სატრანსპორტო მექანიზმის მდგრად და შეუფერხებელ, საიმედო მუშაობას. მაშასადამე, წვეთის ძალებში უმნიშვნელო წაგების ხარჯზე, ლენტის ქვეშ, ამძრავი დოლის რგოლურ ჭვრიტეში მაქსიმალური სიდიდის ვაკუუმის ზონის შემცირება შეიძლება მთელი შემოხვევის გეომეტრიული (α_{δ}) კუთხის 1/5 – ნაწილით, შედარებითი სიმშვიდის რკალის ხარჯზე. ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე, ვერტიკალურ სიბრტყეზე, უძრავი მრუდწირული მიმართველის იმ ნაწილის პროექციის სიგრძე, რომელიც ლენტის ქვეშ ამძრავი დოლის ზედაპირზე (შედარებითი სიმშვიდის რკალზე) უზრუნველყოფს მაქსიმალური სიდიდის პროგრამულ ვაცუუმს. ვაკუუმის ფორმირების ეფექტური ზონის სიგრძე (იხ. ნახ. 2.4) იქნება

$$l_{\text{ვგ}} = 0.2\alpha_{\delta} R_{\text{მრ}} \tag{1}$$

სადაც α_{δ} არის ამძრავ დოლზე საკონვეიერო ლენტის შემოხვევის კუთხე; $R_{\text{მრ}}$ – მრუდწირული მიმართველის ვერტიკალურ სიბრტყეში პროექციის რადიუსი, რომელიც იმაგდროულად ვაკუუმ-დოლის ცილინდრ-დგუშების ღერძებს ემთხვევა და განისაზღვრება გამოსახულებით (იხ. ნახ. 2.4 [1])



$$R_{\text{მრ}} = R = \frac{D - 2(\tilde{h}_1 + \tilde{h}_2) - d_{\text{დგ.სტ}}}{2}, \tag{2}$$

სადაც D არის ამძრავი დოლის დიამეტრი; $d_{\text{დგ.სტ}}$ ვაკუუმ-მექანიზმის ცილინდრ-დგუშის სტანდარტული დიამეტრი და იმყოფება თანაფარდობაში $d_{\text{დგ}} \leq d_{\text{დგ.სტ}} \leq d_{\text{სიმტკ}}$, სადაც $d_{\text{დგ}}$ და $d_{\text{სიმტკ}}$ შესაბამისად ცილინდრ-დგუშების დიამეტრებია, საანგარიშო და ამძრავი დოლის საკვანძო ელემენტების სიმტკიცეიდან გამომდინარე.

ჰაერის პოლიტროპული კანონის შესაბამისად გაფართოებისას შედარებითი სიმშვიდის რკალის ზონაში, უძრავი მრუდწირული მიმართველის დახრის კუთხის ტანგენსი ვერტიკალური სიბრტყის მიმართ (იხ. ნახ. 2.4) იქნება

$$\text{tg}\alpha_{\text{ვგ}} = \frac{l'_{\text{ვგ}}}{l_{\text{ვგ}}} = \frac{(470BD\tilde{h}_1 + 5,9mD^2) \cdot 10^{-4} (\rho_s^{1/n} - \Delta p^{1/n})}{\pi d_{\text{დგ(სტ)}} \cdot \alpha_{\delta} R_{\text{მრ}} \Delta p^{1/n}}, \tag{3}$$

ნახ. 2.4. მრუდწირული მიმართველის საანგარიშო სქემა

სადაც $l'_{ფ} = l_1$ არის ამძრავი დოლის ვაკუუმმექანიზმის დგუშის სვლის სიგრძე, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს იმ შემთხვევისათვისაც, როდესაც ჰაერის გაფართოების პროცესი მიახლოებით იზოთერმულია ($n=1$) (იხ. განტოლება 15, 16) [1].

უძრავი მრუდწირული მიმმართველის შემდგომ l_3 უბანზე, რომელიც დოლიდან საკონვეიერო ლენტის ჩამოქანების წერტილამდე გრძელდება, დგუშები სვლის $l'_{ფ}$ სიგრძით აგრძელებენ პერიფერიებისაკენ მოძრაობას, რის ხარჯზეც ხდება ვაკუუმის კარგვის კომპენსაცია, თუ კი ეს აღინიშნება, (განსაკუთრებით მშრალი სახუნისას), მაგალითად, ვაკუუმ-დოლისა და საკონვეიერო ლენტის პირობითი რგოლური ჭვრიტედან და ა.შ.

უძრავი მიმმართველის ვერტიკალურ სიბრტყეზე რკალის პროექციის l_3 სიგრძე ანუ ვაკუუმის საკომპენსაციო ზონის სიგრძე,

$$l_3 \leq 0,8R_{გზ} \cdot \alpha_3 \tag{4}$$

ვაკუუმ-მექანიზმების დგუშთა ჭოკების ბოლოვანების l_3 რკალის გასწვრივ მოძრაობის დრო

$$t = \frac{0,8R_{გზ} \cdot \alpha_3}{v}, \tag{5}$$

სადაც v არის ჭოკის ბოლოვანების წრიული სიჩქარის პროექცია. ვაკუუმ-სისტემის საბოლოო მოცულობაში გაზის მდგომარეობის (საკომპენსაციო ზონის დასაწყისში) განტოლებას ექნება სახე:

$$\Delta pV_1 = G_1 R_{გზ} \cdot T_1, \tag{6}$$

ხოლო საკომპენსაციო ზონის ბოლო პოზიციაზე ეს განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\Delta pV_2 = G_2 R_{გზ} \cdot T_2, \tag{7}$$

სადაც $V_2 = V_1 + V_3$ არის ვაკუუმ-სისტემის მოცულობა საკომპენსაციო ზონის ბოლოში;

V_1 - ვაკუუმ-სისტემის მოცულობა გაუხშობების ფორმირების ეფექტური ზონის ბოლოში;

V_3 - ე.წ. საკომპენსაციო მოცულობა ანუ ის მოცულობა, რომელიც მიიღება დგუშის

საკომპენსაციო ზონაში მოძრაობით; G_1 - გაზის წონა ჩაკეტილ ვაკუუმურ მოცულობაში;

$G_2 = G_1 + \gamma \Delta V t$, V_2 - მოცულობაში გაზის წონა; ΔV - ჰაერის (გაზის) მყისური მოდინება

(ანუ გაპარვები); γ - ატმოსფერული ჰაერის მოცულობითი წონა; $R_{გზ}$ - გაზის მუდმივა;

T_1 და T_2 - ჰაერის აბსოლუტური ტემპერატურა.

ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების უგულებელყოფის შემთხვევაში, დგუშის მიერ საკომპენსაციო უბანში შესრულებული სვლის სიგრძე შეიძლება განესაზღვროთ ფორმულით

$$l'_3 = \frac{1,6\gamma \Delta V R_{გზ} R_{გზ} T \alpha_3}{\pi d_{გზ}^2 (სტ) v \Delta p}, \tag{8}$$

მრუდწირული მიმართველის საკომპენსაციო უბნის დახრის კუთხის ტანგენსი

$$\operatorname{tg}\alpha_j = \frac{\ell'_j}{\ell_j} = \frac{2\gamma\Delta VR_{\text{გაზ}} T}{\pi d_{\text{გ(სტ)}}^2 \nu \Delta p}, \quad (9)$$

საკომპენსაციო უბნის ℓ_j სიგრძის ჭოკის ბოლოვანებით გავლის შემდეგ, ვაკუუმ-მექანიზმის დგუშები იწყებს საწყისი მდგომარეობისაკენ სვლას (ამ მომენტისათვის ლენტი დოლის შესატყვის ზედაპირს აღარ ფარავს), რაც ხორციელდება უძრავი მრუდწირული მიმართველის შესაბამისი პროფილის საშუალებით, რომლის სიგრძის პროექცია

$$\ell_{\text{საწყ.}} \mathbf{I} = \mathbf{R}_{\text{გრ.}} (2\pi - \alpha_{\text{გ}}) \quad (10)$$

დგუშის წინსვლით-უკუსვლითი მოძრაობის ჯამური სიგრძე იქნება

$$\ell'_{\text{საწყ.}} = \ell'_{\text{ფშ}} + \ell'_j \quad (11)$$

შესაბამისად მრუდწირული მიმართველის ამ მონაკვეთის დახრის კუთხის ტანგენსი

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{საწყ.}} = \frac{\ell'_{\text{ფშ}} + \ell'_j}{\ell_{\text{საწყ.}}} = \frac{2(470B\dot{h}_1 + 5,9mD^2) \cdot 10^{-4} \cdot (p_s^{1/n} - \Delta p^{1/n})}{\pi d_{\text{გ(სტ)}}^2 R_{\text{გრ.}} (2\pi - \alpha_{\text{გ}}) \Delta p^{1/n}} + \frac{1,6\gamma\Delta VR_{\text{გაზ}} T \alpha_{\text{გ}}}{\pi d_{\text{გ(სტ)}}^2 \Delta p \nu (2\pi - \alpha_{\text{გ}})} \quad (12)$$

ხოლო საქშენის საშუალებით დოლისა და ლენტის საკონტაქტო ზედაპირებზე სითხის მიწოდების შემთხვევაში, როდესაც საწყისი მოცულობები ნაწილობრივად უკვე შევსებულია მიწოდებული სითხით, მრუდწირული მიმართველის სხვადასხვა (ეფექტურის, საკომპენსაციოსა და საწყის მდგომარეობამდე დაბრუნების) ნაწილის შესაბამისი უბნების დახრის კუთხის საანგარიშო ფორმულებს (სითხის მიწოდებისას ნარჩენი ჰაერის გაფართოების პროცესი მიახლოებით იზოთერმულია) ექნება სახე:

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{ფშ}} = \frac{10[(470BD\dot{h}_1 + 5,9mD^2)10^{-4} - V_{\text{სითხ}}](p_s - \Delta p)}{\pi d_{\text{გ(სტ)}}^2 R_{\text{გრ.}} \alpha_{\text{გ}} \Delta p}; \quad (13)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_j = \frac{2\gamma\Delta VR_{\text{გაზ}} T}{\pi d_{\text{გ(სტ)}}^2 \nu \Delta p}; \quad (14)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{საწყ.}} = \frac{2[(470BD\dot{h}_1 + 5,9m)10^{-4} - V_{\text{სითხ}}](p_s - \Delta p)}{\pi d_{\text{გ(სტ)}}^2 R_{\text{გრ.}} (2\pi - \alpha_{\text{გ}}) \Delta p} + \frac{D\alpha_{\text{გ}} B\dot{h}' (p_s - \Delta p)}{4\Delta p d_{\text{გ(სტ)}}^2 R_{\text{გრ.}} (2\pi - \alpha_{\text{გ}})} + \frac{1,6\gamma\Delta VRT\alpha_{\text{გ}}}{\pi d_{\text{გ(სტ)}}^2 \Delta p \nu (2\pi - \alpha_{\text{გ}})}, \quad (15)$$

სადაც h' არის დოლისა და საკონვეიერო ლენტის რგოლურ ჭვრიტეში სითხის შრის სისქე.

ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე უწყვეტ ნაკადად სითხის მიწოდებისას, ატმოსფეროდან რეციპიენტების ვაკუუმ-მოცულობებში ჰაერის შეწოვას, ე.ი. ვაკუუმის კარგვა პრაქტიკულად არ აღინიშნება და შესაბამისად

$$\operatorname{tg}\alpha_j \approx 0; \quad \text{მაშინ} \quad \operatorname{tg}\alpha_{\text{საწყ.}} \approx \operatorname{tg}\alpha_{\text{ფშ}}.$$

ზემოსენებულიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ყველა შემთხვევაში, როდესაც ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე სითხეს უწყვეტ ნაკადად ვაწოდებთ, მაშინ ვაკუუმ-დოლის საწყისი მოცულობების შემცირების პარალელურად, ნულამდე დადის ვაკუუმის კარგებიც და, მაშასადამე, ამ რეჟიმში მუშაობისას შესაძლებელია მნიშვნელოვნად გამარტივდეს მრუდწირული მიმართველების ფორმა, რაც, თავის მხრივ, კომპაქტურს გახდის ვაკუუმ-დოლურ ამძრავს, რომელსაც იმავდროულად ექნება მაღალი წვეთი თვისება.

დასკვნები

1. ჩვეულებრივი გაჩარხულდოლებიანი ამძრავის სველი ზედაპირები განაპირობებს ძლიერ სრიალს (ბუქსაობას) და შესაბამისად საკონვეიერო ლენტის მუშაობის ვადის შემცირებას.

2. სპეციალური ვაკუუმ-დოლებიანი ამძრავების გამოყენებისას სველი საკონტაქტო ზედაპირები აუმჯობესებს (ჰერმეტიზაციას) ვაკუუმის შექმნის პროცესს, ზრდის ადგეზიით გამოწვეულ წვეთს ძალას და ზრდის მუშაობის ხანგრძლივობას.

3. დიდი წვეთი თვისების მიღწევისათვის ავტო დოლებიანი ამძრავის შემთხვევაში სრულიად საკმარისია $S_{\text{წ}}=2pRB$ დენ საწყისი დაჭიმულობა; ამიტომ დიდწარმოებულ დანადგარებში შესაძლებელია ნაკლებმტკიცე, იაფი ლენტების გამოყენება, რომლის ეფექტური ექსპლუატაცია არ იქნება დამოკიდებული კლიმატურ პირობებსა და სატრანსპორტო მასალის დატენიანების ხარისხზე, რაც, თავის მხრივ, გაზრდის დანადგარების გამოყენების არეს და გააუმჯობესებს მის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

4. კომპაქტური ამძრავის შექმნის წინაპირობაა ავტო დოლების რეციპიენტების მცირე საწყისი მოცულობა.

5. გაუხშობის შექმნა რეციპიენტებში უმჯობესია უკუმშველი (წვეთოვანი) სითხის საშუალებით, რისთვისაც დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე გამუდმებით უნდა მიეწოდებოდეს სითხე, ე.ი. საკონვეიერო ამძრავების მუშაობის საუკეთესო რეჟიმი ელასტოჰიდროდინამიკურია.

2.6. ლენტური კონვეიერების ვაკუუმ-დოლების საიმედოობის ანალიზი

ლენტური კონვეიერების კონსტრუქციული და საანგარიშო სქემების შედგენისა და მათი შემდგომი საექსპლუატაციო ანალიზი უჩვენებს, რომ დღევანდელი მონაცემებით, უპირატესობა უნდა მიენიჭოს ერთდოლიანი ამძრავებით მომუშავე ლენტურ კონვეიერებს [3]. ეს დანაგარები, განსხვავებით მრავალამძრავდოლიანი დანადგარისაგან, ხასიათდებიან შემდეგი უპირატესი მონაცემებით: მცირეა გაბარიტულ ზომები, მეტალშემცველობა და ლენტის მუშაობის დიდი რესურსი. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მეტად აქტუალურია

მაღალი ხარისხისა და საიმედოობის მქონე დიდი წვევისფაქტორიანი ერთდოლიანი კომპაქტური ამძრავის შექმნა.

წვევის ფაქტორისა და წვევის ძალების გაზრდის ერთ-ერთი მიმართულებაა საკონტაქტო ზედაპირებზე კუთრი ძალების გაზრდა, რომელთაგან ერთადერთი მაღალი (და ამასთან საკუთარ) წვევისფაქტორიანი ამძრავი არის ე.წ. BABM ტიპის ვაკუუმ-დოლური ამძრავები.

ამძრავების ხარისხობრივი და მუშაობაში იმედიანი მაჩვენებლების ანალიზისათვის ვადგენთ ტრადიციულ ხახუნისამძრავიანი, წარმოებაში ცნობილი და გამოცდილი ლენტური კონვეიერების მატრიცას (6×8), რომლის მონაცემთა მიხედვით ვსაზღვრავთ საუკეთესო მაჩვენებლიანს, შემდეგ BABM ტიპის ვაკუუმ-დოლურ ამძრავებს ვაერთიანებთ ერთდოლიანი ამძრავების ჯგუფში და ვსაზღვრავთ ყველა ამძრავის გათვალისწინებით ვაკუუმ-დოლიანი ამძრავის უპირატეს მონაცემებს. ხარისხიანი და იმედიანი მუშაობის მონაცემების განსაზღვრა ყოველი კონვეიერისათვის ხდება ქვემოთ მოცემული გამოსახულების [2] საშუალებით:

$$K_i = \frac{\sqrt{n \sum_{i=1}^n \left[K_{ij} \left(\sum_{i=1}^n K_{ij} - K_{ij} \right) \right]}}{(n-1) \sum_{j=1}^n K_{ij}} \quad (1)$$

სადაც K_i არის ლენტური კონვეიერების თითოეული ამძრავის ხარისხისა და იმედიანი მუშაობის განზოგადოებული დონე;

K_{ij} - ერთეულოვანი მაჩვენებლის ხარისხის დონე;

n - შესაფასებელი პარამეტრის რიცხვი.

ჰორიზონტალურ დგარიანი, ერთამძრავდოლიანი ლენტური კონვეიერების პარამეტრების მაჩვენებლები შევარჩიეთ ცხრილებიდან (გვ. 137 ცხრ. 6) [3]. ეს პარამეტრებია: $N - P_1$ - ამძრავის დადგმული სიმძლავრე; $G - P_2$ - ამძრავი სადგურის წონა; $S_g - P_3$ - საკონვეიერო ლენტის სიმტკიცე გაგლეჯვაზე; $V - P_4$ - ამძრავი სადგურის გაბარიტები; $D - P_5$ - ამძრავი დოლის დიამეტრიც; $e^{m\alpha} - m - P_6$ ამძრავი სადგურის წვევის ფაქტორი.

ყველა შერჩეული პარამეტრის ზრდა, გარდა წვევის ფაქტორისა, იწვევს ხარისხისა და საიმედოობის K_i განზოგადებული მაჩვენებლის შემცირებას. ამძრავი სადგურის წვევის ფაქტორის ზრდა კი - ხარისხისა და საიმედოობის K_i განზოგადებული მაჩვენებლის ზრდას, ამიტომ წვევის ფაქტორის მნიშვნელობა შემოგვაქვს, როგორც შებრუნებული სიდიდე.

ლენტური კონვეიერების ამძრავი სადგურის ხარისხისა და საიმედოობის განზოგადებული მაჩვენებლის საძიებო ამოცანის ამოხსნისათვის, კომპიუტერული პროგრამა **Matlab-ის** საშუალებით კომპიუტერში შეგვყავს ამძრავის პარამეტრები, მატრიცა

(6x8)-ის სახით, სადაც 6 – პარამეტრების რიცხვია, 8 კი – შესაფასებელი საკონვეიერო დანადგარების ამპრავი სადგურების. ასევე შეგვყავს თითოეული კონვეიერის ფუნდამენტური (ფუნქციური) კრიტერიუმი, რომელიც იანგარიშება ფორმულით $\lambda_i = Q \times L$ ტკმ/სთ, სადაც Q არის შესაფასებელი დანადგარის საათობრივი მწარმოებლურობა, ხოლო L – მისი დგარის სიგრძე.

კომპიუტერული გაანგარიშების შედეგად თითოეული დანადგარისათვის ვლუბულობთ K_{ij} ერთეულოვანი მაჩვენებლის ხარისხის დონეს და ხარისხისა და საიმედოობის განზოგადებულ K_i მაჩვენებელს, რომელიც მოგვყავს ცხრილის სახით.

მატრიცა (6X8)

№	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	λ 1-8, ტკმ/სთ
1	90	29,75	32	50,4	0,8	0,67	320
2	180	135	36	29	0,8	0,67	630
3	40	32	26,5	131	0,5	0,67	270
4	100	50	37	58	0,8	0,458	378
5	100	120	35	62	0,63	0,67	672
6	200	150	42	79	0,63	0,67	285
7	500	250	120	172	0,8	0,67	570
8	500	250	120	160	0,8	0,67	630

ცხრილი 2.9

კონვეიერის მოდელი	ხარისხისა და საიმედოობის ერთეულოვანი მაჩვენებელი						ხარისხისა და საიმედოობის განზოგადებული მაჩვენებელი K_i
	ამპრავის სიმძლავრეზე $K_{i,1}$	ლენტის გაგლეჯის სიმტკიცეზე $K_{i,2}$	ამპრავე სადგურის წონაზე $K_{i,3}$	ამპრავის გაბარიტებზე $K_{i,4}$	ამპრავე დოლის დიამეტრის მიხედვით $K_{i,5}$	წვევის ფაქტორის მიხედვით $K_{i,6}$	
КЛ 1 ₅	0,528	1,000	0,520	0,280	0,375	0,477	0,534
КРУ-260	0,528	0,429	0,912	1,000	0,780	0,911	0,774
1ЛБ-80	1,000	0,770	0,530	0,093	0,510	0,400	0,565
1Л100 К	0,560	0,696	0,532	0,290	0,144	0,820	0,559
1ЛБ-100	1,000	0,515	1,000	0,496	1,000	1,000	0,829
1ЛУ-100	0,210	0,114	0,350	0,184	0,420	0,424	0,298
2ЛУ-100	0,168	0,210	0,290	0,160	0,660	0,580	0,358
2ЛЛ-100	0,186	0,202	0,270	0,160	0,775	0,990	0,446

2.9 ცხრილის მიხედვით 1ЛБ-100 დანადგარისათვის ვლუბულობთ ყველაზე მაღალი ხარისხისა და საიმედოობის განზოგადებულ მაჩვენებელს: $K_i=0,829$, ამასთან 6 მონაცემიდან 4 ეტალონური – ბაზისურია; ამიტომ 1ЛБ-100 დანადგარის ჩვეულებრივი ხახუნის ამპრავს ვცვლით მის შესაბამისი გეომეტრიული პარამეტრების მქონე ვაკუუმ-დოლით და ვანიჭებთ ახალ სახელწოდებას – BABM100.

მიღებული BABM100-თვის ვანგარიშობთ ამპრავის წვევის ფაქტორს [4]:

$$\frac{S_{სწ}}{S_{\beta}} = e^{\mu\alpha} \left[\frac{pRB}{S_{\beta}} (1 - e^{-\mu\delta}) \sum_{K=1}^n e^{-\mu t(K-1)} + 1 \right], \quad (2)$$

სადაც p – ვაკუუმის (გაუხშობის) სიდიდეა ვაკუუმ-მექანიზმებში დენ /სმ²

α – დოლზე ლენტის შემოხვევის კუთხე, რად;

B – ლენტის სიგანე, სმ;

δ – დოლის რკალის ცენტრალური კუთხე, რად;

t – განივი კილოების კუთხური ბიჯი, რად;

R – დოლის რადიუსი, სმ;

$S_{სწ}$ – ლენტის დაჭიმულობა დოლზე სწრაფობის წერტილში;

S_{β} – ლენტის დაჭიმულობა დოლიდან ჩამოქანების წერტილში;

K – მუშა განივი კილოს ნომერი ლენტის ქვეშ.

კვლევის შედეგების მიხედვით მივიღეთ, რომ ვაკუუმ-ამძრავების რაციონალური გამოყენების ზღვარი არის ლენტის საწყისი დაჭიმულობის ცვლილება საზღვრებში:

$$P_{ღ} = S_{\beta} = pRB \div 2pRB;$$

თუ მივიღებთ, რომ $S_{\beta} = 1,5p_{ღ}$, მაშინ პარამეტრებისას: $p = 0,9$ დენ/სმ², $R = 31,5$ სმ, $B = 100$ სმ, BABM100-სთვის $S_{\beta} = 1,5 \times 0,9 \times 31,5 \times 100 = 4252$ დენ

ამ დროს, ჩატარებული კვლევების [4] მიხედვით ამძრავის წვევის ფაქტორი ტოლია 9,2 და შესაბამისად ლენტის დაჭიმულობა სწრაფობის წერტილში იქნება:

$$S_{სწ} = S_{\beta} \times e^{\mu\alpha} = 9,2 \times 4252 = 39118 \text{ დენ,}$$

განვითარებული წვევის ძალა კი

$$F = S_{სწ} - S_{\beta} = 39118 - 4252 = 34866 \text{ დენ.}$$

მაშინ ამძრავის სიმძლავრე (კვტ), როდესაც ლენტის სიჩქარე $v = 1,6$ მ/წმ,

$$N = \frac{Fv}{102\eta} = \frac{34866 \times 1,6}{102 \times 0,95} = 643$$

ამძრავზე მიღებული წვევის ძალის მიხედვით განესაზღვროთ საკონვეიერო დგარის შესაძლო სიგრძე:

$$L = \frac{F}{1,1(q + 2q_{ღ} + q_{\beta}' + q_{\beta}''')\omega} = \frac{34866}{1,1(73 + 2 \times 12,5 + 25 + 8,5) \times 0,03} = \frac{34866}{4,33} = 8052,$$

სადაც $q = \frac{Q}{3,6v} = \frac{420}{3,6 \times 1,6} = 73$ დენ/მ არის საკონვეიერო დგარის გრძივი დატვირთვა;

$q_{ღ} = 12,5$ დენ/მ – ერთი გრძივი მეტრი ლენტის წონა;

$q_{\beta}'' = 25$ დენ/მ – დგარის ერთ გრძივ მეტრზე მოსული მუშა შტოს გორგოლაჭების წონა;

$q_{\beta}''' = 8,5$ დენ/მ – დგარის ერთ გრძივ მეტრზე მოსული უქმი შტოს გორგოლაჭების წონა;

$\omega = 0,03$ – გორგოლაჭების ბრუნვის წინაღობის კოეფიციენტი.

მიღებული გაანგარიშება გვაძლევს შესაძლებლობას, კონვეიერი ვაკუუმ-ამძრავით BABM100 წარმოვადგინოთ შემდეგი პარამეტრებით: $L = 5000$ მ, $Q = 420$ ტ/სთ, $0,63$ მ დოლის დიამეტრი და $N_{ღაღ} = 500$ კვტ სიმძლავრე. ასეთი ამძრავი განავითარებს წვევის ძალას

$$P = 1,1(q + 2q_{\text{ლ}} + q_{\beta}' + q_{\beta}'')\omega L = 1,1(73 + 2 \cdot 12,5 + 25 + 8,5)0,03 \times 5000 = 21650 ;$$

ამასთან, მოთხოვნილი სიმძლავრე შეადგენს

$$N_{\text{მოთ}} = 1,2 \frac{21650 \cdot 1,6}{102 \cdot 0,85} = 479$$

ამგვარად, პირობა $N_{\text{დადგ}} > N_{\text{მოთ}}$, შესრულებულია ($500 > 479$).

შევიტანოთ ერთდოლიანი ლენტური კონვეიერების ამძრავების ჯგუფში ვაკუუმ-ამძრავიანი კონვეიერი BABM100 და განვსაზღვროთ ერთდოლიანი ლენტური კონვეიერების ამძრავთა განზოგადებული დონე.

მათემატიკური მოდელირებისათვის (6×9)-ზე მატრიცის სახით და ცხრა ფუნქციური კრიტერიუმით, პროგრამაში შეგვყავს ცხრა კონვეიერის პარამეტრები

მატრიცა (6×9)

№	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	λ ₁₋₉ , ტმ/სთ
1	90	29,75	32	50,4	0,8	0,67	320
2	180	135	36	29	0,8	0,67	630
3	40	32	26	131	0,5	0,67	270
4	100	50	37	58	0,8	0,458	378
5	100	120	35	62	0,63	0,67	672
6	200	150	42	79	0,63	0,67	285
7	500	250	120	172	0,8	0,67	570
8	500	250	120	160	0,8	0,67	630
9	500	120	110	160	0,63	0,102	420×5=2100

კომპიუტერული პროგრამა გვძლევს ხარისხის დონეებს, კერძოდ K_{ij}-ის ერთეულოვანი მაჩვენებლის ხარისხის დონეს და ხარისხისა და საიმედოობის განზოგადოებულ K_i - მაჩვენებელს, რომელიც მოცემულია 2.10 ცხრილში.

ცხრილი 2.10

კონვეიერის მოდელი	ხარისხისა და საიმედოობის ერთეულოვანი მაჩვენებელი						ხარისხისა და საიმედოობის განზოგადებული მაჩვენებელი K _i
	ამძრავის სიმძლავრეზე K _{i,1}	ლენტის გაგლეჯის სიმტკიცეზე K _{i,2}	ამძრავი სადგურის წონაზე K _{i,3}	ამძრავის გაბარიტებზე K _{i,4}	ამძრავი დოლის დიამეტრის მიხედვით K _{i,5}	წვევის ფაქტორის მიხედვით K _{i,6}	
KJL 15	0,528	0,61	0,52	0,28	0,188	0,022	0,37
KPY-260	0,528	0,266	0,912	1,000	0,376	0,045	0,54
1ЛБ-80	1,000	0,483	0,530	0,093	0,250	0,019	0,41
1Л100 К	0,560	0,431	0,530	0,290	0,222	0,039	0,35
1ЛБ-100	1,000	0,319	1,000	0,496	1,505	0,049	0,58
1ЛУ-100	0,210	0,108	0,350	0,184	0,162	0,020	0,17
2ЛУ-100	0,168	0,181	0,290	0,160	0,335	0,020	0,19
2ЛЛ-100	0,186	0,143	0,270	0,160	0,015	0,045	0,14
BABM-100	0,621	1,000	0,994	0,592	1,000	1,000	0,87

მე-2.10 ცხრილის მონაცემებით, BABM100 კონვეიერს ხარისხის ერთეულოვანი მაჩვენებლების მიხედვით სამი საბაზო ეტალონური მაჩვენებელი 1-ის ტოლი აქვს, ხოლო მე-4 ახლოსაა ერთთან. ამ მაჩვენებლებმა განაპირობა მისი ყველაზე მაღალი ხარისხის ერთეულოვანი მაჩვენებელი – $K_i=0,87$.

BABM100-ის მაღალი განზოგადებული ხარისხის დონე გვაძლევს შესაძლებლობას აღვნიშნოთ, რომ ლენტური კონვეიერი ერთდოლიანი ვაკუუმ-ამქრავით მაღალხარისხიანი და საიმედო მექანიზმია.

3. საკონვეიერო ამძრავების მოხაზუნე ზედაპირების მაკროსიმქისისა და ლენტთან საკონტაქტო ზედაპირის რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის ფორმირების საკითხებზე ჩატარებული სამუშაოების ანალიზი

ლენტური კონვეიერების დღემდე ცნობილი ამძრავი ვაკუუმ-დოლების ლენტთან საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის შექმნის პროცესების ანალიზით მიღებულია, რომ ვაკუუმის შექმნის ყველაზე ხელსაყრელი პირობაა რეციპიტებში ჩაკეტილი (წვეთოვანი) სითხის ადიაბატური ან ჰიპერადიაბატური გაფართოება, რომლის დროს ოპტიმალური სიდიდის ვაკუუმი – $p = (0,9 - 0,95) \cdot 10^5$ პა.

3.1. ზედაპირების ტექსტურის შესწავლის მეთოდები და პარამეტრები

ხაზუნის პროცესში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია ზედაპირების მექანიკური ურთიერთქმედების ბუნება. აღნიშნულ საკითხზე, თუნდაც მხოლოდ წარმოდგენის შექმნისათვის, საჭიროა ზედაპირების ტექსტურის შესწავლა და სიმქისის გაზომვის მეთოდის შერჩევა. არსებობს სიმქისის გაზომვის მექანიკური, ჰიდრავლიკური და ოპტიკური მეთოდები [54, 55].

ზედაპირების ტოპოგრაფიის დახასიათებისათვის საჭიროა მისი აუცილებელი პარამეტრების დაზუსტება. დღეისათვის ცნობილია ერთპარამეტრიანი მოდელის 12 ვარიანტი, რომელთაგან პირველი იყო 1933 წელს ნიკურადის მიერ შემოთავაზებული. მკვლევარები იმედოვნებდნენ, რომ ერთპარამეტრიანი მოდელირებით შესაძლებელი იქნება ზედაპირის პროფილის სრული აღწერა, მაგრამ ვერ შეთანხმდნენ, ამისათვის ყველაზე შესაფერის პარამეტრზე. ზედაპირების დახასიათებისათვის ერთპარამეტრიანი მოდელირების არასრულფასოვნებაში დარწმუნების შემდეგ რუზის, 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, ებოტის “საყრდენი ზედაპირის” ცნობილი მრუდი, რომელიც ასახავს ზედაპირის უსწორმასწორობების შუა სიბრტყის მიმართ შვერილებისა და ღრმულების პროცენტულ განაწილებას [54, 55].

ამგვარად ზედაპირის გეომეტრიის სრული დახასიათებისათვის, ზოგიერთს ცალკე შემთხვევაში, საკმარისია სამპარამეტრიანი მოდელირება, ხოლო ზედაპირის ტექსტურის განსაკუთრებულობების ზოგადი აღწერისათვის კი შემოთავაზებულია ხუთი შემდეგი პარამეტრი: 1. ზომა; 2. ფორმა; 3. შვერილებს შორის მანძილი; 4. უსწორმასწორობათა პიკების მიკროსიმქისე; 5. უსწორმასწორობების სიმაღლეთა განაწილება. ჩამოთვლილთაგან პირველი სამი ტექსტურის აღწერისათვის აუცილებელია. აღნიშნულის გამო რუზიმ და

მურიმ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შემოიტანეს შემდეგი პარამეტრები: 1. ზომის ფაქტორი – ε/L ; 2. ფორმის ფაქტორი – ksr/ε (ksr -საშუალო ჰიდრაულიკური რადიუსი) და 3. შვერილებს შორის მანძილის ფაქტორი – $(1-a/as)$. ε არის ზედაპირის უსწორმასწორობების შვერილის სიმაღლე (თველება მუდმივად [54]), ksr -განისაზღვრება 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; as – ზედაპირის ნომინალური ფართობი ანუ L^2 .

ზედაპირის შვერილების სიმაღლის ცვალებადობა ნათლად აისახება კონტურული გრაფიკების საშუალებით [54], რომელიც შეიძლება აიგოს სამგანზომილებიანი ტვიფრის მოცულობითი რეპლიკების (მიკრორელიეფის გამომხატველი თხელი აკის) საშუალებით. რეპლიკების მიღება შეიძლება შესასწავლ ზედაპირზე მასტიკის ჩაწნეხვით (მაგალითად, არალდიტის [55]) ან მეიერის მეთოდით – შესასწავლ ზედაპირზე ალუმინის ფოლგის (კილიტას) ფურცლის მოთავსებით, შემდგომ მასზე რეზინის საღებით დარტყმითი მოქმედებით.

საკონტროლო ზედაპირების უწყესრიგო ტექსტურის გამო, მისი აღწერისათვის საყოველთაოდ მიღებულია მათი წარმოდგენა იდეალური ფორმის ერთ ან რამოდენიმე შვერილთა ჯგუფად; ასევე მიღებულია კუბის, კონუსისა და სფეროს ფორმის შვერილები. არსებობს აზრი სხვა ისეთ იდეალიზებულ ფორმებზე როგორცაა კუბი, პირამიდა და ნახევარსფერო [54]. რეალური ზედაპირის წარმოდგენისათვის უმჯობესია ყველა ფორმის შვერილის (კუბის, კონუსის პირამიდის...) ერთ მოდელში გაერთიანება. არსებობს სხვა მნიშვნელოვანი შეხედულებებიც [54]. ამის გამო ჩამოყალიბებულია მოთხოვნები ტექსტურის (პროფილის) უწყესრიგობების შეზღუდვის თაობაზე. ჩვენი სამუშაოს შინაარსის მიხედვით მნიშვნელოვანი მოთხოვნაა ზედაპირზე დრენაჟის 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 აჩვენა: სახარატო ჩარხზე 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 ლამინარული იქნება და შენარჩუნდება სითხის მოცულობითი თვისებები, ხოლო ჭვრიტეში სითხის დინების

ანგარიშისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ უკუმშველი ბლანტი სითხის მოძრაობის ცნობილი განტოლებებით.

3.2. ვაკუუმ-ამძრავების ხახუნის კვანძების საკონტაქტო ზედაპირების დახასიათება

ვაკუუმ-ამძრავების ხახუნის კვანძები წარმოდგენილია სხვადასხვა საკომპოზიციო მასალების კონსტრუქციული შეთანწყობის სახით. ამ კვანძების საკონტაქტო, ერთმანეთის მიმართ მიმოდრავი 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;

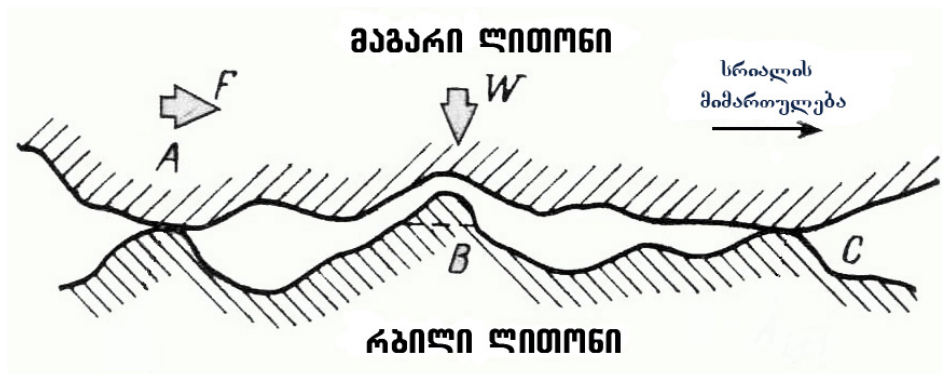
2. ამძრავისა და ლენტის საკონტაქტო ზედაპირებით შექმნილი რგოლური ჭვრიტე, რომლითაც ხდება წვეის ძალების რეალიზაცია. ამ კვანძში რგოლური ჭვრიტეს დოლისეულ ზედაპირებში წარმოდგენილია (განხილური გვაქვს) [67,68] საკონტაქტო ზედაპირის ყველა ცნობილი კონსტრუქცია, მათ შორის ჩვენ მიერ შემოთავაზებული – გრძივდარიანი, წრიული ამონაჩარხებით (იხ. ნახ. 3.4თ).

3. ცილინდრ-დგუშიანი აპმ (ავტომატური ვაკუუმური მექანიზმი), რომლითაც დოლის ბრუნვის თანხვედნილად, დგუშების უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობით მარტივი ვაკუუმ-არხებისა და ნახვრეტების საშუალებით, რგოლურ ჭვრიტეში იქმნება გაუხშობა.

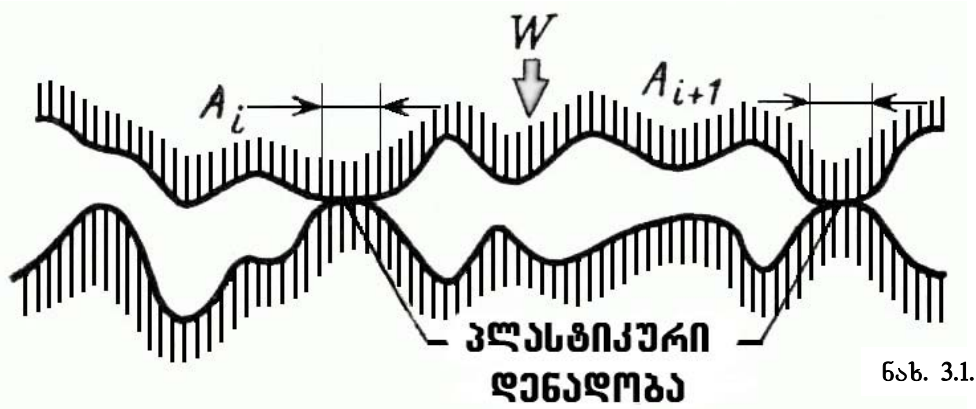
განვიხილოთ თითოეული.

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

ა)



ბ)

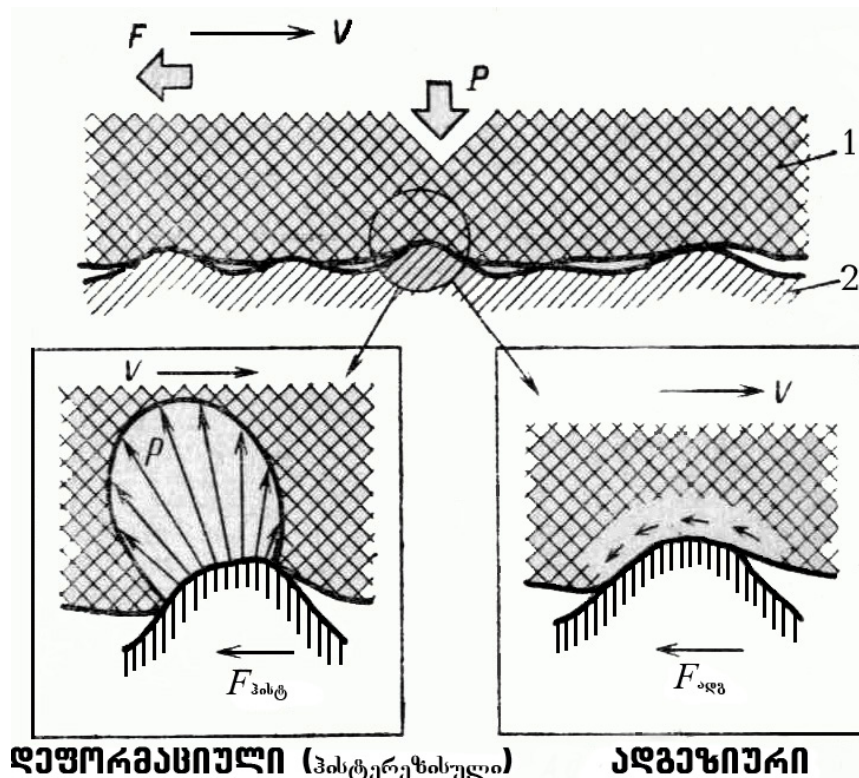


ნახ. 3.1.

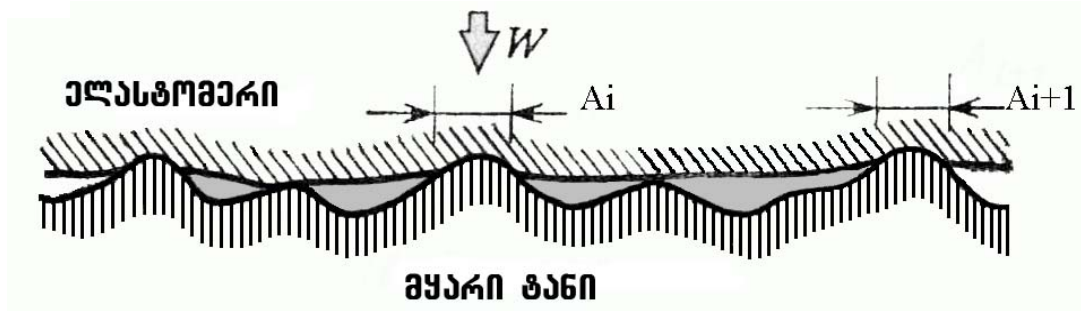
3.1 ნახაზის მიხედვით თითოეული ზედაპირის სიმქისის მიერ შექმნილი „პლატო“ ზედაპირი მცირეა (განსაკუთრებით მაშინ, თუ ზედაპირები თერმულად დამუშავებულია და დრეკადი და დრეკადპლასტიკური ეფექტი შემცირებული). ამგვარად, დიდია რგოლური ჭვრიტის მაკროსიმქისე. შესაბამისად დიდი იქნება სიჩქარეც და ჭვრიტეში გამავალი სითხის 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, ასეთ შესაბამისობაში იქნება: გაჩარხვით დამუშავებისას დოლის ზედაპირის სიმქისის საზღვრები 0,25±2 მმ-ის ფარგლებშია, ხოლო თუ ელასტომერებზე ხახუნის კვლევების შედეგად მიღებულ შეხედულებებს გაითვალისწინებთ, მაშინ მას 3.2 ნახაზზე წარმოდგენილი სახე ექნება [54, 55].

ა)



ბ)



ნახ. 32.

როგორც 2.2 ნახაზზე ჩანს მოცემულ შემთხვევაში დოლის ზედაპირის სიმქისეზე (მაკროშვერილებზე) დიდია ელასტომერის დეფორმაციის ხარისხი. ამის შედეგად დიდია „პლატო“ ზედაპირი. ამგვარად საკონტაქტო ზედაპირზე გვექნება ერთმანეთთან კაპილარული არხებით დაკავშირებული, ორივე ზედაპირის სიმქისეებით წარმოქმნილი (ე.წ. შემზეთი) სითხის ლოკალური რეზერვუარები.

3.1 და 3.2 ნახაზებისა, აგრეთვე ელასტოპიდროდინამიკური შეხეთვის თეორიის [76, 55] გათვალისწინებით ვაკუუმის სისტემებს დაქვემდებარებული ზედაპირები, ლითონის-ლითონთან ხახუნისას (კოლექტორების შემთხვევაში) (ნახ. 3.1) მაკროსიმქისეებში განუწყვეტლივ მიმდინარეობს შედუღების, წაკეთისა და დაკაწვრის (დახვნის) პროცესები, ხოლო ლითონის ელასტომერთან ხახუნისას ლითონის სიმქისეებზე დეფორმირდება და მჭიდროდ ებჯინება მას ელასტომერი, ამიტომ მიღებული ჭვრიტის კაპილარული არხები და ლოკალური რეზერვუარები კოლექტორის (ლითონის-ლითონთან) ჭვრიტის მაკროსიმქისეზე მცირე იქნება.

რეზერვუარებიდან გაწოვისათვის კი კაპილარულ არხებში სითხის ჰიდროაეროდინამიკური წინააღმდეგობები კოლექტორული მოწყობილობის ჭვრიტეს წინააღმდეგობაზე ნაკლები უნდა იყოს და თუ ასე არ იქნება სითხის (ჰაერის) შეწოვა ვაკუუმ-ტუმბოთი მოხდება კოლექტორს გარე სივრციდან (მაგ. ატმოსფეროდან) და არა ამძრავი დოლის და საკონვეიერო ლენტის რგოლური ჭვრიტედან.

3) ცილინდრ-დგუშიანი მუშტა მექანიზმი, რომელიც შრომებში [60, 65, 66] მოხსენიებულია, როგორც ავტონომიური ვაკუუმური მძანოზმები (ავმ) სტანდარტული ზომის U -ს მაგვარი რეზინის (და მისთ.) სამაჯურების (მანუეტების) – დგუშების, მოლიანადგლინული უჟანგავი მიღების – ცილინდრებისა და დაკალიბრებული დეროებისაგან (დგუშების ჭოკებისათვის) შედგენილი მექანიზმებია. 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), გავითვალისწინოთ ავმ-ის დგუშების ოპტიმალურად მცირე სვლა.

ფიზიკური და კომპიუტერული მოდელების საშუალებით ზემოთ მოყვანილი ხახუნის სამივე კვანძის მოხახუნე ზედაპირების მაკროსიმქისეებში, ლოკალურ რეზერვუარებსა და

კაპილარებში სითხის მოძრაობის თეორიული და ექსპერიმენტული შესწავლა განაპირობებს ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენას.

3.3. ვაკუუმ-ამძრავთა დოლების რგოლური ჭვრიტეს საკონტაქტო ზედაპირების დახასიათება

წარმოდგენილი ვაკუუმ-ამძრავთა კონსტრუქციებისა და კონსტრუქციული სქემების (იხ. ნახ. 1.1. და ცხრ. 1.2) 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, რომელთაც დაწვრილებით განვიხილავთ ამ თავის დასკვნით ნაწილში. ქვემოთ კი მოცემულია დანარჩენი თითოეული ზედაპირების დახასიათება-შეფასება შესაბამის ვაკუუმის შემქმნელ მექანიზმთან კომპლექსში:

1. გამჭოლი გრძივჭრილებიანი (4-29) ზედაპირის რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის შემქმნა (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 კონსტრუქციით, მაგრამ მათი უარყოფითი მხარეებია: (ნახ. 1.8)-სთვის საკომპოზიციო მასალის – ელასტიკური გარსის, როგორც ამონაგის და ამავე დროს ვაკუუმის შემქმნელ ელასტიკად მუშაობის შეუძლებლობა გამოყენების სფეროთა ფიზიკური თვისებების შეუთავსებლობის გამო; (ნახ.1.9)-ისთვის – ამუშავებისათვის არასაკმარისი ცენტრიდანული ძალის განვითარება, დოლისა და ლენტის დაბალი სიჩქარისას და კომპენსაციის შეუძლებლობა ვაკუუმის კარგვისას. ამ ზედაპირის მიმართ თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები სამცნიერო ლიტერატურულ წყაროებში ვერ მოვიძიეთ. საპატენტო ფონდის წყაროებში [40] კი კარგადაა გადმოცემული კოლექტორიანი და ზოგიერთი ავტონომიურმექანიზმიანი ამძრავების უარყოფითი მხარეები.

2. გრძივღარებიანი სეგმენტებისაგან შედგენილი რკალები (4-36), რომლის ზედაპირის რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის შემქმნა (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 მიხედვითაც განისაზღვრება პრაქტიკაში მისი გამოყენების ვარგისობა. კერძოდ, სეგმენტებს შორის ღრეწობების ხარჯზე საკონტაქტო ზედაპირების ურთიერთ-გადაფარვის კოეფიციენტის კიდევ უფრო შემცირება (ეს კი გამოიწვევს დოლის ზედაპირზე კუთრი ნორმალური ძალების სიდიდის გაზდას) და დოლის მსახველის მოელ სიგრძეზე სეგმენტთა ღრეწობებს შორის ლენტის ჩაღუნვა და მისი მოღება დოლის რკალის

მთელ განივ ჭრილზე. ეს ფაქტები უარყოფითად იმოქმედებს ლენტის მუშაობის ვადაზე. ამგვარად, გამოყენების ძირითადი აზრი – 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 ორკოლექტორიანი 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 წვეილი შევრონული ღარის ამორთვა. ეს გამოიწვევს ვაკუუმის გავრცელების ზონის შემცირებას, რაც დაუშვებელია, განსაკუთრებით რგოლური ჭვრიტის დრეკადი სრიალის რკალისათვის [60]. აღნიშნულის გამო შევრონულ დარებიანი საკონტაქტო ზედაპირები, არა რაციონალურად მიგვანია.

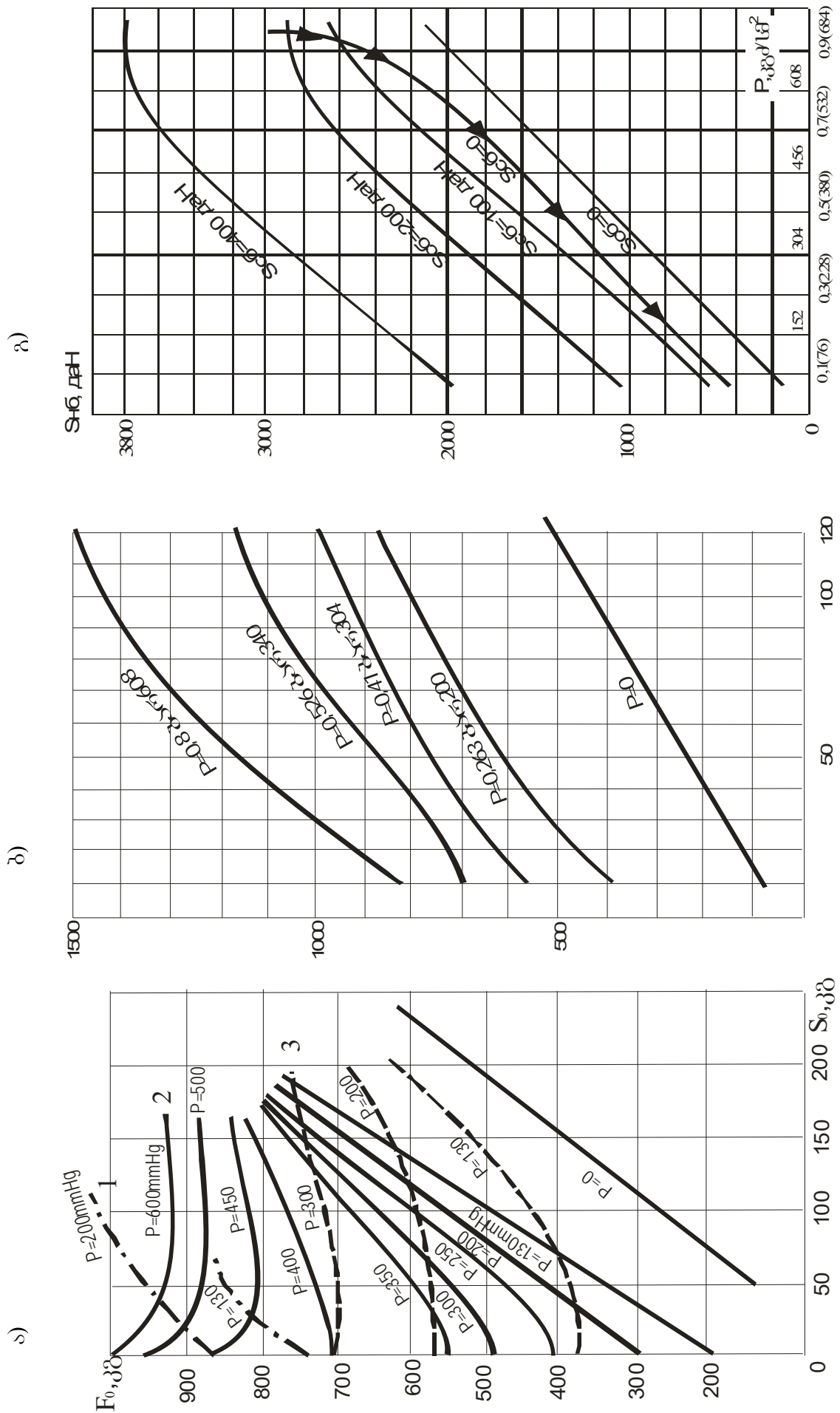
4. ვაკუუმ-დოლი, მისი მსახველის პარალელური ორი რიგითა და განაპირა გაწოვის გრძივდარებიანი ზედაპირით (4-31, 33) და კოლექტორული რგოლის ცენტრალური განლაგებით (ნახ. 1.14). გაიშვიათების ეს სქემა (1-5; 2-8; 3-11, 14, 15, 21) შეიქმნა საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის ფორმირების მიზნით. ეს კონსტრუქციული სქემა ფაქტობრივად იმუშავებს, როგორც ცენტრალური გაწოვის გრძივდარებიანი ვაკუუმ-დოლი. მაგრამ ამ სქემაშიც რჩება კოლექტორიანი და რთული – ლაბირინთებიანი რეციპიენტები. ამასთან დოლი შედგება ორი ცილინდრისაგან, რომელთა შორის განლაგებულია ლენტის არამუშა ზედაპირის ფიგურული ნაწილი. მძლავრი საკონვეიერო ამძრავებისათვის ასეთი კონსტრუქციის დოლი მიუღებელია [78, 79] მისი კონსტრუქციული არარაციონალურობის გამო. იმის გათვალისწინებით, რომ მის ლილეგსა და რგოლურ ჭვრიტეზე იმოქმედებს რამდენიმე 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, პერიოდის საავტორო მოწმობები (იხ. ნახ. 1.14 და 1.16 და სხვ.). მიუხედავად აღნიშნული საკითხის წინა პლანზე წამოწვევისა, განხილული კონსტრუქციული (იხ. ნახ. 1.14) სქემა, ვაკუუმის შექმნის რთული სისტემისა და საკონტაქტო ზედაპირის ფიზიკური არასრულყოფილი კონსტრუქციის გამო, კვლევის სუსტობიექტად ითვლება.

5. ვაკუუმ-დოლი მსახველის პარალელური, ერთი რიგითა და განაპირა გაწოვის გრძივდარებიანი (4-31, 32) ზედაპირით და ერთი პერიფერიულკოლექტორიანი ვაკუუმ-

არსებით (რეციპიენტებით) (სქემა: 1-5; 2-8; 3-11, 14, 16, 21; 4-31, 32; ნახ. 1.12), არის ლენტური კონვეიერის სათავე დოლური ვაკუუმ-ამძრავი, მისი პარამეტრების შესწავლის პირველი ობიექტი, რაზეც ჩატარდა ფართომასშტაბიანი კვლევითი სამუშაოები [22]. და გამოვლინდა ვაკუუმ-დოლის მრავალი უპირატესობა. ეს შედეგები შემდგომ კვლევებში [21, 60] კიდევ უფრო გამოიკვეთა და ბევრად უფრო აღმატებული მნიშვნელობა მიიღო. ადრეული კვლევის მონაცემები წარმოდგენილია სამეცნიერო ლიტერატურულ წყაროებში [92]. ზოგიერთი გვიანი შედეგი მოყვანილი იქნება ამ ნაშრომშიც.

პარაგრაფის დასაწყისში აღნიშნეთ, რომ დეტალური განხილვის ობიექტად მიგვაჩნია გრძივლარებიანი და პერფორირებული ზედაპირები, მათი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების დაწვრილებითი ანალიზი. შედეგები მოცემულია ამ პარაგრაფის (6) და (7) პუნქტებში.

6. ვაკუუმ-დოლი, მსახველის პარალელური, ერთრიგა, ცენტრალური გაწოვის გრძივლარებიანი ზედაპირით (4-35) და რგოლურ ჭვრიტეში ავტონომიური ვაკუუმ-მექანიზმებიანი (აშმ) გაუსშოების წყაროთი (სქემა: 1-5; 2-8, 9; 3-12, 24, 25; 4-35; ნახ. 1.15) პირველი აშმ ამძრავია, – ობიექტი, რომელზედაც გაკეთდა შემაჯამებელი კვლევითი სამუშაოები [60]. ნაშრომის შედეგების მიხედვით, დასკვნით ნაწილში აღნიშნულია ცენტრალური გაწოვის გრძივლარებიანი (35) საკონტაქტო ზედაპირის უპირატესობა განაპირა გაწოვის გრძივლარებიანთან (31) შედარებით; პირველადაა ჩატარებული რგოლური ჭვრიტეს ვაკუუმური ზონის უპირატესი ადგილმდებარეობის თეორიული და ექსპერიმენტული დასაბუთება [60]; შემოტანილია ცნებები ვაკუუმ-ამძრავის საკუთარი წვეის ფაქტორისა და ლენტის ოპტიმალური საწყისი (ჩამოქანების შტოს) დაჭიმულობის შესახებ ($S_{\text{წ}} \leq 2p_{\text{ღ}}$). აღსანიშნავია ის ფაქტორიც, რომ ამავე ნაშრომში გაკეთებულია მიმდინარე პარაგრაფის მე-5 და მე-6 პუნქტებში განხილული საკონტაქტო ზედაპირთა ტიპების ერთნაირი ტიპზომის ვაკუუმ-დოლების წვეის ძალების ანალიზი (იხ. ნახ. 3.3). 3.3ა ნახაზზე ასახულია [22, 32] კვლევის შედეგები, 3.3ბ ნახაზზე კი იმავე დოლის წვეითი თვისებები სპეციალური სამარჯვებით (თამასებით) ცენტრალური გაწოვის იმიტაციის გაკეთების შემდეგ [60]. 3.3გ ნახაზზე კი იმავე ტიპზომის სტუ-ს სამთო მანქანების, მადაროს სტაციონარული დანადგარებისა და ტრანსპორტის კათედრის ლაბორატორიაში შექმნილი ცენტრალური გაწოვის გრძივლარებიან წრფივკოლექტორიან ვაკუუმ-დოლზე შესრულებული ექსპერიმენტებით მიღებული წვეითი თვისებები [60].



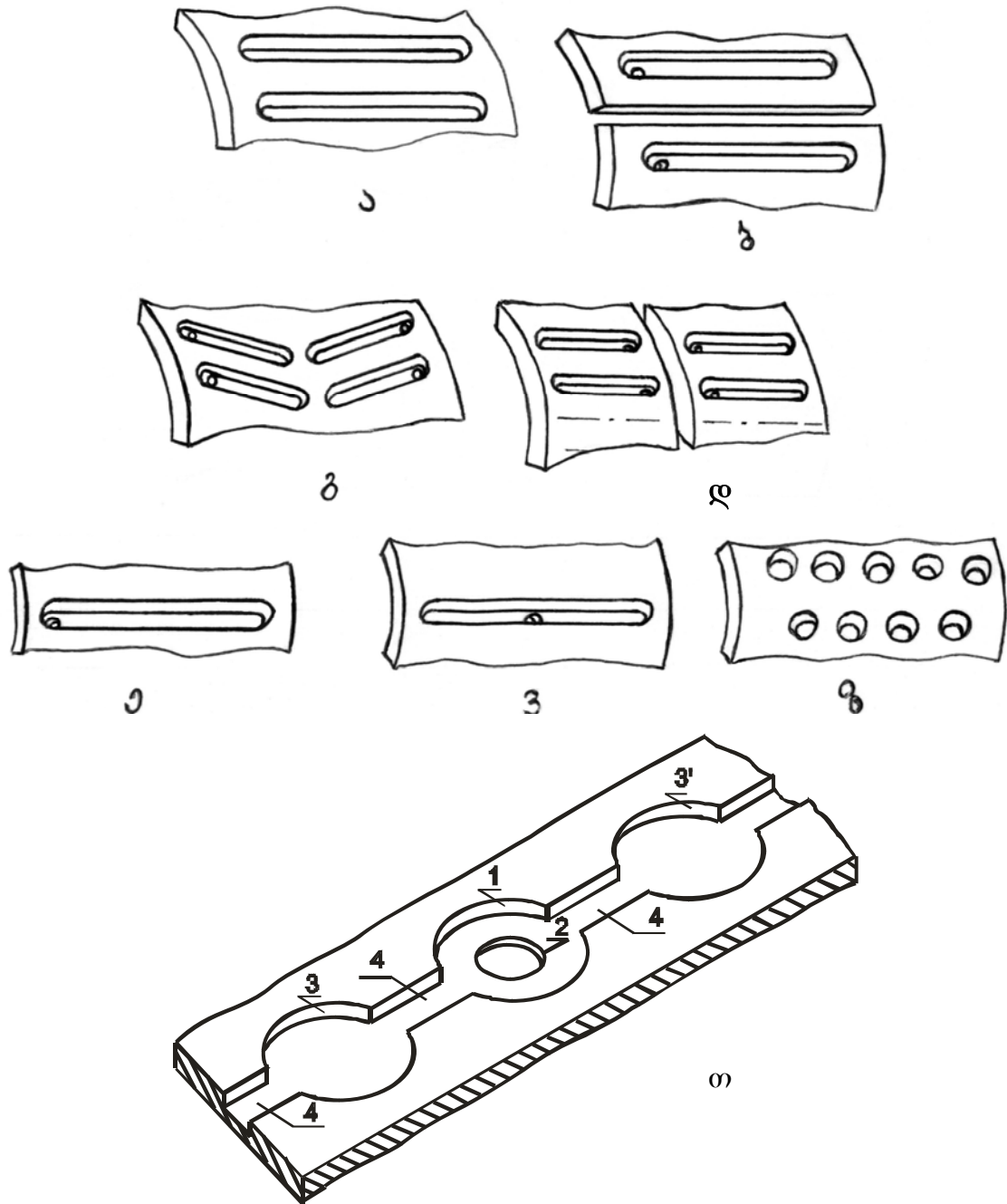
ნახ. 33

წარმოდგენილი შედეგების მიხედვით ცენტრალური გაწოვის გრძივდარებიანი ზედაპირის მქონე ვაკუუმ-დოლის წვეის ძალები თითქმის სამჯერ აღემატება (იხ. ნახ. 3.3გ; $p=608$ მმ.ვ.წყ.სვ; $S_{\text{წ}}=2800$ დკნ, $S_{\text{წ}}=200$ დკნ) განაპირა გაწოვის გრძივდარებიანი ზედაპირის ვაკუუმ-დოლის წვეის ძალებს (იხ. ნახ. 3.3ა; $p=600$ მმ.ვ.წყ.სვ; $S_{\text{წ}}=950$ დკნ., $S_{\text{წ}}=200$ დკნ). გარდა აღნიშნულისა, ყურადსაღებია ის ფაქტიც, რომელიც შეინიშნება 3.3ა ნახაზზე, კერძოდ, საწყისი დაჭიმულობის ($S_{\text{წ}}$) ზრდით 0-დან რაღაც მნიშვნელობამდე, მცირედ, მაგრამ მაინც, ვაკუუმის თითქმის ყველა სიდიდისთვის იკლებს ლენტის დაჭიმულობა სწრაფობის წერტილში, ხოლო შემდეგ ზოგიერთ შემთხვევაში კვლავ მატულობს.

ეს მოვლენა არ აღინიშნება 3.3ბ და 3.3გ ნახაზზე დაფიქსირებულ ექსპერიმენტთა შედეგებში, რაც მიგვანიშნებს იმაზე, რომ „ჭვრიტული ელასტიკური მოდებით“ წვეის ძალების რეალიზაცია (ამძრავის მუშაობისას, განსაკუთრებით, როდესაც $S_{\text{წ}} \neq 0$) ან არ არსებობს, ან უმნიშვნელოა. ამ საკითხის ანალიზსა და ნათელმოფენას უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ახალი კონსტრუქციის საკონტაქტო ზედაპირის დამუშავება-შექმნისას და ლენტის რესურსების ანგარიშისას.

7. პერფორირებულ ზედაპირიანი (4-30) კონსტრუქციის ვაკუუმ-ამძრავები კვლევის ერთ-ერთი საინტერესო ობიექტია (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 საწვეი ორგანოს უერთიერთქმედების საკითხებზე. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ბოლო მონაცემების მიხედვით [93] შეიქმნა და გამოიცადა შუალედური ვაკუუმ-ამძრავი, რომელმაც ერთხელ კიდევ თვალსაჩინოდ დაადასტურა რგოლური ჭვრიტის გაუხშობაზე მომუშავე ამძრავების უპირატესობა სხვა ამძრავებთან შედარებით. უნდა აღინიშნოს, რომ დღემდე შესრულებულ ყველა კვლევით სამუშაოში მითითებულია წვეის 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 წვეის ძალების რეალიზაცია ხდებოდეს გარეგანი ხახუნით, ამასთან, საკონტაქტო ზედაპირზე რგოლურ ჭვრიტეში მაქსიმალური და თანაბრად განაწილებლი ვაკუუმის პირობებში. შრომებში მითითებულია, რომ გაიშვიათების გარე წყაროდ გამოყენებულ ვაკუუმ-ტუმბოებს შეუძლია 70-80 კპა გაიშვიათების უზრუნველყოფა [20]. სპეციალური ლიტერატურიდან [19] ისიც ცნობილია, რომ რაღაც მიზეზების დროს და არცთუ იშვიათად, საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმში მცირდება $5 \div 10$ კპა-მდე. ეს კი იმაზე მიუთითებს, რომ გამაუხშობელი მექანიზმის, მაგალითად, ტუმბოს გამოყენება არასრულფასოვანია. ჩვენ მიერ მოძიებული მასალების მიხედვით კი მისი სტაბილიზაციისა და ამაღლების შესაძლებლობა მნიშვნელოვანია. ამის რეალური მაგალითია თუნდაც 3.3 ნახაზზე წარმოდგენილი შედეგები. ვითვალისწინებთ ყოველივე

ზემოთქმულს და ვიზუალურად, წინასწარი ანალიზის გაადვილების მიზნით, საკონტაქტო ზედაპირების არსებული კონსტრუქციების შვიდივე ტიპის ილუსტრაციისათვის მოგვყავს მათი გამოკვეთილი ფრაგმენტები (ნახ. 3.4 ა, ბ, გ, დ, ე, ვ, ზ). არსებული თეორიული, ექსპერიმენტული კვლევითი მასალებისა და საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციისა და კონსტრუქციული სქემების ანალიზის საფუძველზე ჩვენ მიერ შემოთავაზებულია ამძრავების ახალი საკონტაქტო ზედაპირი წრიული ამონაჩარხისა (პერფორაციის მსგავსი არაგამჭობი) და გრძივი ღარის სინთეზის სახით (ნახ. 3.4 თ).



ნახ. 3.4

3.4. 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. ვაკუუმში რაოდენობრივად განისაზღვრება გაზის აბსოლუტური წნევით. ვაკუუმის ფიზიკაში ძირითადი პოსტულატები ჩამოყალიბებულია შემდეგი სახით:

1. გაზი შედგება ცალკეული მოლეკულებისაგან;
2. არსებობს სინქარის მიხედვით გაზის მოლეკულების მუდმივი განაწილება ანუ მოლეკულების ერთნაირი რიცხვს ყოველთვის ერთი და იგივე სინქარე აქვს;
3. გაზის მოლეკულების მოძრაობისას არ არსებობს უპირატესი მიმართულება ანუ გაზის მოლეკულების სივრცე იზოტროპულია;
4. გაზის ტემპერატურა არის მისი მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერჯის საზომი;
5. მყარი ტანის ზედაპირთან ურთიერთქმედებისას გაზის მოლეკულა ადსორბირდება.

გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ვაკუუმში მიმდინარე მრავალი ფიზიკური პროცესი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული კედლებზე მოლეკულების რეციპიენტების დაჯახებათა საშუალო რიცხვისა (K_p) და მოლეკულების ურთიერთდაჯახებათა რიცხვის (K_a) ფარდობაზე – $K_p = K_p / K_a$; K_p – არის კნუდსენის კრიტერიუმის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომლის მიხედვით განისაზღვრება ვაკუუმის ხარისხი: დაბალი, საშუალო, მაღალი და ზემოდალი.

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

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

მაღალი და ზემოდალი ვაკუუმისას $K_p \gg 1$, და $L/d_{eff} \gg 1$ ამ პირობისათვის საკმარისია აბსოლუტური წნევის მნიშვნელობა p_p არაუმეტეს 10^{-9} პა იყოს.

ამგვარად, უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ვაკუუმ-ამძრავებში შექმნილი გაუსშობა დაბალი და საშუალო ვაკუუმის ხარისხის საზღვრებშია კნუდსენის კრიტერიუმის მიხედვით და გაუსშობით 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 ლენტისა და ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირების „ელასტიკურ კბილანურ მოღებაზე“, რაც ეწინააღმდეგება ვაკუუმის თანაბარი განაწილების პირობას.

მაშასადამე, აღნიშნულ შრომებში გაუხშობის თანაბრად განაწილების იდეა არავითარ მამტიკიცებელ დებულებებს არ შეიცავს, პირიქით, „ელასტიკური კბილანური მოდეით“ უფრო მეტ წინააღმდეგობაში ვარდება.

პერფორირებული საკონტაქტო ზედაპირიანი ვაკუუმ-დოლის კვლევებში [21] მითითებულია წინამორბედ მკვლევართა უზუსტობები, რომლებიც ოთხი პუნქტის სახითაა ჩამოყალიბებული [21]. სამუშაო ჩატარდა ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტებში გაზის მოლეკულების მოძრაობის წინააღმდეგობის თეორიული შესწავლით საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში თეორიული გაუხშობის განსაზღვრისა და შემდეგ მის ექსპერიმენტულად შემოწმების მიზნით. წარმოდგენილია ვაკუუმ-დოლის სისტემაში ნარჩენი წნევის ცვლილების განმსაზღვრელი ფორმულები: ჰაერის ტურბულენტური მოძრაობისას მართკუთხა გრძივი ღარებისათვის, წრიული კვეთის რეციპიენტებისათვის, საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმ-დოლის წრიული პერფორაციების ირგვლივ და შემოთავაზებულია გასაშუალოებული თეორიულ წნევათა სხვაობის განმსაზღვრელი ფორმულა, რომლითაც დოლის ზედაპირს აწვება ლენტი. მიღებული ნორმალური ძალების საფუძველზე განსაზღვრულია ამძრავი ვაკუუმ-დოლის წვეთით შესაძლებლობა (W_0) და მოცემულია ფორმულა ჰაერის პოლიტროპული პროცესით გაფართოებაზე მომუშავე ვაკუუმ-ტუმბოს მწარმოებლობის (Q) განსაზღვრისათვის:

$$W_0 = S_b(e^{\mu\alpha} - 1) + K_1 P_3 [0.8 K_2 R \alpha' B + mn F_1 (1 - K_2)] (e^{\alpha'} - 1) / 736 \alpha'$$

$$Q = 60 K_d (V_{arx} \alpha' + V_{kol} \alpha'') \times 2.3 \lg P_s / P_b / R \alpha'' t$$

ამ გამოსახულებებში:

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

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

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

R – ამძრავი ვაკუუმ-დოლის რადიუსი, სმ;

m – პერფორაციის რიცხვი მსახველის გასწვრივ (რეციპიენტებზე);

n – რეციპიენტების რიცხვი რგოლურ ჭვრიტეში;

α – რგოლურ ჭვრიტეში ცენტრალური კუთხე, რომელზეც იქმნება ვაკუუმი;

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

F_1 – პერფორაციის ფართობი, სმ²;

B – ლენტის სიგანე, სმ;

K_d – კოეფიციენტი რომელიც აღნიშნავს რგოლური ჭვრიტედან და ვაკუუმ-სისტემის სხვა ღრეჩობიდან შეწოვილი ჰაერის რაოდენობას;

V_{arx} – ერთი ღარის ერთეულოვანი ვაკუუმ-სისტემის – რეციპიენტის მოცულობა;

$V_{\text{კოლ}}$ – კოლექტორის საკნის მოცულობა;

R – პოლიტროპიის მაჩვენებელი;

t – ამოტუმბვის დრო;

P_s და P_b – ამძრავი ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტებში საწყისი და საბოლოო წნევები.

ექსპერიმენტულ ნაწილში პერფორაციებს შორის საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმის გაზომვა ხდებოდა ზონდირების საშუალებით და მიღებული შედეგი უდარებოდა კოლექტორის წინ ვაკუუმ-ტუმბოს ქსელში ჩართული ვაკუუმეტრის ჩვენებას. ექსპერიმენტები შესრულებულია განსხვავებული 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 სიხშირე, კოლექტორული რგოლის ჰერმეტიზაციის ხარისხი, ვაკუუმ-ტუმბოს გარე ქსელისა და საკუთრივ ვაკუუმ-დოლის რეციპიენტების ჰაერის გამტარუნარიანობა. ნაშრომში [21] წარმოდგენილი $\nabla l = 55 \times 10^{-3}$ სმ სისქის რგოლური ჭვრიტის შემთხვევაშიც კი კოლექტორული რგოლის დრეჩოს (ლითონი-ლითონთან) აეროდონამიკური წინაღობა გაცილებით მცირე იქნება ამძრავის საკონტაქტო რგოლური ჭვრიტის წინაღობასთან შედარებით, რაც საგრძნობლად გაზრდის K_d -კოეფიციენტს (იხ. ვაკუუმ-ტუმბოს მწარმოებლურობის 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 გაუსშოების შექმნის უზრუნველყოფის აუცილებელ პირობებში.

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

ვაკუუმ-ტუმბოს თეორიული მწარმოებლობის განმსაზღვრელი ფორმულა მოცემულია 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 გასაუხშოებელი (ობიექტის) აპარატის მოცულობა;

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

p_1 და p_2 – აპარატში საწყისი და საბოლოო წნევა.

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

მიუხედავად სადისერტაციო თემაზე [60] ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებისა, რომელიც მიეძღვნა საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში მიმდინარე პროცესებს, მაინც მცირე ყურადღება აქვს დათმობილი ავტონომიურ ვაკუუმ-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 მაკრომოცულობები და ვაკუუმ-არხები (შევსილია) დასველებულია სითხით, რომლის 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 მეთოდოკას. 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 სიმჭიდის რკალის” აღიარება; 4) ვაკუუმ-ამძრავების გამოყენების ეფექტურ ზონად $S_{ჩ} \leq 2p_{ღ}$ პროგრამული (ღენტის საწყისი) დაჭიმულობის მიჩნევა; 5) “დრეკადი სრიალის რკალზე” მყისური “საშუალო” სიდიდის ვაკუუმის (იხ. 2.5 პარაგრაფის დასაწყისი) შენარჩუნებით, ამძრავისათვის შესაძლებელი ყველაზე დიდი წვეთით თვისებების უზრუნველყოფა; 6) ის რომ ვაკუუმ-ამძრავი ხასიათდება $S_{ჩ}/p_{ღ}$ საკუთარი წვეის ფაქტორებით, – სავსებით მისაღებია და მათი გათვალისწინებით ვირჩევთ თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შემდგომ ეტაპს. ამ ეტაპზე ძირითადი მიზანია (ვაკუუმის წყაროსთან და ვაკუუმ-ამძრავთან კომპლექსში) საკონტაქტო ზედაპირის რაციონალური კონსტრუქციისა და მისი ოპტიმალური პარამეტრების საანგარიშოდ ისეთი

მეთოდის შემუშავება, რომელიც მართებული იქნება ნებისმიერი თანამედროვე სტანდარტული ტიპ-ზომის სკონვეიერო (ვაკუუმ-) ამძრავის საანგარიშოდ.

ახალი საკონტაქტო ზედაპირის ყველა პარამეტრის ანგარიში და მათი შემდგომი შემოწმება ექვემდებარება ჩვენ მიერ შერჩეული ბაზისური ვაკუუმ-დოლის (იხ. შესავლის დასკვნითი ნაწილი) მისადაგებას და შემდგომ მიღებული ახალი, მოდიფიცირებული ამძრავის იტერაციულ გაანგარიშებას, რომელმაც საშუალება მოგვცა, შეგვექმნა ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის გეომეტრიული ზომებისა და სხვა აუცილებელი პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდოლოგია.

3.5. ვაკუუმ-ამძრავი როგორც ლენტური საკისარი

აზმ ვაკუუმ-ამძრავებში ვაკუუმის შექმნის პროცესის ოპტიმალური ვარიანტია რგოლურ ჭვრიტეში გაუხშობის შექმნის ორსაფეხურიანი მოდელი [60]. პირველ საფეხურზე გათვალისწინებულია დოლისა და ლენტის საკონტაქტო ზედაპირზე სითხის მიწოდება წნევით. საკონვეიერო ლენტისა და დოლის ზედაპირის მიმართ საწნევო საქმენი ისე უნდა იყოს განლაგებული, რომ სითხით უზრუნველყოფდეს ამძრავის რგოლური ჭვრიტისა და აზმ-ის დგუშისეული სივრცის მაქსიმალურად შევსებას. ამ პროცესით მთავრდება პირველი საფეხური, რომელიც მეორე საფეხურზე უზრუნველყოფს „თხევადი დგუშის“ არსებობას (სითხე, რომელიც დგუშისეულ სივრცესა და რგოლურ ჭვრიტეშია შეყვანილი). **მეორე** საფეხურზე, შედარებით სიმშვიდის რეალზე, იწყებენ რა დგუშები (ელასტომერის U -ს მაგვარი სამაჯურები) მოძრაობას, აზმ-იანი დოლის ცენტრიდან პერიფერიებისაკენ, საწნევო საქმენის საშუალებით მოძრაობაში მოჰყავთ, რგოლურ ჭვრიტესა და დგუშისეულ სივრცეში, ჩვენ მიერ იძულებით (წნევით) შეყვანილი სითხე და ვაკუუმი ფორმირდება საკონტაქტო ზედაპირზე [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 გაუხშობის თანაბრად განაწილებასა და ფორმირებაში. ამიტომ ვაკუუმის შექმნის პროცესის შესწავლისას ჯეროვანი ყურადღება უნდა დაეთმოს პირველ საფეხურსაც. ვაკუუმის ფორმირების ეს ეპიზოდი შეიძლება გამოვიყენოთ, როგორც წვეის ძალებისა და ლენტის მოძრაობის სინქარის 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 აზმ-ის დგუშები (ინტენსიურ) სვლას

პერიფერიებისაკენ, ხახუნი პრაქტიკულად გადადის მშრალ ხახუნში (იმავედროულად ვაკუუმის გარემოში). დგუშების პროგრამულ მოძრაობას ახორციელებს წინასწარი გათვლებით დაპროექტებული, ჭოკის ბოლოვანებთან დაკავშირებული მრუდწირული მიმართველები. აღნიშნულის გათვალისწინება და არსებული ლიტერატურული წყაროების ანალიზი საფუძველს იძლევა დავასკვნათ, რომ დგუშების პერიფერიებისაკენ სვლის დაწყებისთანავე, რგოლურ ჭვრიტეში ხდება სითხის იძულებითი დრენირების (არინების) უცილობელი გააქტიურება.

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

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

ამგვარად, ლენტური კონვეიერის ჩვეულებრივი დოლური ამძრავები, როდესაც მათ მუშაობა უხდება სველი ხახუნით, ე.ი. ელასტოჰიდროსტატიკურ და ელასტოჰიდროდინამიკურ რეჟიმში, შეიძლება გამოვიანგარიშოთ, როგორც მძლავრი ლენტური საკისარი. ვაკუუმ-დოლების შემთხვევაში კი საჭირო იქნება სპეციფიკური პროცესების გათვალისწინებით (დგუშების სვლით დრენაჟირების ეფექტის აჩქარება; ვაკუუმის ფორმირების პროცესისა და დოლის ხაზოვანი სინქარის 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-დამუშავება. შეხეთვის კლასიკური თეორია კი ორ რეჟიმს ითვალისწინებს (ნახ. 3.5): ჰიდროდინამიკურია და ზღვრულს. შეხეთვის თეორიაში ძირითადი საანგარიშო პარამეტრია **ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვი S_0** , რომელიც იანგარიშება ბლანტი ხახუნის ძალის შეფარდებით თხელ შემზეთ აკვზე მოქმედ წნევის ძალასთან ანუ

$$S_0 = \frac{\tau L^2}{pL^2} = \frac{\mu U}{pL} = \frac{\eta N}{\bar{P}} \quad (3.1)$$

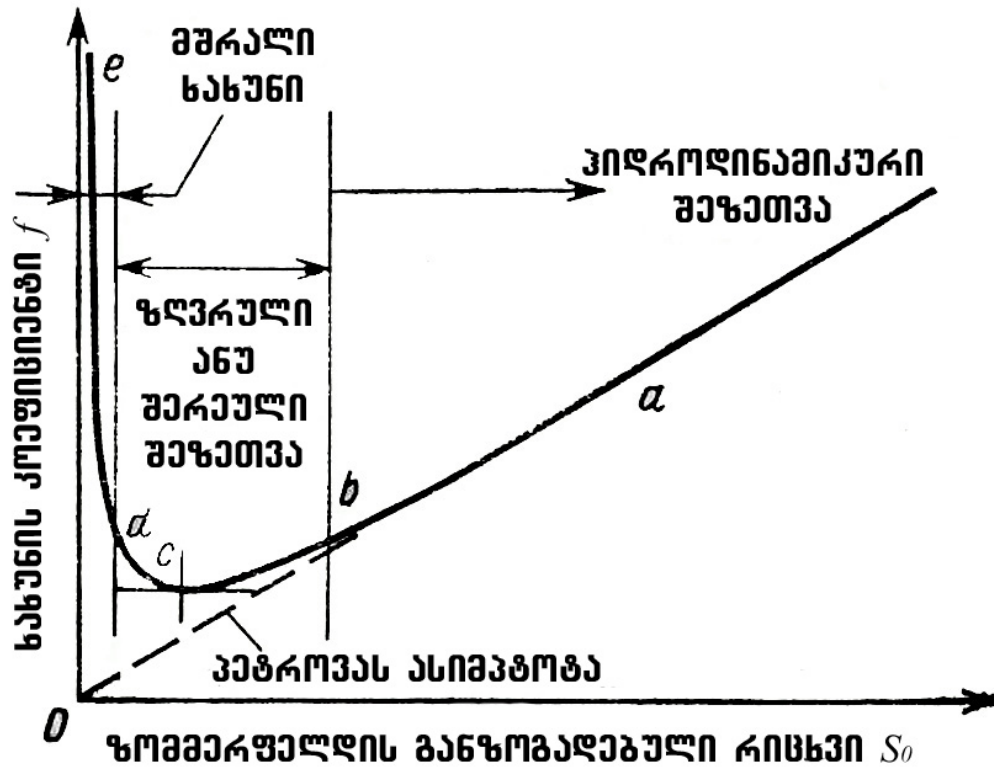
სადაც τ არის მხები ძაბვა; p – ნორმალური (ძალა) წნევა (ძაბვა) ; N – ბრუნვის სიხშირე;

\bar{P} – საშუალო დაწნევა; μ – სითხის სიბლანტე ; U – სითხის მოძრაობის სინქარე.

ზომერფელდის რიცხვს ფუნდამენტური მნიშვნელობა [55] ენიჭება შეხეთვის ამოცანების ამოხსნაში და საკისრების კონსტრუირებისას ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია [54, 55].

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, სითხის შრის სისქე და შესაბამისად ჭვრიტეში სითხის ხარჯი და მოძრაობის სინქარე დოლზე ლენტის სწრაფობის წერტილიდან ჩამოქანების წერტილამდე მაქსიმალურად მცირდება (თითქმის უტოლდება ნულს), რაც მიესადაგება

ხახუნის ხასიათის ცვლილებას თხევადიდან (ჰიდროდინამიკურიდან) ზღვრულამდე და შემდეგ უკვე მშრალ ხახუნამდე [54, 55]. ხახუნის პროცესის ასეთი ცვლილება განპირობებულია ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის ცვლილებით (იხ. ნახ. 3.5.) [55].



ნახ. 3.5.

2.3 ნახაზზე წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით ხახუნის კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება: ჰიდროდინამიკური რეჟიმისას – ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ხოლო მშრალი ხახუნის რეჟიმისას – ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის მინიმალურ მნიშვნელობას. ჩვენი შემთხვევისათვის აშშ ტიპის ვაკუუმ-ამძრავის მუშაობის ოპტიმალურ რეჟიმი არის მშრალი ხახუნის რეჟიმი ზომერფელდის განზოგადებული რიცხვის (S_0) მინიმალური მნიშვნელობისას. (3.1) გამოსახულების მიხედვით S_0 -ის შემცირება განპირობებულია დამოკიდებულებით, როდესაც: μ – სითხის სიბლანტე, U – სითხის მოძრაობის სიჩქარე ან შეიძლება ორივე ერთადაც მიისწრაფის ნულისაკენ.

($U \rightarrow 0$)

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

($\mu \rightarrow 0$)

3.6. ავტოვაკუუმ-ამძრავის ხახუნის კვანძების კონსტრუქციული დამუშავება ლაბორატორიაში სტენდური შესწავლისა და სამრეწველო გამოცდისათვის

3.6.1. ხახუნის კვანძების გამოსაცდელი სტენდის მოწყობილობა

ხახუნის კვანძების საკონტაქტო ზედაპირების ექსპერიმენტული შესწავლისათვის ვისარგებლეთ სტენდის ბაზისური ნაწილით, რომელიც შეიქმნა პეტროვ-ჟუკოვსკის ამოცანის მიხედვით ავტოვაკუუმ-ამძრავის სტატიკაში კვლევისათვის [60]. ხახუნის კვანძების ექსპერიმენტულად შესწავლისათვის 2.2 პარაგრაფში განხილული სტენდი მზადდებოდა 3.6-ე, 3.7-ე და 3.8-ე ნახაზებზე წარმოდგენილი სქემების შესაბამისად – კვლევის ეტაპების თანხედენილად. სქემებს თან ერთვის სტენდის რეკონსტრუქციული კვანძების ფოტომასალა. კვლევა მიმდინარეობდა სამ ეტაპად. პირველი ეტაპი (ნახ. 3.6.) ითვალისწინებდა ვაკუუმ-ამძრავების სხვადასხვა კონსტრუქციის საკონტაქტო ზედაპირებითა და საკონვეიერო ლენტით შექმნილი რგოლური ჭვრიტეს ჰერმეტიზაციის ხარისხობრივ შეფასებას. მმ(რ)მ ეტაპი (ნახ. 3.7.) – ვაკუუმ-სისტემის მიერ დამატებით შეწოვილი სითხის რაოდენობის განსაზღვრას რგოლურ ჭვრიტეზე მიერთებული კოლექტორის შემთხვევაში. მესამე ეტაპი (ნახ. 3.8.) – უშუალოდ ავტო-ის დგუშების ჰერმეტიზაციის ხარისხობრივ შეფასებას.

სამივე ეტაპზე ექსპერიმენტები ტარდებოდა მაქსიმალურად ერთნაირ პირობებში და შედეგები ფიქსირდებოდა შესაბამის ცხრილებში. სარეგულირებელ პარამეტრებად მიღებული იყო: ლენტის სწრაფობის S_s და ჩამოქანების S_f შტოების დაჭიმულობები; ვაკუუმის სიდიდე; ჰიდროდინამიკური, ზღვრული და მშრალი ხახუნის პირობები; ვაკუუმს დაქვემდებარებული საკონტაქტო ზედაპირის (რეციპიენტის) განთავსების ადგილი რგოლურ ჭვრიტეში და საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციის (ტიპომების 12 ძირითადი) ვარიანტი (იხ. ცხრილი 3.1). თითოეული პარამეტრის ცვლილებით ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგები ფიქსირდებოდა სპეციალური ნომრით 3.1. ცხრილის დამატებაში (იხ. 3.1. ცხრილის დამატება №1, 2...12 და ა.შ. 1...12 – ვარიანტის ნომერია; I, II, III – ხახუნის პირობები; I – მშრალი; II – ზღვრული; III ჰიდროდინამიკური).

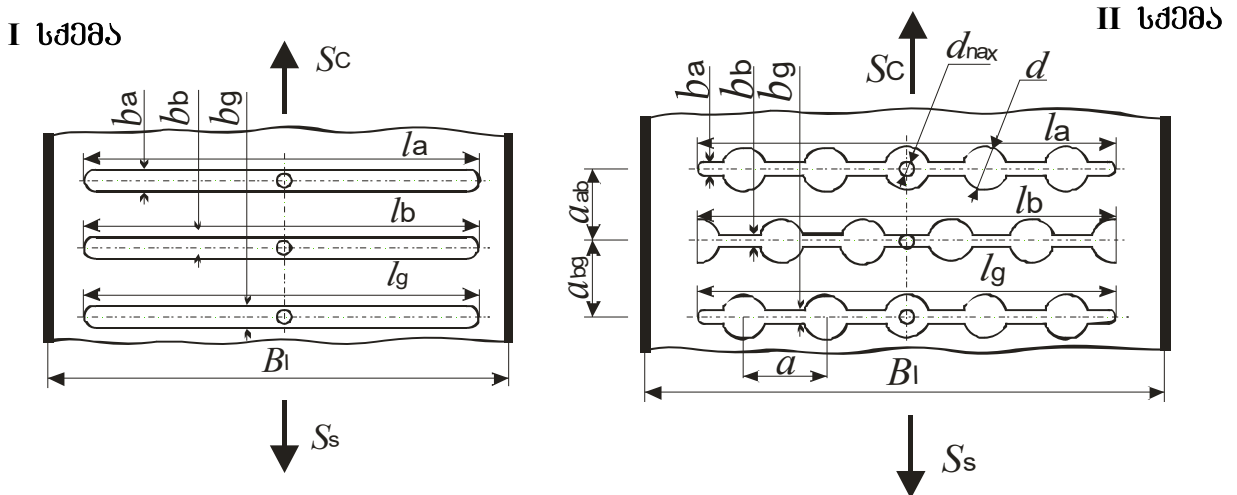
ლაბორატორიული კვლევის ყველა ეტაპზე უცვლელი იყო შემდეგი მონაცემები:

1. დოლის დიამეტრი, მმ; $D=360$;
2. დოლის სიგანე, მმ; $B_d=520$;
3. დარის (ანუ მისი შესაბამისი რეციპიენტის) ნომრის ათვლის მიმართულება S_f -დან S_s -კენ – $P_1, P_2 \dots P_n$;
4. ლენტის სიგანე, მმ; $B_l=500$;
5. ერთნაირი პარამეტრების მქონე დარების რაოდენობა (იხ. ცხრილი 2.1-ის შენიშვნები);
6. დარის 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), სამარჯვებითა და ხელსაწყოებით. ეტაპის შესატყვისი ცდების ჩატარებისას გამოსაცდელი კვანძის მდგომარეობა მაქსიმალურად შეესატყვისებოდა რეალურს, ვაკუუმ-დოლის ღვარის მიმართ საჭირო მდგომარეობაში ფიქსირება (იხ. ცხრ. 3.1), ხორციელდებოდა დოლის ლილვზე დამაგრებული ხრუტუნა თვალისა და ჩარჩოზე დამონტაჟებული სარეკელას საშუალებით. საჩერის ასეთი კონსტრუქცია საშუალებას გვაძლევდა დაგვეფიქსირებინა დოლის საჭირო ზედაპირი ნებისმიერ პოზიციაში რგოლური ჭვრიტეს მიმართ ღვრის 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 შეადგენდა 20,88 მ³/სთ-ს.

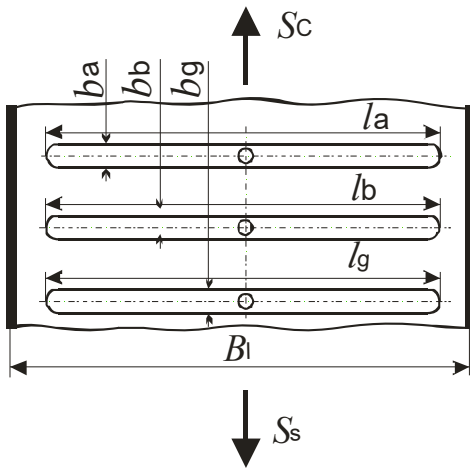


ცხრილი 3.1

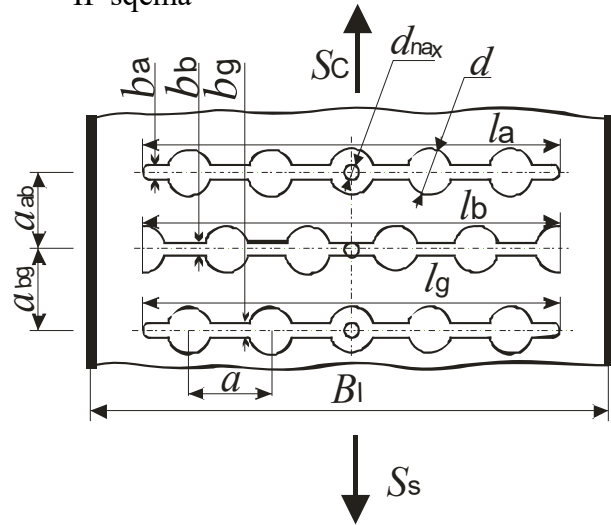
ვარია ნტის №	b_a	b_b	b_g	a_{ab}	a_{ag}	l_a	l_b	l_g	შენიშვნები
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	გლუვზედაპირიანი – განარსული								$\alpha=\pi$
2	განარს.	16	16	–	10	–	280	280	
3	16	16	16	10	10	280	280	280	$n_{\varrho}=12$
4*	16	20/10	20/10	10	30	280	420	420	
5*	20/10	20/10	20/10	30	30	420	420	420	$n_{\varrho}=10$
6*	20/10	20/10	განარს.	30	–	420	420	–	
7	20	20	20	40	40	420	420	420	$n_{\varrho}=5$
8	20	20	10	40	23	420	420	420	$n_{\varrho}=1$
9	10	10	10	10	10	420	420	420	$n_{\varrho}=14$
10	10	10	10	15	15	420	420	420	$n_{\varrho}=12$
11	10	10	10	20	20	420	420	420	$n_{\varrho}=9$
12	20	20	10	40	20	420	420	420	

* 20/10 ~შესატყვისება d/b (იხ. 3.1. ცხრილის II სქემა)

I sqema



II sqema



ცხრილი 3.1.

ვარია ნტის №	b_a	b_b	b_g	a_{ab}	a_{bg}	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	$n_g=12$
4*	16	20/10	20/10	10	30	280	420	420	
5*	20/10	20/10	20/10	30	30	420	420	420	$n_g=10$
6*	20/10	20/10	გაჩარხ.	30	–	420	420	–	
7	20	20	20	40	40	420	420	420	$n_g=5$
8	20	20	10	40	23	420	420	420	$n_g=1$
9	10	10	10	10	10	420	420	420	$n_g=14$
10	10	10	10	15	15	420	420	420	$n_g=12$
11	10	10	10	20	20	420	420	420	$n_g=9$
12	20	20	10	40	20	420	420	420	

* 20/10 ~შეესატყვისება d/b (იხ. 3.1. ცხრილის II სქემა)

ღოლის საკონტაქტო ზედაპირის სახესხვაობები ცხრილი 2.1-ის მიხედვით







ვარიანტი VII, VIII, IX



ვარიანტი X



3.1. ცხრილის დამატება № 7

ნახუნის რეჟიმი: რგოლურ ჭვრიტეში – I

კოლექტორში – I

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

შენიშვნა: ა) დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე S_n -დან α კუთხით განლაგებული სამი მეზობელი დარიდან ვაკუუმ-ტუმბოსთან მიერთებული იყო ცენტრალური დარი (იხ. I და II სქემა და 3.1. ცხრილის დამატების 6, 7 და 8 სვეტი);

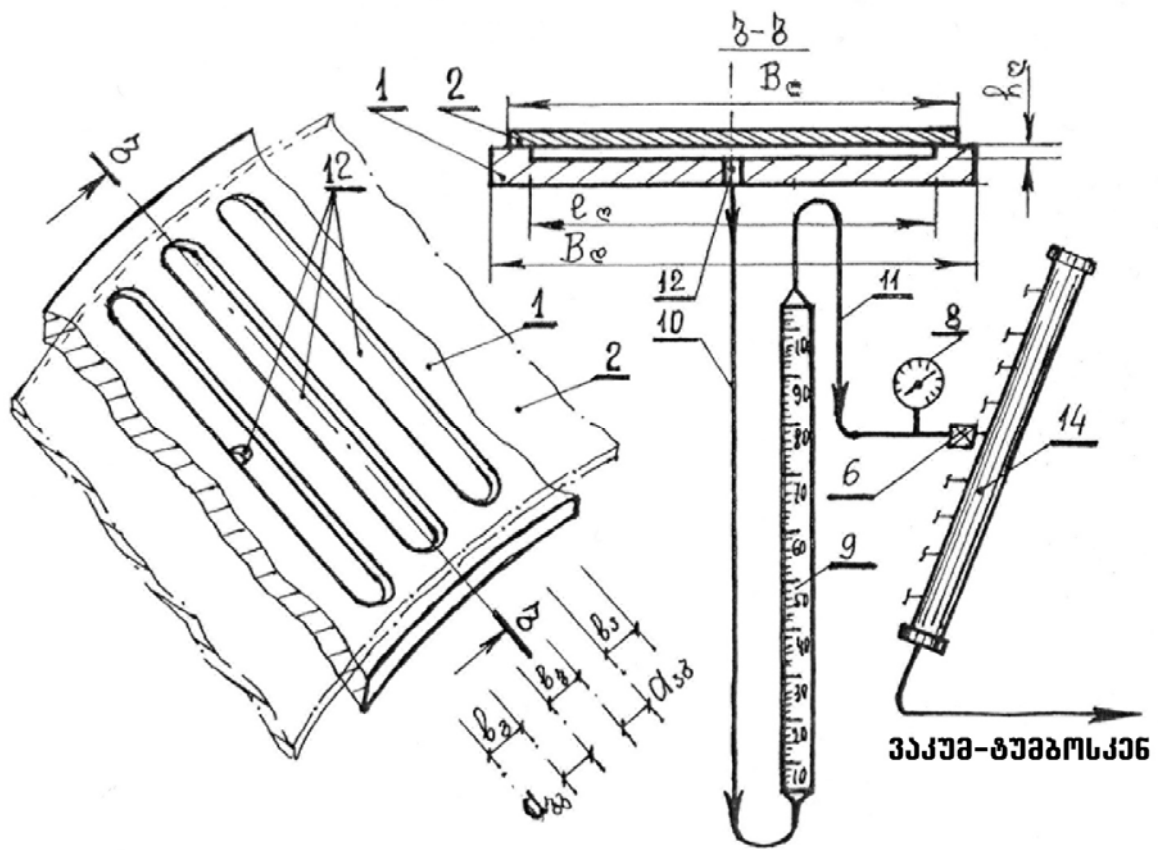
ბ) ლაბორატორიული სტენდის აწყობა ხდებოდა: 6, 7, 8, ცხრილების სვეტისათვის 3.6 ნახაზზე წარმოდგენილი სქემით; ხოლო 9, 10, 11, სვეტისათვის – 3.7 ნახაზზე წარმოდგენილი სქემით.

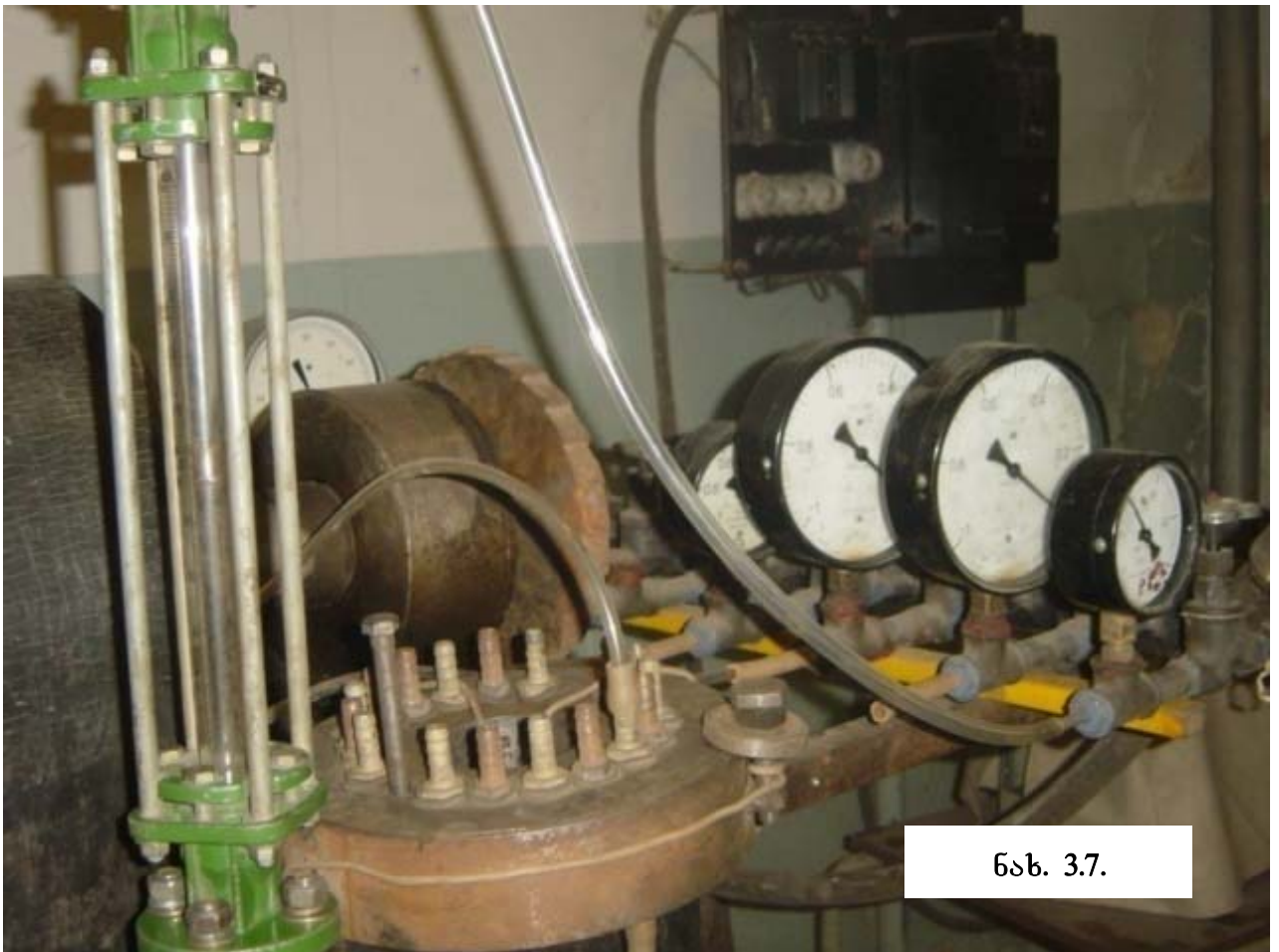
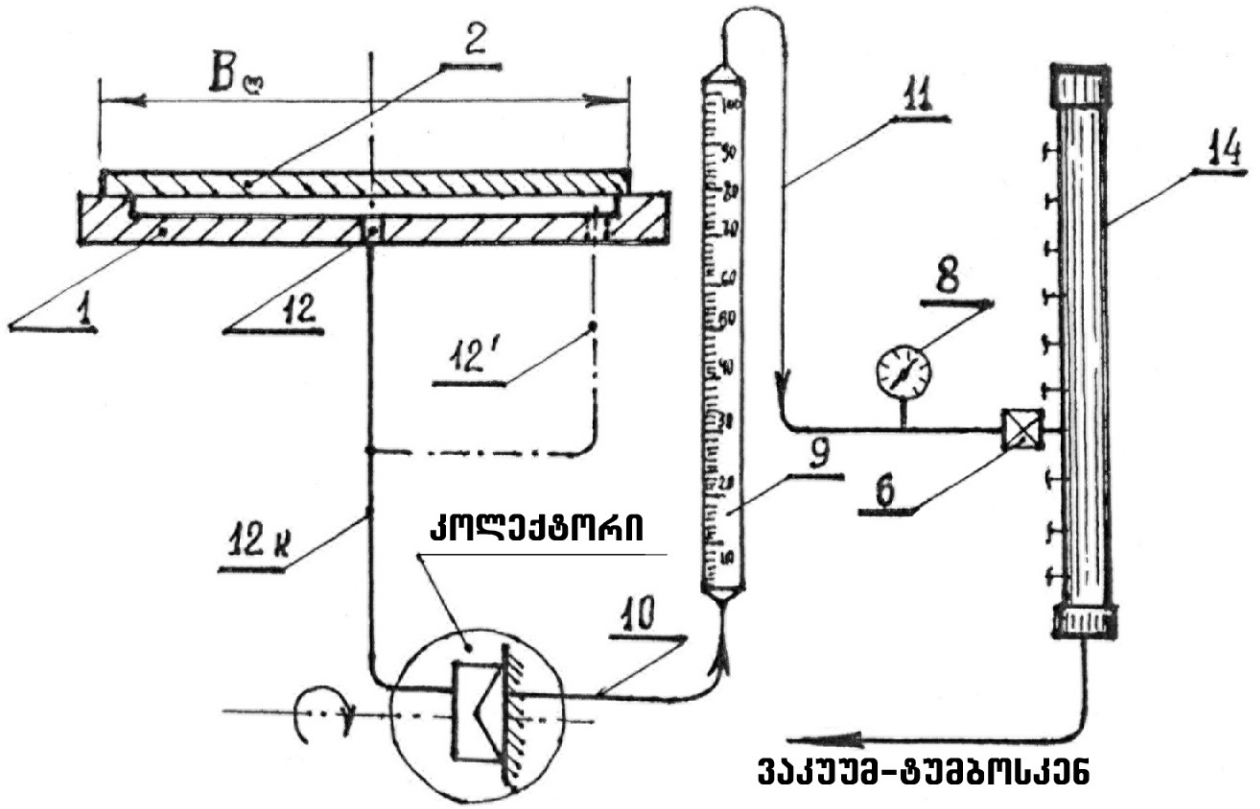
№	S _n , დკნ	S _ს , დკნ	P·10 ⁵ , პა	რეციაბიენტების მდებარეობა S _n -ის მიმართ ო ⁰	კოლექტორის გარეშე			სქემაში ჩართული წრიული კოლექტორისათვის			შენიშვნები
					p ⁰ , პა	q ^{როტ.} , დ/სთ	p ^ბ , პა	p ^ა , პა	q ^{როტ.} , დ/სთ	p ^ბ , პა	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50	850	0,92	10	0	1200	0	0	7800	0	
				90	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	

3.6.2. ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდთა და სამზომო აპარატურა

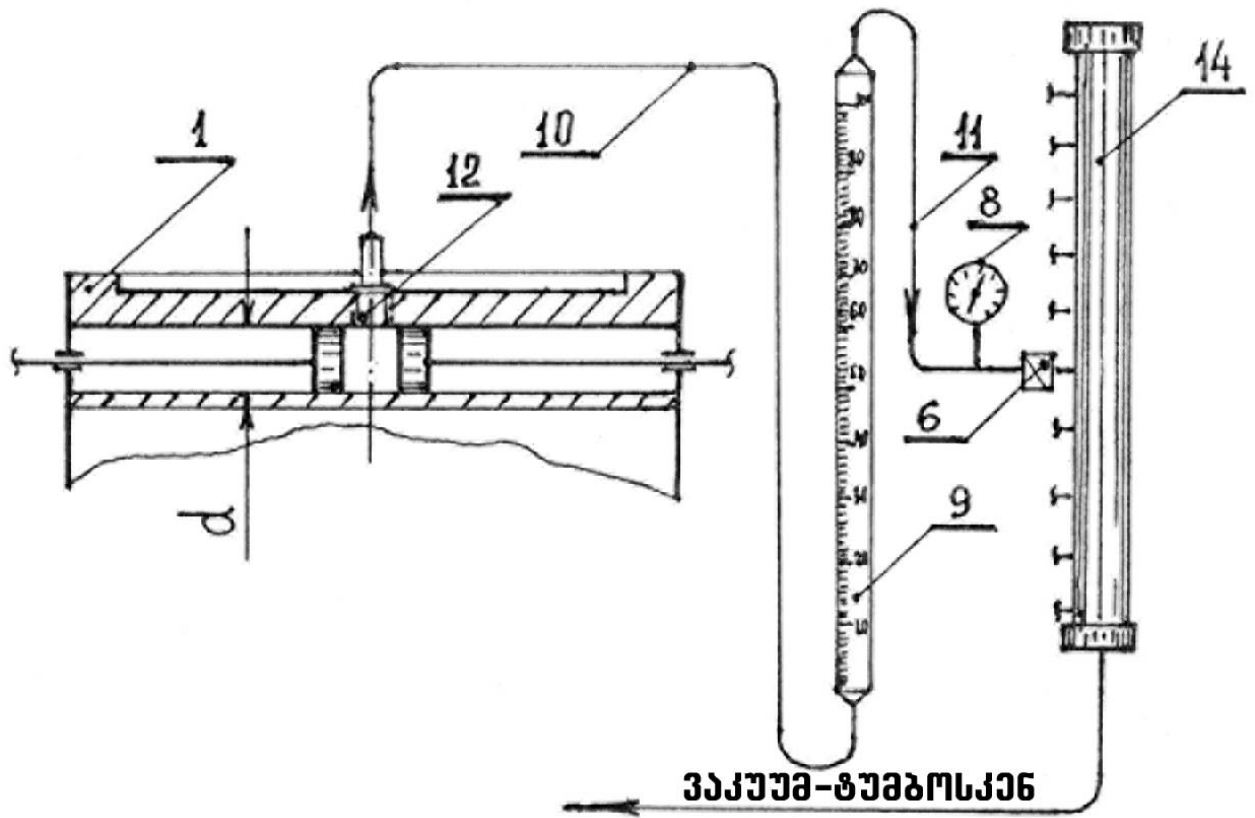
ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების ექსპერიმენტული კვლევისათვის შემუშავდა მეთოდთა, რომელიც ითვალისწინებს ხახუნის თითოეული კვანძის გავლენის შესწავლას საკონტაქტო ზედაპირის წვეთი თვისებაზე. კვლევის ასეთი მეთოდთა გამართლებულია იმ წინა კვლევების [60] შედეგების გათვალისწინებითაც, რომლებშიც ვაკუუმური გაწოვის მხოლოდ ადგილის შეცვლამ თითქმის სამჯერ გაზარდა ერთნაირი კონსტრუქციისა და ტიპ-ზომის ზედაპირის წვეთი თვისება. მეთოდთა ითვალისწინებს კვლევითი სამუშაოების სამ ეტაპს. საკვლევი კონსტრუქციის შერჩეული ზედაპირები განვითარდეს ლაბორატორიული კვლევებისათვის განკუთვნილ ორი ვაკუუმ-დოლის ზედაპირზე. ზედაპირების პირველი ექვსი ვარიანტი (იხ. ცხრილი 3.1.) განთავსებულია ერთ დოლზე, ხოლო მისი კვლევის შედეგები შეტანილია ცხრილებში, რომლებიც ინომრებოდა 3.1 ცხრილით გათვალისწინებული ვარიანტის ნომრის შესაბამისად, მაგალითად, №1 ვარიანტის კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში შემდგენიარად (3.1. ცხრილის დამატება №1). ზედაპირების მეორე ექვსი (7÷12 იხ. 3.1 ცხრილში). ვარიანტი განთავსებულია მეორე დოლზე, ხოლო კვლევის შედეგები დაფიქსირებულია შესაბამის ცხრილებში, მაგალითად – (3.1. ცხრილის დამატება №7 და ა.შ.). თუ 3.1 ცხრილით გათვალისწინებულ ვარიანტზე ექსპერიმენტი ტარდებოდა რამდენიმეჯერ ცვლადი პარამეტრების (მაგ. ვაკუუმში, საწყისი დაჭიმულობა (S_0), ხახუნის რეჟიმი და ა.შ.) გავლენის შესასწავლად, მაშინ ცხრილში, სადაც შესაბამისი სიდიდეები ფიქსირდებოდა, შეგვქონდა დამატებითი აღნიშვნა – (მაგ. 3.1. ცხრილის დამატება №7).

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





ნახ. 3.7.



ნახ. 3.8.

პირველი ეტაპის კვლევითი სამუშაოების შესრულების შემდეგ, სტენდი მზადდებოდა მეორე ეტაპისათვის 3.7 ნახაზზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით. ამისათვის 12k ვაკუუმური მილის საშუალებით წრიული კოლექტორის მოძრავი ნაწილი უერთდება ამძრავი დოლის რგოლურ ჭვრიტეს 12 ცენტრალური ნახვრეტით. კოლექტორის მეორე ნახევარი – უძრავი ნაწილი, 10 ვაკუუმ-მილის მეშვეობით უკავშირდებოდა **PC-3 (PC-5)** ტიპის როტამეტრის მილტუნს და 8 ვაკუუმმეტრისა და 14 წრფივი კოლექტორის საშუალებით ირთვებოდა BH-2MГ ტიპის მექანიკურ ვაკუუმ-ტუმბოში. ნებისმიერი საჭირო რეციპიენტის ვაკუუმ-სისტემაში ჩართვა-ამორთვის ოპერაციები ხორციელდებოდა 6 ვენტილის საშუალებით

მესამე ეტაპის კვლევითი სამუშაოებისათვის სტენდი მზადდებოდა 3.8 ნახაზზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით. ამისათვის აშშ ვაკუუმ-დოლის ახალ კონსტრუქციულ ანაკრეფზე (იხ. ფოტომასალა ნახ. 3.8). უშუალოდ 12 ცენტრალური ნახვრეტისა და 10 ვაკუუმური მილის საშუალებით ხდებოდა აშშ-ის დგუშისეული სივრცის მიერთება ვაკუუმის წყაროსთან 9 როტამეტრისა, 8 ვაკუუმმეტრისა 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 მოყვანილი სქემისა და აღნიშვნების საშუალებით.

ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირების თორმეტივე ვარიანტი, როგორც კონსტრუქციის, ასევე გეომეტრიული პარამეტრების მიხედვით, დამზადდა წინასწარ მაკროელასტოპიდროდინამიკური თეორიისა და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით.

ყველა საჭირო ფიზიკური სიდიდის გაზომვისათვის ლაბორატორიულ სტენდზე გათვალისწინებული იყო შესაბამისი აპარატურა. ათვლები ხორციელდებოდა: საწყისი (პროგრამული) დაჭიმულობის (S_0) გაზომვისათვის – ДПУ-0,5 ტიპის დინამომეტრიდან; სწრაფობის წერტილში ლენტის დაჭიმულობის (S_1) გაზომვისათვის – ДПУ 5-2 ტიპის დინამომეტრიდან; საკვლევი რეციპიენტებში გამავალი სითხის ხარჯის გასაზომად – **PC-3 (PC-5)** ტიპის როტამეტრიდან, ვაკუუმ-არხებში გაუხშობის მნიშვნელობა – **BO** ტიპის ვაკუუმმეტრიდან.

4. ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირის დამუშავება და თეორიული გამოკვლევა

4.1. ტექნიკური მოთხოვნები საკონტაქტო ზედაპირის მიმართ

მიუხედავად წინამორბედ მკვლევართა მიერ მიღებული მაღალი ტექნიკური მაჩვენებლებისა [5÷32; 56÷63], ვაკუუმ-ამძრავები კვლავაც საჭიროებს 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 ამძრავებს (იხ. ნახ. 1.1 – ვაკუუმ-ამძრავების კლასიფიკაცია). ამძრავებისდადებითი და უარყოფითი მხარეები და ის პრობლემური ამოცანები, რომელთა გამოც უმჯობესია ზოგიერთ კონსტრუქციაზე უარი ვთქვათ, ვრცლადაა წარმოდგენილი წინამდებარე ნაშრომის 1.2 და 1.3 პარაგრაფებში. ვითვალისწინებთ რა ჩვენ 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, საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმი აუცილებლად იქმნებოდეს ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მათი მუშაობის უზრუნველყოფით;

3. საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქცია-დამუშავებისას, საჭიროა გავითვალისწინოთ რგოლური ჭვრიტის წარმომქმნელი ზედაპირების (ლენტი – ამძრავი დოლი) სიმქისეთა ისეთი მნიშვნელობები, რომელთა დროსაც შენარჩუნებული იქნება სითხის მოცულობითი თვისებები (იხ. ბ. დერიაგინის კვლევებისა და ნ. პეტროვის შეხედულებები. § 2.1. გვ. 2) და უზრუნველყოფილი იქნება სწრაფი და სრულყოფილი დრენირების პროცესი.

4. თანაბრად განაწილებული გაუხშოების შექმნის უზრუნველყოფისათვის განმეორებით ვადასტურებთ იმ ოთხივე აუცილებელი პირობის სამართლიანობას, რომელიც განვიხილეთ 1.2 პარაგრაფის დასკვნით ნაწილში;

5. გრძელდგარიანი საკონვეიერო დანადგარების სათავსი, კუდისა და შუალედური ამძრავების დამუშავებისას უმჯობესია, გათვალისწინებულ იქნეს ერთგვაროვანი ელემენტებისაგან შედგენილი ანაკრეფი მწვევი ბტყელა (საკონტაქტო ზედაპირი), რაც

უზრუნველყოფს უნიფიკაციის მაღალ დონეს და უფრო მოხერხებულს ხდის ექსპლუატაციისა და რემონტის პროცესს;

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

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

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

9. ავზებიანი 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 მისი მიმდებარე საკონტაქტო ზედაპირების შესაბამის ნაწილზე, ვაკუუმის პროგრამული მნიშვნელობის ფორმირება უნდა დასრულდეს კოლექტორების (წრიული, წრფივი) ვაკუუმური საკნის საშუალებით ა.შ. – “შედარებითი სიმშვიდის” რკალის ფარგლებში ;

11. საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმიზაციის მიღწევის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წინაპირობაა ამძრავის განხილვა ლენტური საკისრის რანგში; ამასთან ზედაპირთან ავზის დგუშისეული სივრცის შემაერთებელი ცენტრალური ნახვრეტის შერჩეული (ნაანგარიშები) დიამეტრი უნდა უზრუნველყოფდეს სითხის ნაკადის უწყვეტ გადადინებას ვაკუუმ-სისტემის რეციპიენტებში – საკონტაქტო ზედაპირზე განლაგებული გარე მოცულობებიდან (დარებიდან, პერფორაციებიდან და ა.შ.) ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმის მუშა მოცულობამდე (მაგალითად, დგუშისეულ სივრცემდე).

საკონტაქტო ზედაპირებისა და მთლიანად ვაკუუმ-ამძრავის კონსტრუქციისათვის წაყენებული ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მოთხოვნაა ამძრავი სადგურის დაშლა-აწყობისას მისი თითოეული კვანძისა და შემადგენელი ნაწილის ადვილი მისადგომობა, კომპაქტურობა, სარემონტოდ ვარგისობა და ა.შ.

4.2. 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 აუცილებელი პირობაა) გათვალისწინებულია, როგორც განივი, ასევე ამძრავის წრიული (ამძრავზე საკონვეირო ლენტის სწრაფობიდან ჩამოქანების წერტილისაკენ) მიმართულებით. სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების გამოქვეყნებულ წყაროებში წარმოდგენილი შედეგები ხშირად ურთიერთ-გამომრიცხავი დასკვნებით მთავრდება. მაგალითად, ერთი და იმავე ნაშრომში [22] მითითებულია, რომ საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმის გავრცელება ლენტის სწრაფობიდან ჩამოქანების მიმართულებით თანაბარი და მაღალია, ამასთან, იმავე ნაშრომში ლაპარაკია საკონტაქტო ზედაპირების გრძივ ღარებსა და საკონვეირო ლენტს შორის “ელასტიკური კბილანური მოდების” არსებობის შესაძლებლობაზე. ეს ვერსია გამოკვეთილია ვოლჩეკის სადისერტაციო ნაშრომში, სადაც ის ლაბორატორიული ექსპერიმენტის შედეგებით ასაბუთებს ჰიპოთეზას “ელასტიკური კბილანური მოდების” არსებობის შესახებ (იხ. ნახ. 3.3ა). ამ ჰიპოთეზას დამაჯერებლად განიხილავს იმის გამო, რომ მისი ლაბორატორიული ექსპერიმენტების მითითებულ გრაფიკულ ნაწილზე (ნახ. 3.3ა) ნათლად ჩანს წვევის ძალების კლება საკონვეირო ლენტის საწყისი დაჭიმულობის გაზრდისას (ჩვენი აზრით, ეს მოვლენა აიხსნება ექსპერიმენტის არასწორი დაგეგმვითა და ჩატარებით). დაახლოებით მსგავს შედეგებზეა საუბარი მოგვიანებით შესრულებულ კვლევებშიც [60, 93]. თუმცა შემდგომში, არა მთლად მტკიცებითი, მაგრამ, ჩვენი აზრით, მაინც ჭეშმარიტებასთან მიახლოებული ფორმით ნაშრომში [60] აღნიშნულია, “რომ წვევის ძალების გადაცემა ვაკუუმ-ამძრავებში ხორციელდება არა მხოლოდ ჭვრიტული მოდებით, არამედ ძირითადად ლენტისა და დოლის საკონტაქტო ზედაპირების ურთიერთხახუნის შედეგად”. ეს ფორმულირება მაინც მიანიშნებს იმაზე, რომ საკითხი საჭიროებს სერიოზულ შესწავლას. ამ მიზნით, ვფიქრობთ, შესწავლილ იქნა თითქმის ყველა იმ კვლევის შედეგი (იხილეთ ლიტერატურის ციტირება), რომელიც ეხებოდა პერფორირებული და ლიარხებიანი საკონტაქტო ზედაპირებით წვევის ძალების რეალიზაციას. აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ მე- [60] კვლევითი სამუშაოს არცერთი ცდის შედეგის გრაფიკული სახით წარმოდგენილ დასკვნით ნაწილში (იხ. მაგ. ნახ. 3.3ბ და გ) წვევის ძალების შემცირების ფაქტი ლენტის საწყისი დაჭიმულობის ზრდის შემთხვევაში არ ფიქსირდება. ამიტომ დაუჯერებელი და გაუგებარია [60] სამუშაოს ავტორის მიერ გაკეთებული და ჩვენ მიერ ზემოთ მოყვანილი ამ დასკვნის ციტირებული შინაარსის სამართლიანობა და ავტორის მიერ ამ მოვლენის ამგვარად აღიარების მიზეზი.

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

ჩვენ მიერ ჩატარებული ექპერიმენტების შემთხვევაშიც საწყისი (პროგრამული) დაჭიმულობის ზრდისას (0-დან $S_{max}=500$ დენ) წვეის ძალის არავითარი შემცირებითი ცვლილება არ აღინიშნებოდა. პირიქით, როგორც ეს [60] ნაშრომშია აღნიშნული, მხოლოდ დოლის საკუთარი წვეის ფაქტორის ამოწურვის შემდეგ იწყებოდა ჩამოქანების წერტილში საკონვეირო ლენტის საწყისი (პროგრამული) დაჭიმულობის ზრდა, რაც, თავის მხრივ, ზრდიდა სწრაფობის წერტილში დაჭიმულობას. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენ მაინც შევნიშნეთ საკონვეირო ლენტის ის უმნიშვნელო დეფორმაციები, რომელიც გამოვლინდა დარის 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. 3.4თ), რომელიც აკმაყოფილებს 3.1 პარაგრაფში წარმოდგენილ ყველა იმ ტექნიკურ მოთხოვნას, რომლებიც წაყენება ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირებს.

3.4თ ნახაზზე 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 მსახველებსა და, ამდენად, მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე, ჭადრაკულად განლაგებული, ხოლო თითოეულ მსახველზე იწყება და მთავრდება იმ პირობით, რომ საკონვეიერო ლენტმა სრულფასოვნად გადაფაროს ისინი და იმავდროულად მათი საშუალებით არ მოხდეს სითხის (აირის, წვეთოვანის) შეწოვა ატმოსფეროდან (ან სითხის რეზერვუარიდან). მსახველზე წრიული ამონაჩარხები ერთმანეთს, ყველა ერთად კი 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 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 არის მნიშვნელოვანი ავარიული სიტუაციის მიზეზი, განსაკუთრებით მძლავრი გრძელდგარიანი საკონვეირო სისტემების შემთხვევაში, რაც მნიშვნელოვნად შეამცირებს დანადგარის დროში გამოყენების კოეფიციენტს.

რადგან ამ ნაშრომში ვაკეთებთ, ამ ეტაპისთვის შესაბამის საბოლოო დასკვნის ანალიზს, გამომდინარე ზემოთ მოყვანილი ყველა მტკიცებითი მოსაზრებიდან, ჩვენი ექსპერიმენტული კვლევის ობიექტად მივიჩნევთ ყველა კონსტრუქციის საკონტაქტო ზედაპირს (იხ. ნახ. 3.4). განსაკუთრებული ყურადღება მიექცევა ახალი ტიპის ზედაპირის კვლევას, როგორც პერსპექტიულ, საკონვეირო ლენტისათვის კარგ საყრდენ და მცირე საწყისი მოცულობის მქონე ცენტრალური გაწოვის ვაკუუმ-არხებით დაპროექტებულ საკონტაქტო ვაკუუმ-ზედაპირს.

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

როგორც უკვე ვიცით, ჰიდროდინამიკურ (სველი სახუნის) რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-ამძრავის წვეის ფაქტორი და წვეის ძალები, იდენტურ პირობებში და სხვა პრინციპზე მომუშავე ამძრავების (მაგალითად, ფუტირებულზედაპირიანი დოლებით; ელექტრომაგნიტური, მაგნიტურ-ელექტრული, პნევმოკამერიანი და ა.შ. სხვა სპეციალური) შემთხვევებთან შედარებით [92] გაცილებით მეტი და უფრო სტაბილურია.

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

გამოყენებაში იგულისხმება დრეკადჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ლენტური საკისრის იმ ვარიანტის შერჩევა, რომელშიც ბრუნვით მოძრაობას ასრულებს, როგორც ლილვი (ჩვენ შემთხვევაში ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირი), ასევე ლენტი, შემდეგში ამ ვარიანტისათვის გაანგარიშების კლასიკური მეთოდის [94] საფუძველზე

ჩვენი საკვლევი ობიექტის – ამძრავი ვაკუუმ-დოლის ზედაპირისა და საკონვეირო ლენტის რგოლურ ჭვრიტეში სითხის შრის სისქის განსაზღვრა, ხოლო ხახუნის შემდგომი საჭირო რეჟიმის მიღწევისათვის, ზომერფედლის განზოგადებული (S_0) რიცხვის იმ მნიშვნელობის განსაზღვრა, რომელიც საძიებო რეჟიმს შეესაბამება.

ზემოთ მოყვანილი თითოეული ღონისძიების შერჩევისა და გათვლის შემდეგ, საჭიროა ამძრავი ვაკუუმ-დოლის მუშაობის ისეთი რეჟიმის შერჩევა, რომელშიც ნებისმიერი კუთხური სიჩქარისათვის რგოლურ ჭვრიტეში ჩვენი შერჩეული რეჟიმი გაბატონდება. ამის განხორციელება კი შესაძლებელია ვაკუუმური მექანიზმების დგუშების ჭოკის ბოლოვანებისა და მუშტა მექანიზმების ისეთი სიმრუდის მიმართველებთან დაკავშირება, რომლებიც დროის კონკრეტული ხანგრძლივობისათვის უზრუნველყოფენ სითხის უწყვეტი ნაკადით დინებას დოლის საკონტაქტო ზედაპირისა და დგუშისეული სივრცის შემაერთებელ ნახვრეტში. 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 დანიშნულებაა მაქსიმალური ხახუნის (წვევის) ძალის განვითარება, შევეცდებით ხახუნის პროცესის შემდგომი მართვით ამძრავის “დრეკადი სრიალის” (აღს.) შესაბამის რეალზე, მაკროელასტოჰიდროდინამიკურიდან ზღვრულში, საბოლოოდ კი ლენტის დრეკადი სრიალის პროცესის მშრალ რეჟიმში გადაყვანას, რითაც საშუალება გვქვდა, 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]. 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, მანქანათა კვანძებში მიმდინარე ხახუნის სახეობით დაწყებული, ზედაპირის ხარისხისა და მათი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების განხილვით დამთავრებული, ცვეთის, შეხეთვის, ზედაპირების რღვევის სახეობების, საკონტაქტო სიმტკიცის, დაღლილობისა და სხვ., XXI საუკუნისათვის შესაფერისი მანქანათმშენებლობის განვითარებისათვის საჭირო საკითხზე (რასაც წინამდებარე ნაშრომში სრულფასოვნად ვერ შევძლებთ, მათი მრავალფეროვნებისა და მოცულობის სიდიდის გამო) შესაძლებელია მოძიებულ იქნეს თანამედროვე, ტრიბოტექნიკის [33] (ტრიბოლოგიის, ტრიბონიკის) შესახებ ლიტერატურულ წყაროებში (იხ. ლიტერატურის ჩამონათვალი) და ინტერნეტის საშუალებით.

ხახუნის ძალის სიდიდის მართვის პროცესის რეალურად შესრულების (განხორციელების) იდეა დაგვებადა მოსრიად ზედაპირების წველის შეხეთვის რეჟიმის გაცნობისას, რომელიც წარმოდგენილია გრაფიკული სახით – კოორდინატებში: ზომერფედლის განზოგადებული (S_0) რიცხვი, ხახუნის (f) კოეფიციენტი (იხ. § 2.3 ნახ. 2.3).

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

სწორედ ამ საკითხს ეძღვნება ეს პარაგრაფი.

ცნობილია, რომ ამძრავი დოლის მიმართ საკონვეირო ლენტის ფარდობითი სიმრუდე (L/r') შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით [53].

$$\frac{1}{r'} = \frac{\frac{d^2h}{ds^2}}{\left[1 + \left(\frac{dh}{ds}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (4.1)$$

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

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \quad (4.2)$$

რადგან ამძრავი დოლისა და საკონვეირო ლენტის საკონტაქტო ჭვრიტეში სითხის h სისქე უმნიშვნელოდ იცვლება დოლის რკალის გასწვრივ (ამძრავის შედარებითი სიმშვიდის რკალზე β_{zL} , რაც პრაქტიკულადაც დასტურდება), ამიტომ $(dh/ds)^2$ შეიძლება უგულებელვყოთ, მაშინ (4.2)-ში (4.1)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} - \frac{d^2h}{ds^2} \quad (4.3)$$

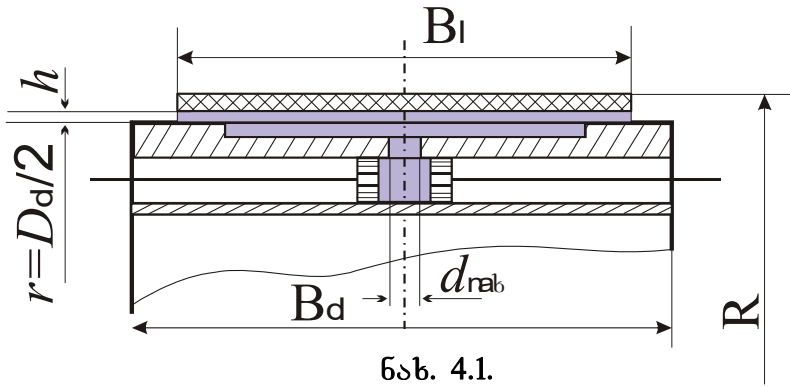
საიდანაც ლენტის სიმრუდის რადიუსი ამძრავის მიმართ

$$R = \left[\frac{1}{r} - \frac{d^2h}{ds^2} \right]^{-1} \quad (4.4)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჩვეულებრივ მოხახუნე ზედაპირებს (დოლი – საკონვეირო ლენტი) შორის სითხის h შრე იმდენად თხელია, რომ ბლანტი ხახუნის ძალები გაცილებით დიდია ინერციის ძალებზე, ჭვრიტეში არსებული სითხის მექანიკური ქცევის აღმწერი ნავიე-სტოკსის განტოლება დაიყვანება რეინოლდსის ყველაზე უფრო ზოგად (4.5) განტოლებაზე

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6(U_1 - U_2) \frac{\partial(\rho h)}{\partial x} + 6\rho h \frac{\partial}{\partial x} (U_1 + U_2) + 12 \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} \quad (4.5)$$

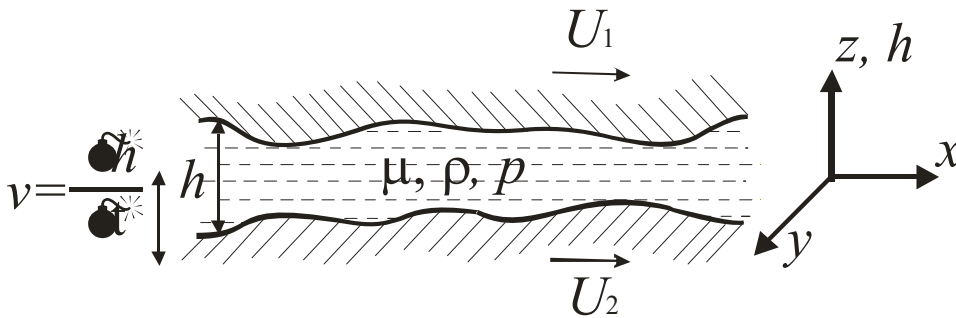
ხოლო თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ჭვრიტეს შემქმნელი ზედა ზედაპირი (იხ. ნახ.



4.1) ელასტომერია, მაშინ (3.5) განტოლებაში $U_1=U$, $\rho=const$ (იხ. ნახ. 4.2), შესაბამისად (4.5) განტოლების მარჯვენა ნაწილის ბოლო შესაკრები ნულის ტოლია, ხოლო მეორე შესაკრები პირველი მიახლოებით შეიძლება გამოვრიცხოთ, და მივიღებთ,

რომ უკუმშველი ერთგანზომილებიანი დენადი სითხისათვის რეინოლდსის განტოლება ჩვენი პირობებისათვის შეიძლება ჩავწეროთ (4.6) გამოსახულების სახით.

$$\frac{\partial}{\partial s} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial s} \right) = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial s} \tag{4.6}$$



მივიღოთ, რომ ლენტის “შედარებითი სიმშვიდის” $R\beta_{შ.ს.}$ შესაბამის რკალზე წონასწორობის პირობების მიხედვით ღიღვის მხრიდან მოქმედებს ნორმალური ძალა.

$$P = \frac{T}{R} \tag{4.7}$$

(4.7) განტოლებაში (4.3)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ

$$p = T \left(\frac{1}{r} - \frac{d^2 h}{ds^2} \right)^{-1} \text{ და } \frac{\partial p}{\partial s} = T \left(-\frac{d^3 h}{ds^3} \right) \tag{4.8}$$

ამ განტოლებებში p არის ლოკალური წნევა სითხეში; ρ და μ – შესაბამისად სიმკვრივე და აბსოლუტური 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. 4.2).

(4.6) განტოლებაში (4.8)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ ე.წ. ლენტური საკისრის განტოლებას:

$$\frac{\partial}{\partial s} \left(h^3 \frac{\partial^3 h}{\partial s^3} \right) = \frac{6\mu U}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial s} \tag{4.9}$$

ცნობილია, რომ ა. გრასგოფის, ნ. ჟუკოვსკის, ო. კამმერის, ა. ფიბერის, ა. ფრიდერიხის, ე. გუტიარის და სხვა მრავალ მკვლევართა მიერ ამძრავის საკონტაქტო

ზედაპირი გაყოფილია ორ ნაწილად: მოსრიალედ – ჩვენი შემთხვევისათვის, ე.წ. “დრეკადი სრიალისა” და არამოსრიალედ ანუ “შედარებითი სიმშვიდის” უბნებად [1]. აღნიშნულის გამო შეიძლება მივიღოთ, რომ არამოსრიალე უბანზე $U=0$, ხოლო ტვირთშიდი ლენტის დაჭიმულობა $T=const$; მაშინ

$$\frac{6\mu U}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial s} = 0 \quad \frac{\partial}{\partial s} \left(h^3 \frac{\partial^3 h}{\partial s^3} \right) = 0 \quad (4.10)$$

(4.10) გამოსახულების ინტეგრირებით, მივიღებთ

$$\frac{\partial^3 h}{\partial s^3} = \frac{C}{h^3} \quad (4.11)$$

რადგან $h/h_0=(1-\Delta h)$ და $\Delta h \ll 1$, ამიტომ (4.11) განტოლება შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით: $\frac{\partial^3}{\partial s^3} \Delta h = \frac{C}{h_0^4}$; ამოვხსნათ განტოლება უშუალო ინტეგრირებით

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial s^2} \Delta h &= \frac{C}{h_0^4} s + C_1; \\ \frac{\partial \Delta h}{\partial s} &= \frac{C}{2h_0^4} s^2 + C_1 s + C_2; \\ \Delta h &= \frac{C_0 s^3}{6h_0^4} + \frac{C_1}{2} s^2 + C_2 s + C_3 \end{aligned} \quad (4.12)$$

ამ განტოლებაში (4.12) C_0 , C_1 , C_2 და C_3 მუდმივები მცირე სიდიდეებია და განისაზღვრებიან საწყისი კონკრეტული მონაცემების მიხედვით.

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

$$\frac{6\mu U}{T} = a^3 = const, \quad (4.13)$$

მაშინ (4.9) ტოლობის ორივე მხარის ინტეგრირებით მივიღებთ

$$h^3 \frac{\partial^3 h}{\partial s^3} + a^3 h - c = 0 \quad (4.14)$$

ანუ

$$\frac{\partial^3 h}{\partial s^3} + \frac{a^3}{h^2} - \frac{c}{h^3} = 0 \quad (4.15)$$

ამ შემთხვევაშიც აღვნიშნოთ

$$\frac{h}{h_0} = 1 - \Delta h \quad \text{ანუ} \quad h = h_0(1 - \Delta h) \quad (4.16)$$

თუ (4.16) განტოლებას გავითვალისწინებთ (4.15)-ში და მიღებულ შედეგს გავყოფთ h_0 -ზე, მაშინ

$$\frac{\partial^3(1-\Delta h)}{\partial s^3} + \frac{a^3}{h_0^3(1-\Delta h)^2} - \frac{c}{h_0^4(1-\Delta h)^3} = 0 \quad (4.17)$$

$$\frac{\partial^3 \Delta h}{\partial s^3} + \frac{a^3 h_0(1-\Delta h) - c}{h_0^4(1-\Delta h)^3} = 0 \quad (4.18)$$

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

$$\frac{\partial^3 \Delta h}{\partial s^3} + \frac{a^3 \Delta h}{h_0^3(1-\Delta h)^3} = 0 \quad (4.19)$$

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 (4.19) განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial^3 \Delta h}{\partial s^3} + \frac{a^3}{h_0^3} \Delta h = 0 \quad (4.20)$$

მიღებული განტოლების ზოგად ამონახსნს აქვს შემდეგი სახე [45]:

$$\Delta h(s) = Ae^{\lambda_1 s} + Be^{\lambda_2 s} + Ce^{\lambda_3 s} \quad (4.21)$$

სადაც A, B, C მუდმივებია, ხოლო λ_1, λ_2 , და λ_3 - მახასიათებელი განტოლების ფესვებია (4.20) გამოსახულება შეიძლება წარმოვადგინოთ, როგორც

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

მაშინ

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

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

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

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

ე.ი.

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

ამგვარად,

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

თუ გამოვიყენებთ ეილერის ფორმულას,

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

მაშინ (4.21) განტოლებიდან შეიძლება ჩავწერთ, რომ

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

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

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

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

თუ გავითვალისწინებთ a -ს მნიშვნელობას (4.13) გამოსახულებიდან და აღვნიშნავთ, რომ $B+C=B_1$ შეიძლება ჩავწერთ

$$\Delta h(s) = Ae^{\sqrt[3]{\frac{6\mu s}{Th_0^3}}} + B_1 e^{\sqrt[3]{\frac{6\mu s}{8Th_0^3}}} \cos \sqrt[3]{\frac{6\mu s}{8Th_0^3}} \sqrt{3}s + C_1 e^{\sqrt[3]{\frac{6\mu s}{8Th_0^3}}} \sin \sqrt[3]{\frac{6\mu s}{8Th_0^3}} \sqrt{3}s$$

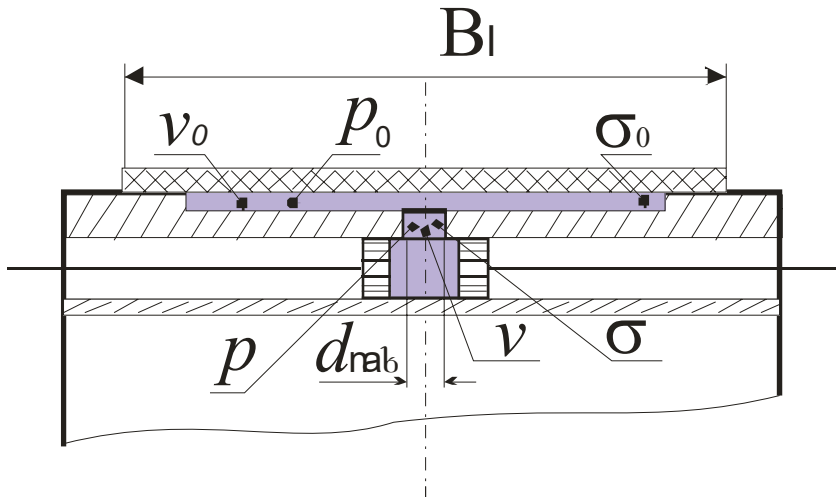
$$\Delta h(s) = Ae^{\sqrt[3]{\frac{6\mu s}{Th_0^3}}} + B_1 e^{\sqrt[3]{\frac{3\mu s}{4Th_0^3}}} \cos \sqrt[3]{\frac{3\mu s}{4Th_0^3}} \sqrt{3}s + C_1 e^{\sqrt[3]{\frac{3\mu s}{4Th_0^3}}} \sin \sqrt[3]{\frac{3\mu s}{4Th_0^3}} \sqrt{3}s \quad (4.22)$$

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

4.4. ვაკუუმ-დოლის რგოლური ჭვრეტის დგუშისეულ სივრცესთან

შემაერთებელ ნახვრეტში სითხის უწყვეტ ნაკადად გადინების კვლევა

განვიხილოთ ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლის ლენტთან საკონტაქტო ჭვრეტეში სითხის შრის სისქის შემცირების (მინიმუმამდე დაყვანის) მიზნით, ვაკუუმ-მექანიზმებით (დგუშებით) ნახვრეტში სითხის უწყვეტ ნაკადად გაწოვის კონკრეტული შემთხვევა (ნახ. 4.3).



ნახ. 4.3.

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 უკუმშველია, შემოსახდერულია შეკრული მყარი ზედაპირით (ჩვენს შემთხვევაში ღარის კონტურებით) და Z ღერძი შეგვიძლია მივმართოთ ვერტიკალურად ზევით, და ბერნულის განტოლების მიხედვით დავწეროთ ასე:

$$Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = const \quad (4.23)$$

აღვნიშნოთ, რომ σ არის ნახვრეტის ფართობი (იხ. ნახ. 4.3.); 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 – σv . სითხის დინების უწყვეტობის პირობის მიხედვით

$$\sigma_0 v_0 = \sigma v \quad (4.24)$$

(4.23)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$zg + \frac{v_0^2}{2} + \frac{p_0}{\rho} = zg + \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} \quad (4.25)$$

(4.24) და (4.25) გამოსახულებების საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ

ნახვრეტში სითხის დინების სინქარე

$$v_0^2 + \frac{2p_0}{\rho} = v^2 + \frac{2p}{\rho} \quad (4.26)$$

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

(4.26)-ში (4.27)-ის გათვალისწინებით

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

აღვნიშნოთ $p_0 - p = \Delta p$, მაშინ

$$v^2 \left(1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} \right) = \frac{2\Delta p}{\rho} \quad (4.28) \quad \text{და} \quad v = \sqrt{\frac{2\Delta p \sigma_0^2}{\rho(\sigma_0^2 - \sigma^2)}} \quad (4.29)$$

ხოლო თუ გავითვალისწინებთ, რომ

$$\frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} \approx 0, \quad (4.30)$$

მაშინ (4.28) განტოლებიდან

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (4.31)$$

ნახვრეტში გამავალი სითხის ხარჯი $Q = \sigma v$

ხოლო ნახვრეტის კვეთის აუცილებელი ფართობი

$$\sigma = \frac{Q}{v} \quad \text{ანუ} \quad \left(\frac{\pi d_{\text{სახ}}^2}{4} \right)^2 = \frac{Q^2}{v^2} \quad (4.32)$$

ამ გამოსახულებიდან

$$\left(d_{\text{სახ}}^2 \right)^2 = \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 \Delta p} \quad (4.33)$$

საიდანაც ნახვრეტის დიამეტრი

$$d_{\text{სახ}(1)} = 0,95 \sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}}, \quad (4.34)$$

როგორც (4.34) გამოსახულებიდან ჩანს, ნახვრეტის დიამეტრის სიდიდე პირდაპირპროპორციული სითხის საჭირო ხარჯისა და მისი სიბლანტისა და უკუპროპორციულია წნევათა სხვაობისა, რომელიც ამძრავის ამუშავებისთანავე მყისურად იზრდება დოლისა და ლენტის საკონტაქტო ჭვრიტეში (ღარში, პერფორაციაში, მათი კომბინაციით შექმნილ არხში და ა.შ.).

ე.ი. დამოკიდებულება შეიძლება ჩავწეროთ ასე:

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

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

თუ (4.30) გამოსახულებას, რაგინდ მცირე, მაგრამ ნულისაგან განსხვავებულ მნიშვნელობას მივანიჭებთ, მაშინ (4.32)-ში (4.28)-ის გათვალისწინებით

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

და

$$\sigma^2 = \frac{Q^2 \rho}{2\Delta p + \frac{Q^2 \rho}{\sigma_0^2}} \tag{4.35}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{\frac{2\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho}{Q^2 \rho \sigma_0^2}} \quad \text{ანუ} \quad \sigma^2 = \frac{Q^2 \rho \sigma_0^2}{2\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho} \tag{4.36}$$

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

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

ხოლო

$$d_{\text{ფსბ}(2)} = 0,95 \sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho \sigma_0^2}{\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho}} \tag{4.37}$$

ამგვარად, თუ ჩათვლით, რომ $\frac{\sigma^2}{\sigma_0^2} \approx 0$, მაშინ ნახვრეტის დიამეტრს

გამოვიანგარიშებთ (4.34) ფორმულით; წინააღმდეგ შემთხვევაში ანგარიშს ჩავატარებთ (4.37) გამოსახულებით. განვსაზღვროთ (4.34) და (4.37) გამოსახულებებით ნაანგარიშებ დიამეტრებს შორის სხვაობა.

ამისათვის (4.37) განტოლების ფესვქვეშა გამოსახულება წარმოვადგინოთ შემდეგი 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 (4.37) ფორმულა შეიძლება ჩავწეროთ

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

ხოლო სხვაობა, სმ

$$\begin{aligned} d_{\text{ფსბ}(2)} - d_{\text{ფსბ}(1)} &= 0,95 \sqrt{Q} \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p} + \frac{Q^2 \rho^2}{\Delta p^2 \sigma_0^2 + \Delta p Q^2 \rho}} - \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}} \right) = \\ &= 0,95 \sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p} \left(\sqrt[4]{1 + \frac{Q^2 \rho}{\Delta p \sigma_0^2 + Q^2 \rho}} - 1 \right)} \end{aligned} \tag{4.38}$$

დაეუშვათ, რომ სითხის (წყლის) ტემპერატურა t , 18 °C მაშინ:

$$\rho=0,00105 \text{ დკნ/მ}^3; \Delta p=0,95 \text{ კგ/სმ}^2=9500 \text{ დკნ/მ}^2;$$

$$Q_{\max}=504 \text{ სმ}^3; b \times l \times h=3,36 \times 250 \times 0,6 \text{ სმ}^3 \text{ (შერჩეული ეტალონური მოდელისათვის);}$$

$$Q_{\min}=50,4 \text{ სმ}^3; b \times l \times h=2 \times 42 \times 0,6 \text{ სმ}^3 \text{ (ლაბორატორიული სტენდისათვის);}$$

$$\sigma_{0(\max)}= 840 \text{ სმ}^2, \text{ (შერჩეული ეტალონური მოდელისათვის);}$$

$$\sigma_{0(\min)}= 84 \text{ სმ}^2, \text{ (ლაბორატორიული სტენდისათვის).}$$

ამ მონაცემების მიხედვით ლაბორატორიული სტენდისათვის (3.38) განტოლებიდან მივიღებთ

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

სოლო შერჩეული მოდელისათვის

$$\begin{aligned} (d_{\text{ფაბ}(2)} - d_{\text{ფაბ}(1)})_{\max} &= 0,95 \sqrt{504} \cdot \sqrt[4]{\frac{0,00105}{9500} \left(\sqrt[4]{1 + \frac{504^2 \cdot 0,00105}{9500 \cdot 840^2 + 504^2 \cdot 0,00105}} - 1 \right)} = \\ &= 0,95 \cdot 22,44994432 \cdot \sqrt[4]{1,10526 \cdot 10^{-7}} \cdot \left(\sqrt[4]{1 + \frac{266,7168}{6703200000 + 266,7168}} - 1 \right) = \\ &= 0,95 \cdot 22,44994432 \cdot 0,018233 \cdot \left(\sqrt[4]{1 + 3,9789472 \cdot 10^{-8}} - 1 \right) = 0,3888633 \cdot (1,000000009947 - 1) = \\ &= 3,868024 \cdot 10^{-9} \text{ სმ} \end{aligned}$$

აქედან გამომდინარე, (3.34) გამოსახულებით ნახვრეტის დიამეტრის ნაანგარიშები სიდიდე დასაშვები ცდომილების არეშია, ამიტომ დაპროექტებისას, როგორც შედარებით მარტივს, რეკომენდაცია ეძლევა (3.34) ფორმულის გამოყენებას. გავარჩიოთ (3.34) გამოსახულება დეტალურად:

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

ცხრილი 4.1

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

$\rho \cdot 10^{-6}$ კგნ/მ ³	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	0.000284	
Δp კგნ/მ ²	$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$														
	$\Delta p, \text{ სტბ}$														
500	0,05	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	0,10	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	0,20	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	0,30	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	0,40	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	0,50	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	0,60	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	0,70	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	0,80	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	0,90	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	0,95	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	0.020589	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

ცხრილი 4.2

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

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

p-10-6 დკმ/მწმ	t, °C													
	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
500	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
1000	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
2000	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
3000	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
4000	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
5000	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
6000	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
7000	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
8000	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
9000	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
9500	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 ჭვრიტეს, დოლის ზედაპირის არხების, ცენტრალური ნახვრეტისა და დგუშისეული სივრცის საწყისი მოცულობის შემავსებელი სითხის (წყლის) სიბლანტე, რომელიც მნიშვნელოვნად იცვლება ტემპერატურის გავლენით. ვითვალისწინებთ რა იმ ფართო (არქალს) დიაპაზონს, რომელშიც მუშაობა უხდება ლენტური კონვეიერის ამძრავს, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია სითხის (წყლის) სიბლანტე განვიხილოთ ტემპერატურის ცვლილების $t=0 \div 100$ °C-ის ფარგლებში. შესაბამისად წარმოვადგინეთ (4.34) გამოსახულებით ნაანგარიშები შედეგების ის განმასხვავებელი მნიშვნელობები, რომელიც მიიღება $\sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}}$ თანამამრავლის ცვლილებით. შედეგები

წარმოდგენილია ცხრ. 4.1-ში.

მნიშვნელოვან ცვლილებებს განიცდის სითხის მოძრაობის სიჩქარეც. მისი სავარაუდო ცვლილებების საორიენტაციო მნიშვნელობები, როგორც ტემპერატურისა და სიბლანტის, ასევე ვაკუუმის მიხედვით მოცემულია 4.2 ცხრილში.

მიღებული ცხრილების (ცხრ. 4.1 და 4.2) საშუალებით, ნებისმიერი სიდიდის ვაკუუმისა და დიაპეტრის დოლისათვის, რომლის ბრუნვის სიხშირე და გეომეტრიული ზომები შეესაბამება სტანდარტით გათვალისწინებულს, შეგვიძლია ვიანგარიშოთ დოლის საკონტაქტო ზედაპირისა და აზმ-ის დამაკავშირებელი ნახვრეტის დიაპეტრი, 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).

$$v_{\text{შესაძლო}} = \frac{(0,1 \div 0,2)\pi R_{\text{დ}}}{v_{\text{ლენტი}}} v_{\text{ცხრილი}} = (0,314 \div 0,628) \frac{v_{\text{ცხრილი}}}{v_{\text{ლენტი}}} R_{\text{დ}} \quad (4.39)$$

(3.39) გამოსახულებაში $v_{\text{ცხრილი}} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$. მისი მნიშვნელობები აიღება 3.2 ცხრილიდან შესაბამისი Δp სვეტისა და $\rho=f(t^{\circ}\text{C})$ სტრიქონის გადაკვეთაზე. ასევე, 4.1.

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

ცხრილში 4.2-ში მოცემულია ერთეულოვან დროში ნახვრეტიდან უწყვეტ ნაკადად მომდინარე სითხის სიჩქარე (ხარჯი). როგორც ცხრილიდან ნათლად ჩანს, სითხის სიჩქარე იზრდება ტემპერატურის ზრდით (და შესაბამისად სიბლანტის შემცირებით). მაგალითად, 500 დკნ/მ² გაიშვიათებისას და სითხის 0 °C-დან 100 °C-მდე ტემპერატურის მომატებით,

სითხის სიჩქარე (ხარჯი) იცვლება 746-დან 1876-მდე მ/წმ. ერთიდაიმავე სიმკვრივისას (მაგ. $\rho=179 \cdot 10^{-6}$ დენ/მწმ) კი იზრდება რა ვაკუუმის მნიშვნელობა 5000 პა-დან 100 000-მდე 0 °C გარემოსა და შესაბამისად სითხის ტემპერატურისას, სითხის მოძრაობის სიჩქარე და შესაბამისად ხარჯიც იზრდება 746-დან 3336 მ/წმ-მდე. ხოლო თუ ტემპერატურა 100 °C მიაღწევს, მაშინ სითხის სიჩქარე ვაკუუმის იმავე საზღვრებში ცვლილებებისას 1876-დან 8392 მ/წმ-მდე 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 გრძელდება, გვაფიქრებინებს, რომ ნახვრეტის ზომა, რომელშიც სითხემ უწყვეტ ნაკადად უნდა იდინოს, საჭიროა გავთვალთ ცხრილი 4.2-ის $v_{ცხრილის-სა}$ და ვაკუუმის სიდიდის საშუალო (შესაბამისი) მნიშვნელობის მიხედვით (4.38) ფორმულით, ხოლო ვაკუუმის შექმნის ზონად მივიღოთ “შედარებითი სიმშვიდის” უბნის რაღაც გარკვეული ნაწილი (მისი სიდიდე მნიშვნელოვნად იქნება დამოკიდებული აპპ-ის დგუშის სვლის მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე, რაც, თავის მხრივ, განაპირობებს მუშტა მექანიზმის პროფილს – სიმრუდეს და მისი ექსცენტრისიტეტის მნიშვნელობას). უბნის ამ ნაწილის სიდიდის გათვალისწინება მოხდება (4.38) ფორმულის მრიცხველში $(0,1 \div 0,2)$ რიცხვებიდან ან მის მახლობლობაში რომელიმე საჭირო ციფრის ჩასმით.

4.4 ნახაზზე წარმოდგენილია (4.2. ცხრილის მონაცემებით აგებული) ვაკუუმ-დოლის მუშაობის ოთხი რეჟიმის შესაბამისი მრუდები:

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

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 დენ/მ² = const;

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

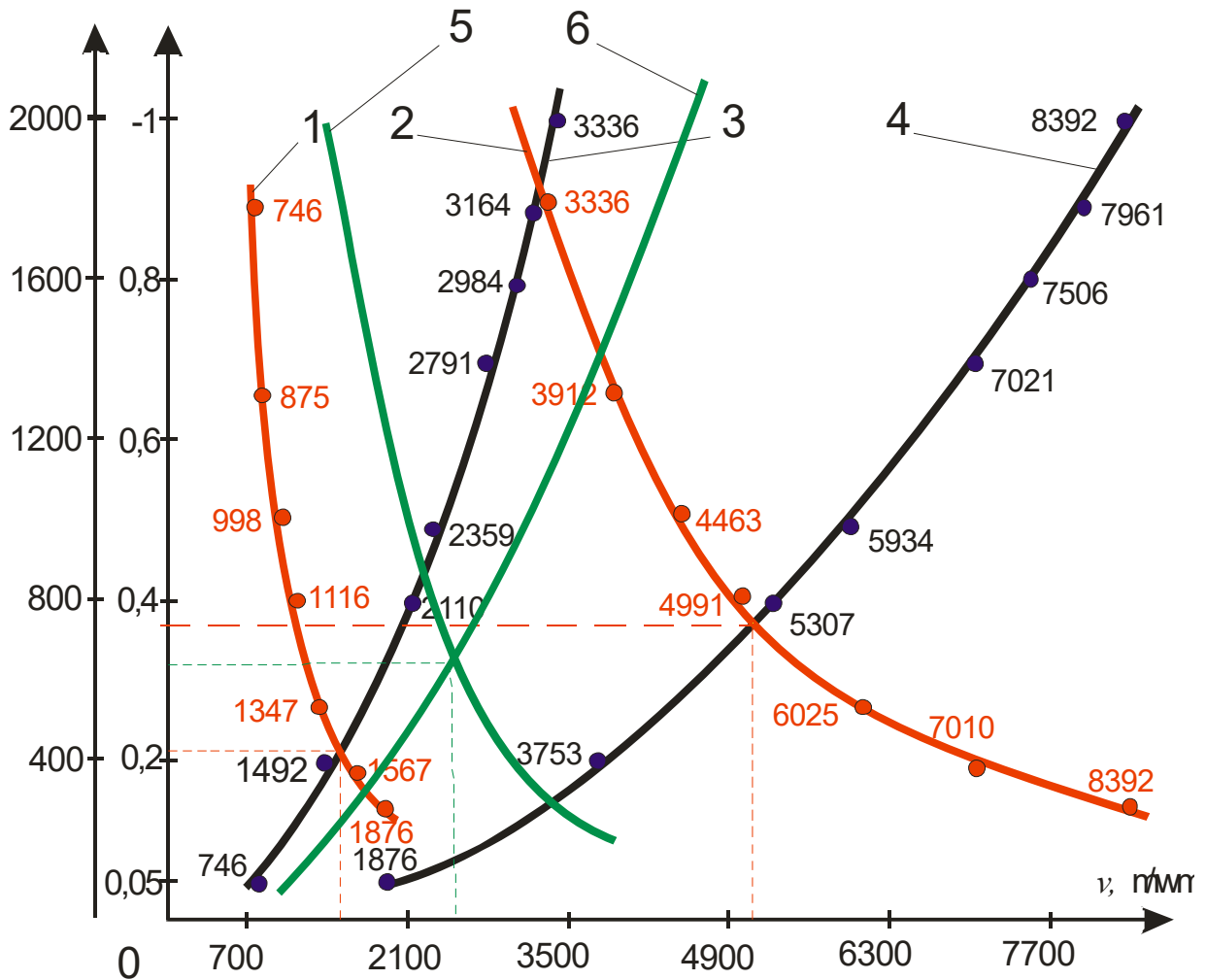
მრუდი 4 – აღწერს პროცესს, როდესაც $v=f(\Delta p)$, $\Delta p=0,05 \rightarrow -1$ ანუ 500 დენ/მ²-დან 10 000 დენ/მ²-მდე. ამ დროს $t=100$ °C, ხოლო $\rho=0,000284$ დენ/მწმ.

მრუდი 5 – აღწერს პროცესს, როდესაც $v=f(\rho)$, $\rho=f(t^{\circ}C)$ და $t=(0 \div 100)$ °C. ამ დროს $\Delta p=0,2$ ანუ 2000 დენ/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 დენ/მ²-დან 10 000-მდე. ამ დროს $t=20$ °C, ხოლო $\rho=0,001004=const$ დენ/მწმ.

1-3 და 2-4 რეჟიმების აღმწერი მრუდები გადაკვეთის წერტილებით გვაძლევს იმ ოპტიმალურ რეჟიმებს, რომელთა საშუალებით შეგვიძლია ნახვრეტის ოპტიმალური დიამეტრის საანგარიშოდ განვსაზღვროთ ρ და Δp -ს საწყისი მონაცემები. მათივე საშუალებით (3.39) ფორმულით განისაზღვრება საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმური არხის

საორიენტაციო მოცულობა, რომელიც შემდეგ გრძივ პარამეტრებში გადაითვლება ყოველი კონკრეტული შემთხვევისას. ასეთი რეჟიმული წერტილების მოძებნა შესაძლებელია ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის (4.1) და (4.2) ცხრილების მონაცემების საშუალებით.



ნახ. 4.4.

განვიხილოთ ჩვენ მიერ შერჩეული:

ა) ლაბორატორიული ვაკუუმ-დოლისა (იხ. წინამდებარე ნაშრომის შესავალი ნაწილი) და ბ) ბაზისური (ეტალონური) მოდელის ვაკუუმ-დოლის მაგალითზე შესაძლო მნიშვნელობის (4.39) განტოლებითა და ნახვრეტის $d_{ნახ}$ დიამეტრის ოპტიმალური ზომის (4.34) გამოსახულების გაანგარიშების მეთოდები (წესი).

ა) ლაბორატორიული ვაკუუმ-დოლისათვის $B_{ლ}=0,5$ მ; $D_{დ}=0,36$ მ; $\alpha=180^\circ$; $\Delta p=0,95$; $v_{დ}=1,25 \div 1,6$ მ/წმ; $t=20$ °C. მაშინ 3.4 ნახაზიდან (1-3) მრუდების რეჟიმული წერტილიდან $\Delta p \approx 0,2$ დკნ/მ²-დან $v=1600$ მ/წმ; შესაბამისად (4.2) ცხრილიდან ვიღებთ $(\Delta p-v)$ -სათვის

$\rho=1518 \cdot 10^{-6}$ და $\nu_{ცხრილი}=1623$, ხოლო 3.1 ცხრილიდან $(\rho \cdot \Delta p_{max})$ -ს მიხედვით $\sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}}$ -ს

მნიშვნელობას – 0,01999; და ბოლოს

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

ხოლო

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

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

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

ხოლო

$$d_{გ,ბ} = 0,95 \sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}} = 0,95 \cdot \sqrt{3301} \cdot \sqrt[4]{\frac{1518 \cdot 10^{-6}}{0,95}} = 0,95 \cdot 57,454 \cdot 0,29516 = 1,611 \text{ სმ}$$

5. თეორიული, ექსპერიმენტული და კომპიუტერული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი

5.1. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი

მეცნიერული კვლევის უტყუარობისა და დასაბუთებულობის დადასტურების მიზნით, წინამდებარე თავში განვიხილავთ ჩვენ მიერ შესრულებული თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგების ურთიერთთანხვედნილობის დასაშვებ ზღვრებში არსებობის ანალიზის შედეგებს. იმავდროულად ვითვალისწინებდით და ვეყრდნობოდით: მაკროელასტოპიდროდინამიკის, ვაკუუმში ფიზიკური პროცესების, მოცულობითი ჰიდრაულიკური მანქანების მუშაობის თეორიის, ტრიბონიკისა და საერთოდ, მექანიკის ზოგად დებულებებს.

თეორიული კვლევების შედეგად მივიღეთ ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირებისა და მათი ვაკუუმის წყაროებთან შემაერთებელი კვანძების* (ჩვენი შემთხვევისათვის – წრიულამონაჩარხებიანი გრძივი ღარების მოცულობათა აპპ-ის დეგუშისეულ სიგრძესთან შემაერთებელი ნახვრეტები) უხელსაყრელესი გეომეტრიული პარამეტრებისა (მილსადენების – ნახვრეტების სიგრძისა 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 (იხ. დრეკადჰიდროდინამიკური ანუ ზომერფელდის რიცხვთან დაკავშირებული საკითხები); როდესაც ცოცია, ჩვენი შემთხვევისათვის საკონვეიერო ლენტი, საყრდენ ზედაპირზე ანუ ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე ტანგენციალური მოძრაობით განაპირობებს მისი შემაკავებელი – შემზეთი სითხის გამოწნეხას.

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

$$d_{\text{ნახ}} = 0,95\sqrt{Q} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (5.1)$$

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

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

* კოლექტორიან ვაკუუმ-დოლებში ის საკმაოდ გრძელი და რთული ლაბირინთული რეციპიენტებია (ვაკუუმ-არხები).

$d_{ნახ}$ -ის მნიშვნელობის საანგარიშოდ საჭიროა დაითვალოთ გრძივი არხის მოცულობის ($v=Q$)-ს ის რეალური მნიშვნელობა, რომლიდანაც „დრეკადი სრიალის“ რკალის გარბენამდე სითხე უწყვეტ ნაკადად გადაედინება დგუშისეულ სივრცეში, ამიტომ ვსარგებლობთ (3.38) გამოსახულებით:

$$Q = v_{შესადლო} = \frac{(0,1 \div 0,2)\pi R_{ღ}}{v_{ღენტი}} v_{ცხრ} \tag{5.2}$$

$v_{შესადლო}$ -ს მიღებული მნიშვნელობა არის ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირის გრძივი არხის მოცულობა, ხოლო (4.1) გამოსახულებით ნაანგარიშეში $d_{ნახ}$ -ის მნიშვნელობა – წრიული ამონაჩარხების ერთმანეთთან და აპმ-ის დგუშისეულ სივრცესთან შემაერთებელი გრძივი ღარების სიგანე.

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

ერთ გრძივ არხზე ამონაჩარხების რაოდენობა

$$n_{ამონაჩ} = \frac{B_{ღ} - 2d_{ამონაჩ}}{2d_{ამონაჩ}} = \frac{B_{ღ}}{6d_{ნახ}} - 1$$

გრძივი არხების ბიჯი

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

დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე არხების რაოდენობა

$$n_{არხ} = \frac{\pi D_{ღ}}{t} = \frac{\pi D_{ღ}}{(12 \div 13,5)d_{ნახ}} = (0,26 \div 0,23) \frac{D_{ღ}}{d_{ნახ}}$$

გრძივი არხის ფართობი

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

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

და ბოლოს, წრიულამონაჩარხებიანი გრძივი არხის ფართობი

$$S_{არხ} = d_{ნახ} (1,678 B_{ღ} - 10,065 d_{ნახ}) \tag{5.3}$$

(3.39) და (4.2) გამოსახულებების მიხედვით

$$v_{შესადლო} = \frac{0,1\pi D_{ღ}}{v_{ღენტი}} v_{ცხრ} ,$$

ხოლო ვაკუუმ-დოლის შერჩეული ეტალონური მოდელისათვის

$$v_{შესადლო} = \frac{0,1\pi D_{ღ}}{v_{ღენტი}} v_{ცხრ} = \frac{0,1 \cdot 3,14 \cdot 2,674}{8,4} v_{ცხრ} = 0,0999 \cdot v_{ცხრ} \tag{5.4}$$

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

$$h_{\text{დარის}} = \frac{V_{\text{შესაძლო}}}{S_{\text{არხის}}} = \frac{0,0999 \cdot v_{\text{ცხრ}}}{d_{\text{ნახ}} (1,678B_{\text{ლ}} - 10,065d_{\text{ნახ}})}$$

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

5.2. კომპიუტერული კვლევის შედეგები და მათი ანალიზი

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

აღნიშნულის განხორციელების მიზნით ჩვენ მიერ მიღებულ (3.22) გამოსახულებაში A, B_1, C_1 ნამდვილი მუდმივების განსაზღვრისა და $\Delta h(s)$ -ის ცვლილების კომპიუტერული მოდელის შედგენისათვის ვსარგებლეთ ქვემოთ მოყვანილი კონკრეტული მაგალითის პირობებით, კერძოდ, თუ (3.16) გამოახულებაში

$$\Delta h = 1 - \frac{h}{h_0}$$

„შედარებითი სიმშვიდის“ და „დრეკადი სრიალის“ შესაბამის რკალებზე ვაკუუმის შექმნისა და სითხის დრენაჟირების ჩვენ 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 $h \neq 0$ და $\Delta h(s) \approx 1$;

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

❖ $\mu=0,01 \neq 0,9$ – არის დოლის ზედაპირთან ლენტის 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 სიქარე, სადაც $U_1 \approx 0,005$ მ/წმ –

დოლზე ლენტის პირველი გვარის წინასწარი წანაცვლებაა:

$$F_1 = e^{\mu \alpha_{\max}} (1 - e^{-\mu \delta}) \sum_{K=1}^{24} P e^{-\mu(K-1)(\beta+\delta)} + S_{\beta} (e^{\mu \alpha_{\max}} - 1) \quad (5.5)$$

❖ $T \approx F_1$ – 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 დროსაც დაძაბულობა დრეკადობის მოდულს შეესატყვისება

$$F_0 = \frac{EB_{\text{ლ}}}{m} \approx 200000 \div 675000 \text{ დკნ} \quad (5.6)$$

(5.5) და (5.6) გამოსახულებებში შემავალი სიდიდეებიდან:

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

K არის 1, 2 24 – გრძივი არხის ნომერი;

β – არხის სიგანე, 0,00898 რად;

δ – ღარებსშორისი სეგმენტი, 0,1167 რად;

t – არხების ბიჯი, 0,1257 რად;

α_{\max} – დოლზე ლენტის შემოხვევის კუთხე, π რად;

p – ვაკუუმის სიდიდე, 0,35 \div 0,95 დკნ/სმ²;

R – ვაკუუმ-დოლის რადიუსი, 133,7 სმ;

$B_{\text{ლ}}$ – ლენტის სიგანე, 320 სმ;

E – ლენტის დრეკადობის მოდული, 6000 \div 20000 დკნ/სმ;

$n_{\text{არხ}}$ – დოლზე ვაკუუმ-არხების საერთო რაოდენობა, 50 ცალი;

m – სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი, 6,5 \div 9,5.

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

ცენტრალურ ნაწილში;

ვაკუუმ-დოლის ეტალონური მოდელის საკონტაქტო ზედაპირზე არხების საერთო რაოდენობა $n_{\text{არხ}} = 50$; მათგან რგოლური ჰერიტეს (0,2 \div π) 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 $K = 1$ -სკენ.

განვიხილოთ ვაკუუმ-დოლის მუშაობის ორი შესაძლო რეჟიმი:

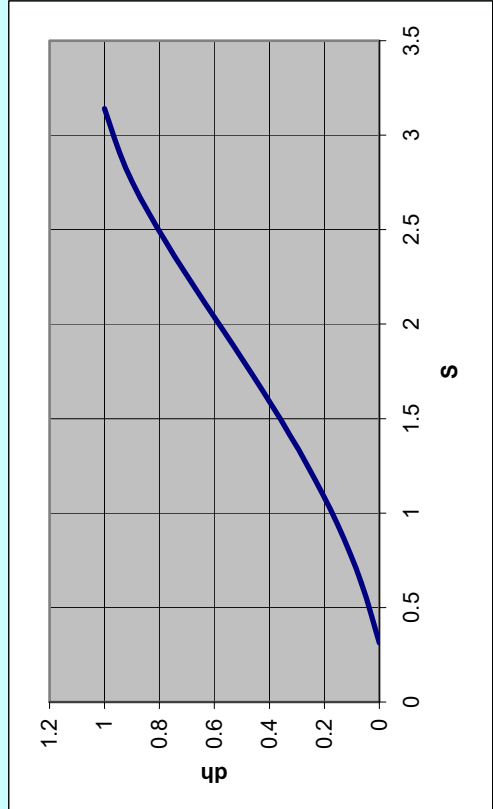
1) „შედარებითი სიმშვიდის“ რკალის $K=24\div 21$ არხებში ვაკუუმის საწყისი მნიშვნელობა $p=0,35$ დკნ/სმ², ხოლო $(0,2\pi-\pi)$ რადიანის „დრეკადი სრიალის რკალზე“ ვაკუუმის ზრდა მივიღოთ $p=0,35$ -დან $0,95$ დკნ/სმ²-მდე, $K=20$ -დან $K=1$ -სკენ ვაკუუმ-არხისაკენ ზრდის ბიჯით $0,03\div 0,1$ დკნ/სმ² (მხედველობაში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

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

კომპიუტერული მოდელირებისათვის $0,5$ დისკრეტულობით ყველა შესაძლო ვარიანტის მონაცემები შეტანილია იქნა კომპიუტერში $\Delta h(s)$ -ის, $S=0\div\pi$ რადიანის საზღვრებში, ცვლილების შესწავლისათვის. ორი მათგანი V თავს თან ერთვის.

V 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= π /10)	b2(S= π)	b3(S= π /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		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



გამოყენებული ლიტერატურა

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 – 50с.
6. Васильев К.А. «Приводные вакуум-барабаны для ленточных конвейеров». ЦНИИЭИ тяжмаш,1980г.№15 –12-14с.
7. Васильев К.А. «Ленточный конвейер 1КЛВ-800 с приводным вакуум-барабаном».ЦНИИЭИтяжмаш,1981г.,№16 – 14-16 с.
8. Васильев К.А. Использование приводных вакуум-барабанов для увеличения тяговой способности однобарабанных приводов ленточных конвейеров. Научно-технический Журнал министерства станкостраительной 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 конвейере. Авт. СССР №457644, бюлл. изобретений №3, 1975.
10. Васильев К.А., Кирпичев А. «Приводной вакуум-барабан для ленточного конвейере» СССР №475232. Б.И. №24, 1975.
11. Васильев К.А., Кирпичев А. «Приводной вакуум-барабан для ленточного конвейере» А. С. СССР №543572, Б.И. №3, 1977.
12. Васильев К.А., Кирпичев А. «Приводная станция ленточного конвейере» 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 эффективнии 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 – 22с.
24. Волчек И.Б. «Приводы для конвейеров большой протяжённости». Труды ВНИИТП, вып- 35. Под редакц. В.А.Грачёва.Л.: «Энергия»,1975. – 70—73с.
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) 22с.
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. 45с.
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. 50с.
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 конвейере» 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 обикнавленным 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., Дмитрин 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 гидротехническом строительстве» м. «Машгиз» 1953, 240 с.
50. Кречнев Э.Г. «Привод ленточного конвейера 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 управлкия надежностью мощных ленточных конвейеров. автореф. Докт. Диссукт. Днепропетровск, 1991, 33с.
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. Молодина 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 «GEORGIANENGINEERINGNEWZ» №1, 2004, с122-125.
65. ვ. მუსხელიშვილი, ნ. მოლოდინი, რ. მოლოდინი. კონვეირების ამბრავების წვეთითი თვისებების ანალიზი. სამთოეურნალი №2, 1998, გვ. 20-21.

66. რ.მლოლინი. ლენტური კონვეირების ვაკუუმური ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევა. ნაშრომი მაგისტრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად, თბილისი 2000, 80 გვ.
67. ვ.მუსხელიშვილი, რ.მლოლინი, ნ.მლოლინი, ლენტური კონვეირის ვაკუუმ-ამძრავების კლასიფიკაცია და ანალიზი. სამთო ჟურნალი №1-2 (10-11), 2003, გვ. 36-39.
68. ვ. მუსხელიშვილი, რ. მლოლინი, ნ. მლოლინი. ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციები. სამთო ჟურნალი №1 (12), 2004. გვ. 21-23.
69. ნ. მლოლინი, რ. მლოლინი. ჰიდრავლიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლის ლენტთან საკონტაქტო ჭვრიტებში 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, 160с.
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 – НИИИформтяжмаш, 1978, №35, - 48 с.
76. Справочник по триботехнике под общ. Ред. М.Хеббы, 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 направлкния 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. Машиностроение, 1978. – 392 с.
90. Штокман И.Г. Основие 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. Основие 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 вакууь-привода и разработка его конструкции для многоприборного ленточного конвейера, Автореф. Канд. Диссерт. Ленинград 1984г. 19 с.
94. ბ. მოლოდინი, რ. მოლოდინი. ლენტური კონვეიერების გაანგარიშება (მეთოდური მითითებები) თბილისი, სტუ 2018
- 95.

რედაქტორი მ. ღუდუშაური

გადაეცა წარმოებას 01.05.2018. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 19.12.2018.
ქალაქის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 8,5. №2729.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,
scripta manent